

THESIS - RC18-5401

MODEL OPTIMALISASI PENGELOLAAN BANJIR  
PADA BENDUNGAN BILI - BILI MENGGUNAKAN  
ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS (ANN)

OSCAR MARGHA GESSANG  
NRP. 03111850097005

DOSEN PEMBIMBING  
Dr.techn. Umboro Lasminto, ST., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2020





THESIS - RC18-5401

**MODEL OPTIMALISASI PENGELOLAAN BANJIR  
PADA BENDUNGAN BILI - BILI MENGGUNAKAN  
ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS (ANN)**

**OSCAR MARGHA GESSANG**  
NRP. 03111850097005

**DOSEN PEMBIMBING**  
Dr.techn. Umboro Lasminto, ST., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2020



## LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

**Magister Teknik (MT)**

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**OSCAR MARGHA GESSANG**

**NRP: 03111850097005**

Tanggal Ujian: 03 Agustus 2020

Periode Wisuda: September 2020

Disetujui Oleh

**Pembimbing:**

- 1 Dr.techn. Umboro Lasminto, ST., M.Sc.  
NIP: 19721202 199802 1 001



---

**Penguji:**

- 1 Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc  
NIP: 19540113 198010 1 001
- 2 Mahendra Andiek Maulana, S.T., M.T., Ph.D  
NIP: 19840409 200912 1 005
- 3 Dr. A. A. Ng. Satria Damar Negara, S.T., M. T  
NPP: 198820191 1075



---



---



---



Kepala Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan

**Dr.techn. Umboro Lasminto, ST., M.Sc.**  
**NIP: 19721202 199802 1 001**

*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

Tesis yang berjudul: “**Model Optimalisasi Pengelolaan Banjir Pada Bendungan Bili - Bili Menggunakan Artificial Neural Networks (ANN)**” ini adalah karya penelitian saya sendiri dan tidak terdapat karya /tulisan untuk memperoleh gelar akademik maupun karya ilmiah/tulisan yang pernah dipublikasikan oleh orang lain, kecuali dijadikan kutipan dari bagian karya ilmiah/tulisan orang lain dengan menyebutkan sumbernya, baik dalam naskah disertasi maupun daftar pustaka.

Apabila ternyata ditemukan dan terbukti terdapat unsur-unsur plagiasi di dalam naskah tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan akademik ITS dan/atau perundang-undangan yang berlaku.

Surabaya, 17 Agustus 2020



Oscar Margha Gessang  
NRP:03111850097005

*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah-Nya, karena berkat hal tersebut laporan penelitian Tesis dengan judul “**Model Optimalisasi Pengelolaan Banjir Pada Bendungan Bili - Bili Menggunakan Artificial Neural Networks (ANN)**” ini dapat diselesaikan. Tesis ini di susun sebagai persyaratan untuk mendapatkan gelar Magister Teknik, bidang keahlian Hidroinformatika, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan (FTSLK). Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Sehubungan dengan selesainya tesis ini, penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- Keluargaku, Ananda Aninditha Nararya Gessang dan Istriku Arti Dianti untuk semangat, dukungan, pengertian dan waktunya.
- Bapak Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T. M.Sc. sebagai dosen pembimbing pada penelitian ini,
- Bapak Dr, Ir. Edijatno, DEA. dan Bapak Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc. untuk waktu, pemikiran dan bimbingannya selama penelitian ini.
- Tim Penguji, Bapak Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc, Bapak Dr. Mahendra Andiek Maulana, S.T. M.T. dan Dr. A. A. Ng. Satria Damar Negara. S.T. M.T. untuk koreksi dan saran dalam penelitian ini.
- Seluruh dosen pengajar dan staf di Jurusan Teknik Sipil untuk ilmu selama perkuliahan.
- Rekan Hidroinformatika 2018, ‘*Ohana!*
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat atas kesempatan dan dukungan yang diberikan.

Besar harapan penulis terhadap penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut, sehingga hasil yang diberikan akan jauh lebih bermanfaat baik secara akademis maupun secara praktis. Penulis menyadari bahwa pada penulisan tesis ini masih banyak terdapat kekurangan, kritik dan saran yang membangun sangat

diharapkan penulis untuk dapat meningkatkan kualitas penelitian di masa yang akan datang.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

**MODEL OPTIMALISASI PENGELOLAAN BANJIR PADA  
BENDUNGAN BILI - BILI MENGGUNAKAN ARTIFICIAL NEURAL  
NETWORKS (ANN)**

Nama Mahasiswa : Oscar Margha Gessang  
NRP : 03111850097005  
Pembimbing : Dr.techn. Umboro Lasminto, ST., M.Sc.

**ABSTRAK**

Bendungan adalah infrastruktur yang secara umum berfungsi untuk menahan, menampung dan mengelola sumber daya air dalam volume yang besar. Fungsi lain dari bendungan adalah mengendalikan banjir dengan cara menampung kelebihan volume air yang masuk kedalam tampungannya. Pengaturan debit limpasan bendungan dapat meminimalkan risiko banjir dengan menjaga aliran sungai di hilir tetap dalam debit aman. Namun hal tersebut memerlukan keahlian khusus yang harus dimiliki oleh pengelola bendungan, keahlian dalam perhitungan hidrologi dan hidraulika belum tentu dimiliki oleh setiap individu pengelola bendungan. Keterbatasan waktu untuk mitigasi juga menjadi permasalahan yang berpotensi menyebabkan kegagalan fungsi bendungan dalam pengelolaan banjir.

Penelitian ini dilakukan di DAS Jeneberang, bertujuan mengoptimalkan fungsi bendungan Bili – Bili dalam pengelolaan risiko banjir, antara lain dengan penambahan waktu mitigasi dan membantu pengambilan keputusan menggunakan pemodelan *Artificial Neural Network* (ANN) untuk melakukan prediksi hujan, menggunakan data cuaca global API. Pemodelan Limpasan dilakukan menggunakan metode *Soil Conservation Service* (SCS) dengan data *input* berupa curah hujan yang dihasilkan oleh model ANN.

Hasil yang didapatkan pada penelitian adalah model ANN prediksi hujan dengan RMSE berkisar antara 2.2 – 10.73 pada 5 lokasi pengamatan dan model perhitungan limpasan menggunakan metode SCS dengan deviasi sebesar 4%. Model tersebut kemudian digunakan dalam sebuah sistem dengan antarmuka sederhana yang menampilkan nilai prediksi dan kalkulasi cuaca – hujan – limpasan yang berguna untuk mengoptimalkan pengelolaan banjir di bendungan Bili – Bili.

Kata kunci: ANN, Prediksi, Limpasan, SCS, Bendungan, Machine Learning, Bili-Bili.

*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

# **OPTIMIZATION MODEL OF FLOOD MANAGEMENT IN BILI-BILI DAM USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS (ANN)**

Nama Mahasiswa : Oscar Margha Gessang  
NRP : 03111850097005  
Supervisor : Dr.techn. Umboro Lasminto, ST., M.Sc.

## **ABSTRAK**

Dam is an infrastructure that generally serves to hold, accommodate and manage water resources in large volumes. Other function of a dam is to control floods by accommodating the excess volume of water into its reservoir. The dam's discharge can be used to minimize the risk of flooding by keeping the river flow downstream in optimal condition. However, it will require special skills in hydrological and hydraulics calculation by the dam manager. In addition, time limitation for mitigation is also a potential problem in flood management.

This research conducted in Jeneberang sub-watershed, intended to optimize the function of Bili – Bili dam on flood risk management, so it can increase the time for mitigation and decision making. With Artificial Neural Network (ANN) modelling conduct rain prediction using data from weather conditions obtained with global weather API and the runoff modelling performed using Soil Conservation Service (SCS) method with precipitation *input* data generated by the ANN model.

Results from the research is for ANN model, rain prediction RMSE range from 2.2 – 10.73 in 5 observation locations, runoff model using SCS method get deviation on 4%. The Model can be used in a system with a simple interface that displays value of predictions for weather – rainfall – runoff to optimize flood management in the Bili Bili dam.

Keywords: ANN, Prediction, Runoff, SCS, dam, Machine Learning, Bili-Bili.

*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

## DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan Tesis .....	i
Pernyataan Keaslian Tesis.....	iii
Kata Pengantar .....	v
Abstrak .....	vii
Daftar Isi.....	xi
Daftar Tabel .....	xv
Daftar Gambar.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan .....	5
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 Studi dan Penelitian Terdahulu .....	7
2.1.1 Prakiraan Cuaca Sebagai Model Prakiraan Banjir .....	7
2.1.2 Metode Adaptif Dalam Pengelolaan Bendungan .....	8
2.1.3 Rainfall/Runoff Menggunakan Neuro-Fuzzy Inference System .....	8
2.1.4 Survey Terhadap Teknik Prediksi Hujan .....	9
2.1.5 Prediksi Cuaca Menggunakan ANN .....	9
2.2 Daerah Aliran Sungai (DAS) .....	10
2.2.1 Karakteristik .....	10
2.2.2 Cuaca dan Musim .....	11
2.2.3 Topografi.....	13
2.2.4 Tutupan Lahan .....	14
2.3 Hujan – Limpasan .....	15

2.3.1	Hujan .....	15
2.3.2	Intensitas Hujan .....	19
2.3.3	Limpasan .....	22
2.4	Bendungan .....	26
2.4.1	Tipe Bendungan.....	26
2.4.2	Kondisi Darurat .....	28
2.5	Artificial Neural Network (ANN) .....	28
2.5.1	Struktur .....	29
2.5.2	Activation Function (Fungsi Aktivasi).....	30
2.5.3	Metode Pembelajaran ANN.....	31
2.6	Sistem dan Aplikasi Pendukung .....	32
2.6.1	Basis Data (Database).....	33
2.6.2	Python.....	33
2.6.3	PHP.....	34
2.6.4	Application Programming Interface (API) .....	34
BAB 3 METODE PENELITIAN .....		37
3.1	Lokasi Penelitian .....	37
3.2	Bahan Penelitian .....	38
3.3	Tahapan Penelitian .....	39
3.3.1	Analisa Spasial .....	39
3.3.2	Analisa Hidrologi dan klimatologi .....	40
3.3.3	Analisa Hidraulika .....	40
3.3.4	Analisa model system.....	40
3.3.5	Pemodelan .....	41
3.3.6	Kalibrasi .....	45
3.3.7	Implementasi .....	46



3.3.8	Diagram Alur .....	47
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		49
4.1	Pemodelan ANN .....	49
4.1.1	Persiapan Lingkungan Pemodelan ANN .....	50
4.1.2	Arsitektur dan Desain Model .....	52
4.1.3	Training, validasi dan penyesuaian .....	56
4.1.4	Pengujian dan Kalibrasi .....	58
4.1.5	Implementasi .....	62
4.2	Pemodelan Hujan Limpasan .....	65
4.2.1	Persiapan Lingkungan.....	65
4.2.2	Analisa Data Spasial .....	66
4.2.3	Analisa Data Hidrologi dan Hidraulika.....	70
4.2.4	Arsitektur dan Desain Model .....	77
4.2.5	Pengujian dan Kalibrasi .....	84
4.2.6	Implementasi .....	88
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....		93
5.1	Kesimpulan .....	93
5.2	Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA .....		97

*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 1-1 Pelaksanaan Pembangunan Bili-Bili.....	2
Tabel 2-1 Hydrologic Soil Group, NRCS, 1984.....	25
Tabel 2-2 Format API Request dan Response .....	35
Tabel 3-1 Format Data Training .....	43
Tabel 3-2 Algoritma Program Training ANN.....	44
Tabel 4-1 Lingkungan Pemodelan .....	50
Tabel 4-2 Ketersediaan Data.....	52
Tabel 4-3 Format Data Training .....	52
Tabel 4-4 Kode Dasar Python, Training Model ANN.....	53
Tabel 4-5 Kode Dasar Pengujian Model ANN .....	55
Tabel 4-6 Perbandingan Kinerja Hidden Layer pada Model Hulu .....	56
Tabel 4-7 Perbandingan Kinerja Hidden Layer Model Malino .....	57
Tabel 4-8 Perbandingan Kinerja Hidden Layer pada Model Tengah .....	57
Tabel 4-9 Perbandingan Kinerja Hidden Layer pada Model Jenelata .....	57
Tabel 4-10 Perbandingan Kinerja Hidden Layer pada Model Hilir.....	57
Tabel 4-11 Arsitektur Model ANN.....	58
Tabel 4-12 Hasil Uji Model .....	62
Tabel 4-13 Komponen API dan Format Data JSON.....	63
Tabel 4-14 Lingkungan Pemodelan Limpasan .....	66
Tabel 4-15 Analisa Kelerengan.....	67
Tabel 4-16 Tutupan Lahan DAS Jeneberang.....	70
Tabel 4-17 Korelasi Nilai Observasi Curah Hujan pada Sub-DAS.....	70
Tabel 4-18 Korelasi dan Signifikansi Variabel Cuaca - Curah Hujan.....	71
Tabel 4-19 Korelasi dan Signifikansi antar Variabel Cuaca.....	71
Tabel 4-20 Waktu Konsentrasi (TC) dan Waktu Penundaan (TL) .....	71
Tabel 4-21 CN Jeneberang Hulu.....	72
Tabel 4-22 CN Malino .....	72
Tabel 4-23 CN Jeneberang Tengah.....	72
Tabel 4-24 CN Jeneberang Hilir .....	73

Tabel 4-25 CN Jenelata .....	73
Tabel 4-26 Hujan Kala Ulang DAS Jeneberang.....	74
Tabel 4-27 Variabel Spesifikasi Bendungan .....	77
Tabel 4-28 Form Input Data .....	81
Tabel 4-29 Perhitungan Limpasan.....	81
Tabel 4-30 Hasil Perhitungan Limpasan dengan Hujan Distribusi - HEC-HMS..	86
Tabel 4-31 Hasil Perhitungan Limpasan Hujan Harian - HEC-HMS .....	87
Tabel 4-32 Hasil Kalibrasi HEC-HMS dan Observasi.....	87
Tabel 4-33 Hasil Kalibrasi SCS-Harian dan Observasi.....	88
Tabel 4-34 Variabel Implementasi Sistem .....	91

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1 Daerah Aliran Sungai Jeneberang.....	3
Gambar 2-1 Arsitektur ANN.....	29
Gambar 2-2 Alur Data ANN.....	30
Gambar 2-3 Activation Function – Sigmoid.....	31
Gambar 2-4 Activation Function – RELU.....	31
Gambar 2-5 Overfitting pada ANN.....	32
Gambar 2-6 Proses API.....	35
Gambar 3-1 Lokasi Pos Hujan & Klimatologi.....	37
Gambar 3-2 Peta Topografi.....	39
Gambar 3-3 Skema Dasar Model Penelitian.....	41
Gambar 3-4 Model Accuracy dan Loss.....	43
Gambar 3-5 Diagram Alur Penelitian.....	47
Gambar 4-1 Alur Pemodelan ANN.....	49
Gambar 4-2 Skematis Desain Umum Arsitektur ANN.....	53
Gambar 4-3 Grafik Hasil Pengujian Model Jeneberang Hulu.....	59
Gambar 4-4 Grafik Hasil Pengujian Malino.....	59
Gambar 4-5 Grafik Hasil Pengujian Model 4.1.4.3 Jeneberang Tengah.....	60
Gambar 4-6 Grafik Hasil Pengujian Model Jenelata.....	61
Gambar 4-7 Grafik Hasil Pengujian Model Jeneberang Hilir.....	61
Gambar 4-8 Skema Konseptual Akuisisi DataTabel.....	63
Gambar 4-9 Output Pengambilan Data Cuaca Menggunakan API.....	64
Gambar 4-10 Skema Konseptual Prediksi Hujan.....	64
Gambar 4-11 Tampilan Output Running Model Prediksi.....	64
Gambar 4-12 Peta Lokasi Penelitian.....	67
Gambar 4-13 Peta Kontur.....	68
Gambar 4-14 Peta Tutupan Lahan.....	68
Gambar 4-15 Peta Jenis Tanah.....	69
Gambar 4-16 Peta Area Impervious.....	69
Gambar 4-17 Kurva Elevasi – Tampang Bili-Bili.....	74

Gambar 4-18 Desain Konseptual Model Limpasan .....	78
Gambar 4-19 Modifikasi Distribusi Hujan Harian .....	79
Gambar 4-20 Skema Konseptual Model Hujan – Limpasan.....	80
Gambar 4-21 Form Input Data .....	81
Gambar 4-22 Hasil Perhitungan Data.....	84
Gambar 4-23 Variabel dan Input Data HEC-HMS .....	85
Gambar 4-24 Input Variabel Curve HEC-HMS .....	85
Gambar 4-25 Hasil Simulasi HEC-HMS pada Bili-Bili.....	85
Gambar 4-26 Hasil Simulasi HEC-HMS pada DAS Jeneberang .....	86
Gambar 4-27 Skema Implementasi Sistem .....	88
Gambar 4-28 Informasi Prediksi Kondisi.....	90
Gambar 4-29 Informasi Kondisi Bendungan.....	90
Gambar 4-30 Pengaturan Variabel dan Pengambilan Data API.....	90

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai (DAS) Jeneberang secara administratif berada di provinsi Sulawesi Selatan, secara geografis DAS Jeneberang terletak pada koordinat  $-5.169444^{\circ}\text{S}$ ,  $119.4306^{\circ}\text{E}$  sampai  $-5.4375^{\circ}\text{S}$ ,  $119.9361^{\circ}\text{E}$ . Sungai utama yang mengalir pada DAS ini adalah sungai Jeneberang dengan panjang aliran 78.75 km. Sungai ini mengalir dari bagian timur DAS ke barat dengan pola aliran *dendritic*. DAS ini dapat dibagi menjadi 5 sub-DAS yaitu Jeneberang bagian Hulu, Malino, Jeneberang bagian Tengah, Jenelata dan sub-DAS Jeneberang bagian Hilir. Bagian hulu dari DAS Jeneberang berbatasan dengan gunung Bawakaraeng (2.833 mdp) daerah ini memiliki kemiringan lereng yang besar, sementara pada bagian tengah DAS menuju hilir memiliki tingkat kemiringan yang jauh lebih landai.

Bendungan Bili-Bili adalah bendungan dan pertama yang dibangun oleh Pemerintah Republik Indonesia di provinsi Sulawesi Selatan pada tahun 1997. Terletak di tengah DAS Jeneberang, bendungan Bili-Bili mulai beroperasi secara penuh pada Juli 1999, ditandai dengan terjadinya limpasan pertama pada pelimpah utama. Bendungan Bili- Bili terletak di kabupaten Gowa, berjarak 23 km arah timur kota Makassar, menuju pertemuan sungai Jenelata dan sungai Jeneberang. Lokasi geografis bendungan ini terletak di  $-5.276753^{\circ}\text{S}$ ,  $119.580508^{\circ}\text{E}$ . Bili- Bili merupakan bendungan serbaguna (*multipurpose*) yang pembangunannya bertujuan untuk memaksimalkan pemanfaatan potensi sumber daya air di DAS Jeneberang.

Definisi bendungan serbaguna menurut *International Commission on Large Dams* (ICOLD) adalah bendungan yang didesain untuk memenuhi beberapa tujuan, seperti penyedia cadangan air baku domestik, kebutuhan industri, irigasi, pembangkit tenaga listrik (*hydropower*), pengendalian banjir dan pariwisata. Bendungan Bili-Bili bertipe urukan dengan tubuh utama bendungan setinggi 73 m dari fondasi dan 56 m dari permukaan sungai. Dengan total panjang puncak

bendungan 1808 m bendungan ini menghasilkan genangan seluas ±17.886 km dan volume maksimum sebesar 375 juta m<sup>3</sup> (JICA, 2005).

Tabel 1-1 Pelaksanaan Pembangunan Bili-Bili

No	Paket	Pelaksanaan	Pekerjaan
1	Paket I	1986-1988	Survey dan kajian teknis Bendungan Bili-Bili.
2	Paket II	1992-1993	Persiapan Proyek (relokasi, pembebasan lahan, dan akses jalan Malino)
3	Paket III	1993-1994	Pembuatan jembatan, dan pelindung tebing sungai.
4	Paket IV	1994-1997	Pekerjaan cover dam, bendungan utama, sayap kiri - kanan, spillway, outlet dan outlet intake

Sumber: BBWS Pompengan Jeneberang,

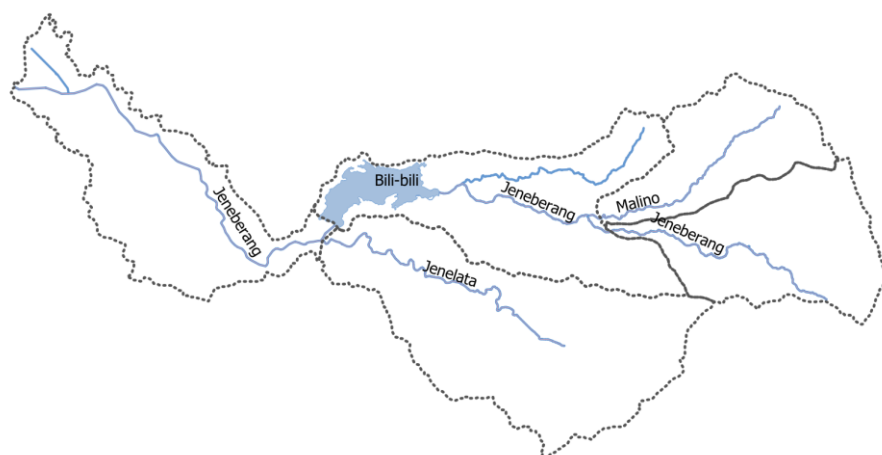
Dengan letak geografis bendungan dan waduk Bili – Bili yang berada di tengah DAS Jeneberang membuat lokasi tersebut memiliki perbedaan elevasi yang besar terhadap bagian hulu dimana kecepatan aliran yang masuk ke waduk sangat dipengaruhi oleh kemiringan lereng yang besar. Perbedaan elevasi sungai Jeneberang bagian hulu dengan inlet bendungan sebesar 835 m dengan jarak 37 km menghasilkan kemiringan sebesar 2,3% dan estimasi waktu aliran maksimal pada perhitungan desain (JICA, 1980) 4 jam. Sungai Jeneberang memiliki sungai ordo ke-2 yang bermuara tepat di bagian hilir outlet bendungan Bili-Bili, yaitu sungai Jenelata. karakteristik sungai Jenelata mirip dengan sungai Jeneberang. Tercatat dalam beberapa kejadian banjir, sungai Jenelata juga menjadi salah satu penyebab terjadinya banjir di bagian hilir. Berdasarkan analisis awal yang dilakukan pada lokasi penelitian terdapat potensi debit air yang datang dalam jumlah besar dengan waktu yang relatif singkat yang berasal dari bagian hulu DAS Jeneberang.

Kejadian banjir bandang sering terjadi di daerah pegunungan dengan lereng yang curam pada DAS kecil sehingga menyebabkan waktu respons curah hujan - limpasan pendek, serta dapat memicu terjadinya tanah longsor (Jing Tao, 2013). Pada 21 - 23 Januari 2019 hampir di seluruh bagian DAS Jeneberang memiliki curah hujan yang tinggi. Bagian hulu bendungan mencatat hujan sebesar 329 mm, pos hujan di area bendungan mencatat 234 mm, hujan pada sub-DAS



Jenelata mencatat hujan sebesar 308 mm, sementara pada hilir bendungan pos hujan mencatat hujan sebesar 328 mm.

Berdasarkan catatan dan laporan yang diberikan oleh pengelola bendungan Bili - Bili ketinggian muka air di waduk mencapai 101,87 m dengan estimasi volume waduk sebesar 297,208 juta m<sup>3</sup>. Kondisi ini menghasilkan outflow pada pelimpah bendungan sebesar 1.426,86 m<sup>3</sup>/s. Salah satu efek yang terjadi adalah kejadian banjir di bagian hilir bendungan. Meskipun banjir ini tidak hanya diakibatkan oleh tingginya debit pelimpah bendungan, namun juga diakibatkan oleh debit sungai Jenelata yang masuk ke dalam sistem aliran sungai Jeneberang tepat di bagian hilir bendungan. Kondisi tersebut merupakan satu dari banyak potensi bencana yang terjadi akibat cuaca ekstrem di Sulawesi Selatan. Kondisi ini diperparah dengan kondisi alam yang banyak mengalami perubahan pada tutupan lahan khususnya di bagian hulu DAS, sehingga mengakibatkan kerusakan pada daerah resapan. Secara hipotesis kondisi tersebut dapat di minimalisasi risikonya dengan menjaga aliran hilir bendungan dengan melandaikan kurva limpasan pada *spillway*. Situasi ini dimungkinkan apabila waktu yang dimiliki untuk melakukan analisa cukup besar dan aliran informasi bisa di dapatkan secara real-time, sementara kondisi saat ini pada area penelitian, pencatatan dan pemantauan curah hujan dilakukan menggunakan *logger* dan secara *visual*. laporan yang dilakukan melalui jaringan radio.



Gambar 1-1 Daerah Aliran Sungai Jeneberang

Sumber: Hasil Pengolahan

Salah satu tujuan dari hasil penelitian adalah meningkatkan kesiapan pengelola bendungan dalam menghadapi potensi kejadian banjir di bagian hilir DAS Jeneberang menggunakan prediksi cuaca dan perhitungan limpasan. Metodologi yang digunakan adalah *Artificial Neural Network* (ANN) dan model perhitungan limpasan menggunakan *Soil Conservation Services* (SCS). *Output* penelitian ini adalah informasi kondisi cuaca, prediksi curah hujan dan nilai debit limpasan. Metodologi yang digunakan merupakan salah satu bentuk otomatisasi dalam melakukan mitigasi bencana.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Pengelolaan infrastruktur sumber daya air yang kurang tepat akan menimbulkan bencana yang besar bagi masyarakat yang berada di daerah hilir suatu DAS (Zhang, 2016). Hujan dengan intensitas tinggi berpotensi untuk menghasilkan volume limpasan yang besar. Ketidaksiapan pengelolaan dapat menyebabkan terjadinya kerusakan yang fatal, baik pada infrastruktur dan masyarakat sepanjang aliran sungai. Dengan kondisi topografis DAS Jeneberang perlu dilakukan optimalisasi pengelolaan infrastruktur melalui mitigasi. Pilihan ini harus dilakukan untuk dapat mengurangi risiko ancaman bencana banjir. Permasalahan yang muncul adalah:

1. Apa metode dan teori yang bisa digunakan untuk memprediksi kegagalan fungsi bendungan dalam pengelolaan banjir?
2. Variabel apa yang digunakan untuk melakukan prediksi mitigasi dan mengambil keputusan?
3. Model apa yang bisa dibuat menggunakan metode dalam melakukan prediksi dan pengambilan keputusan?
4. Berapa besar kinerja model?
5. Bagaimana implementasi dari model sehingga dapat mengurangi potensi kegagalan fungsi bendungan dalam pengelolaan banjir?

### **1.3 Tujuan**

Tujuan yang diharapkan pada penelitian ini adalah mengurangi potensi kegagalan fungsi bendungan dalam pengelolaan banjir melalui tindakan mitigasi banjir akibat limpasan di hulu, antara lain dengan:

1. Menentukan metode mitigasi dengan melalui analisis hidraulika untuk mengetahui volume limpasan maksimum dalam waktu singkat
2. Menentukan variabel, mendapatkan data yang digunakan untuk melakukan prediksi mitigasi dan mengambil keputusan.
3. Membuat model untuk prediksi hujan, perhitungan limpasan dan pengambilan keputusan.
4. Menghitung kinerja model.
5. Uji implementasi model untuk meminimalkan risiko dalam pengelolaan banjir.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah memberikan alternatif dalam pengelola bendungan untuk memaksimalkan potensi infrastruktur dalam pengelolaan banjir dan mengurangi dampak banjir dengan langkah mitigasi terhadap potensi banjir akibat limpasan di hulu.

### **1.5 Batasan Masalah**

Ruang lingkup pada penelitian ini diperlukan agar penelitian ini dapat tetap pada tujuan penelitian. Beberapa batasan dan ruang lingkup penelitian yang tercakup adalah:

1. Lokasi penelitian terletak di DAS Jeneberang dengan objek penelitian bendungan Bili-Bili.
2. Referensi data yang digunakan adalah pencatatan klimatologi dari stasiun pada lokasi penelitian,
3. Rekaman curah hujan terdiri dari 5 pos pengamatan hujan, dan 3 lokasi pencatatan tinggi muka air di tiap sub-DAS Jeneberang sebagai referensi.

4. Data kondisi cuaca (*real-time*) yang digunakan sebagai *input* adalah prediksi data cuaca global yang didapatkan menggunakan *Application Programming Interface* (API).
5. Lingkup penelitian ini adalah pemodelan prediksi hujan menggunakan ANN, perhitungan limpasan secara numerik untuk menghasilkan model hujan-limpasan.
6. Produk penelitian ini adalah antarmuka sederhana yang dapat digunakan dalam peningkatan kesiapan pengelola dengan pengambilan keputusan terkait mitigasi bencana akibat hujan-limpasan.

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Studi dan Penelitian Terdahulu**

Studi literatur dilakukan untuk mencari referensi atau teori yang relevan terhadap sebuah kasus dan permasalahan yang terjadi. Literatur yang digunakan menjadi referensi adalah peraturan, buku, jurnal, laporan dan penelitian lain terkait pada objek penelitian. Penelitian ini tidak sama dengan penelitian sebelumnya yang digunakan sebagai referensi. namun dapat menggunakan jenis data, referensi, kajian dari penelitian sebelumnya untuk penyelesaian penelitian ini. Beberapa penelitian yang relevan dan dikembangkan sebagai dasar atau digunakan antara lain:

##### **2.1.1 Prakiraan Cuaca Sebagai Model Prakiraan Banjir**

Studi yang dilakukan oleh (Yamamoto, 2011) mengemukakan bahwa metode pengendalian banjir sederhana dapat digunakan untuk meminimalkan kerusakan banjir di hilir dengan cara peramalan (hitungan) total volume aliran masuk ke bendungan menggunakan metode prediksi curah hujan berdasarkan teknik *Weather Research and Forecasting Model* (WRF). Dimana metode tersebut menjadi lebih akurat dan meningkat secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Hasil verifikasi dan perhitungan efektivitas dari penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa metode prediksi dapat digunakan dengan kesalahan prediksi curah hujan berada dalam skala yang tidak signifikan. Metode ini dapat digunakan untuk memperkirakan total *inflow* volume pada waduk dalam periode tertentu. Hal ini memungkinkan pengelola untuk mengantisipasi dan meringankan dampak kerusakan akibat banjir. Pada beberapa situasi diperlukan penyesuaian terhadap prosedur tetap untuk melakukan limpasan dini dari air tumpungan (*preliminary discharge*). bertujuan untuk mengurangi *maximum discharge rate* di hilir sehingga debit aliran hulu tidak melebihi maksimum. Penggunaan WRF untuk prediksi hujan dapat meningkatkan efektivitas

penanggulangan banjir namun diperlukan pemahaman terhadap karakteristik model oleh pengamat.

### 2.1.2 Metode Adaptif Dalam Pengelolaan Bendungan

Penelitian yang dilakukan oleh (Someya, 2018) membahas perubahan model pengelolaan bendungan dalam pengendalian banjir yang semula dilakukan berdasarkan menggunakan prosedur dan pola normal menjadi pola dinamis berdasarkan *inflow* dan *outflow* menjadi kondisi yang paling memungkinkan. Metode ini bertujuan mengurangi kerusakan akibat banjir dengan memaksimalkan pengelolaan fungsi bendungan dan waduk. Pada penelitian ini pola operasional yang digunakan terkadang berada berbeda dengan pola pengelolaan biasa yang sudah ditetapkan. Pada metode ini diperlukan keahlian dari individu pengelola bendungan seperti antara lain perhitungan debit berdasarkan prediksi hujan.

Pada penelitian ini metode operasional dibagi menjadi 2 jenis pola terhadap waktu mulai pola pengelolaannya, dengan asumsi debit masuk masih dapat ditampung oleh waduk, yaitu:

1. Sebelum kejadian, perbedaan terdapat pada waktu pelepasan mengakibatkan debit yang dihasilkan akan lebih kecil namun dalam waktu yang lebih lama.
2. Setelah kejadian dengan mengurangi besaran pelepasan pada waktu tertentu

Beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini menunjukkan beberapa poin penting yaitu:

1. Kesuksesan metode ini sangat dipengaruhi oleh perkiraan hujan
2. Pengelola bendungan harus dapat melakukan analisis terhadap perkiraan hujan - limpasan untuk dapat lebih yakin pada pelaksanaannya.

### 2.1.3 Rainfall/Runoff Menggunakan Neuro-Fuzzy Inference System

Penelitian (Bartoletti. N, 2018) dilakukan menggunakan metode *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) untuk menghasilkan prediksi sederhana berdasarkan pada data rekaman hujan – limpasan pada sebuah *catchment area*. Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan

struktur data dan estimasi yang akurat. Pendekatan PCA merupakan pengganti dari penggunaan *polygon* Thiessen yang biasanya digunakan dalam *Geographic Information System* (GIS). Metode ini mencoba membuktikan bahwa kombinasi PCA dan ANFIS dapat menghasilkan hasil yang lebih baik.

#### 2.1.4 Survey Terhadap Teknik Prediksi Hujan

Penelitian yang dilakukan (Hirani, 2016) dengan menginventarisasi jenis penelitian yang membahas tentang metode prediksi hujan, antara lain menggunakan metode:

1. *Multiple Linear Regression*,
2. *Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)*,
3. *Genetic Algorithm*,
4. *Adaptive Splines Threshold Autoregressive (ASTAR)*,
5. *Support Vector Machine (SVM)*,
6. *Fuzzy Logic (Fuzzy)*,
7. *Back-Propagation Neural Network (BPNN)*,
8. *Radial Basis Function Networks (RBFN)*,
9. *Weather Research and Forecasting*,
10. *Global Data Forecast System*.

#### 2.1.5 Prediksi Cuaca Menggunakan ANN

Referensi lain yang digunakan adalah yang berkaitan dengan prediksi cuaca. Salah satu metode dalam pemodelan cuaca – hujan yang dapat digunakan sebagai alternatif adalah ANN (Beven, 2011). Model yang dibuat harus menggunakan parameter sederhana untuk dapat secara efektif memperhitungkan proses yang muncul sebagai akibat dari keterbatasan model prakiraan dan kesalahan lain dalam pengamatan (Krasnopolsky, 2013). Pendekatan menggunakan metode ANN dapat bekerja secara cepat, dan cukup *flexible* dalam menyelesaikan masalah mudah beradaptasi dengan lingkungan baru (Sharma, 2014).

ANN memiliki banyak keuntungan, baik dari segi waktu, biaya, kemudahan dalam pembuatan, juga dapat terintegrasi dengan sistem otomatisasi

seperti *automatic data acquisition systems* sehingga dapat diimplementasikan menjadi *real-time forecasting system* (Campolo, 2003). Banyak dari keunggulan ANN terletak pada kemampuannya untuk memproses data secara fleksibel dalam waktu yang relatif singkat, mereproduksi, dan menghitung sifat, hubungan yang (seringkali) tidak linier antara variabel *input* dan *output*. Hal ini menjadikan ANN layak untuk dipertimbangkan sebagai alat dapat memperkirakan limpasan jangka panjang secara *real-time* (Toth, 2009). ANN *modular* (atau model multi-network) untuk peramalan aliran berhasil diterapkan dalam literatur hidrologi bertujuan melakukan prediksi nilai hidrologis pada skala waktu yang sangat bervariasi. (Furundzic, 1998). menggunakan ANN dengan analisis *time series* terhadap pemodelan hujan - limpasan.

## **2.2 Daerah Aliran Sungai (DAS)**

Beberapa referensi tentang Daerah Aliran Sungai (DAS) menyebutkan bahwa DAS adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak sungai yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alamiah, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. (KepPres 12/2012, 2012) dan (UU 17/2019, 2019). DAS atau Daerah Tangkapan Air (DTA) / catchment area merupakan bentang alam atau wilayah daratan yang menangkap atau menerima air hujan. Wilayah yang dimaksud dibatasi oleh pemisah topografis yang berupa punggung pegunungan sebagai batas hulu, sedangkan batas hilirnya sampai dengan daerah perairan laut yang masih terpengaruh aktivitas daratan (Ansori, 2017).

### **2.2.1 Karakteristik**

Berdasarkan lokasi DAS dapat dibagi menjadi tiga yaitu daerah hulu, tengah dan hilir. Karakter pada daerah hulu DAS adalah merupakan daerah konservasi dengan kerapatan drainase lebih tinggi, biasanya merupakan daerah dengan kemiringan lahan yang lebih besar dari 15%, bukan merupakan daerah banjir, pengaturan pemakaian air ditetapkan oleh pola drainase dan jenis vegetasi



umumnya merupakan hutan. Sementara daerah hilir DAS merupakan daerah pemanfaatan, dengan kerapatan drainase kecil karena banyaknya perubahan dalam penggunaan lahan, daerah ini merupakan daerah dengan kemiringan lahan yang relatif kecil (kurang dari 8%), beberapa lokasi merupakan daerah banjir dengan jenis vegetasi didominasi tanaman pertanian. Daerah aliran sungai bagian tengah merupakan daerah transisi dari kedua karakteristik DAS (Asdak, 2014). Berdasarkan bentuk pola aliran pada DAS dapat bagi menjadi beberapa kelompok, yang menentukan pola hidrologis. Pola aliran ini dipengaruhi oleh faktor geomorfologi, topografi dan bentuk wilayah. Laju dan volume aliran permukaan akan bertambah seiring bertambahnya luas sebuah DAS, aliran permukaan tidak dinyatakan sebagai jumlah volume total melainkan sebagai laju dan volume per satuan luas. Hal ini sesuai dengan waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir dari titik terjauh sampai dengan titik kontrol (waktu konsentrasi) juga penyebaran atau intensitas hujan (Asdak, 2014). Pola sungai dan bentuk DAS berpengaruh terhadap kecepatan berpusatnya aliran (*time of concentration*). DAS Jeneberang masuk dalam Wilayah Sungai Jeneberang yang ditetapkan sebagai daerah yang dikelola oleh (Pemerintah) Pusat melalui Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan – Jeneberang (BBWS PJ). Pengaturan kewenangan pengelolaan Wilayah Sungai (WS) di Indonesia tercantum pada (KepPres 12/2012, 2012). DAS Jeneberang bagian hulu memiliki 3 (tiga) jenis lereng yaitu kelas lereng 9% – 15%, 15% – 26%, dan 41% – 60% (Fitria, 2012).

### 2.2.2 Cuaca dan Musim

Cuaca adalah keadaan dinamika udara di atmosfer pada waktu dan tempat tertentu. Cuaca umumnya dapat diungkapkan atau dinyatakan dengan kondisi hujan, suhu udara, jumlah tutupan awan, penguapan, kelembaban, dan kecepatan angin di suatu tempat dari hari ke hari (Aldrian, 2011). Indonesia mempunyai tiga pola hujan yaitu hujan *monsoonal*, hujan *equatorial* dan hujan lokal (BMKG, 2010).

Curah hujan *monsoonal* dikenal juga sebagai hujan *unimodal* (satu puncak hujan), dan hujan tipe *equatorial* dikenal sebagai hujan *bimodal* (dua puncak hujan)

tipe dan sifat hujan berdasarkan pada letak geografis dapat didefinisikan sebagai berikut:

1. Pola hujan *monsoonal*, wilayahnya memiliki perbedaan yang jelas antara periode musim hujan dan periode musim kemarau kemudian dikelompokkan dalam Zona Musim (ZOM), tipe curah hujan yang bersifat *unimodal* (satu puncak musim hujan, dengan 2 musim. hujan dan kemarau).
2. Pola hujan *equatorial*, yang wilayahnya memiliki distribusi hujan bulanan bimodal dengan dua puncak musim hujan maksimum dan hampir sepanjang tahun masuk dalam kriteria musim hujan. Pola *equatorial* dicirikan oleh tipe curah hujan dengan bentuk *bimodal* (dua puncak hujan) yang biasanya terjadi sekitar bulan Maret dan Oktober atau pada saat terjadi *equinox*.
3. Pola hujan *local*, yang wilayahnya memiliki distribusi hujan bulanan kebalikan dengan pola *monsoon*. Pola lokal dicirikan oleh bentuk pola hujan *unimodal* (satu puncak hujan), tetapi bentuknya berlawanan dengan tipe hujan *monsoon*.

Pada kondisi normal, daerah yang bertipe hujan *monsoon* akan mendapatkan jumlah curah hujan yang berlebih pada saat *monsoon* barat dibanding saat *monsoon* timur. Pengaruh *monsoon* di daerah yang memiliki pola curah hujan *equatorial* kurang tegas akibat pengaruh isolasi pada saat terjadi *equinox*, demikian juga pada daerah yang memiliki pola curah hujan lokal yang lebih dipengaruhi oleh efek topografis area. Curah hujan sangat dipengaruhi oleh variabel cuaca antara lain adalah

1. Suhu Udara, Suhu udara adalah keadaan derajat panas atau dinginnya udara. Suhu biasanya diukur dalam skala Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), Reaumur ( $^{\circ}\text{R}$ ), atau Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ). Faktor-faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya suhu udara suatu daerah antara lain lama penyinaran matahari, sudut pandang sinar matahari, sudut datang sinar matahari, *relief* permukaan bumi, jumlah awan, dan letak lintang sebuah lokasi (Aldrian, 2011). laju penurunan suhu (*environmental lapse rate*) besarnya sekitar  $6,5^{\circ}\text{C}$  per 1.000 m. setiap kenaikan ketinggian 1.000 m suhu udara mengalami penurunan sebesar  $6,50^{\circ}\text{C}$ .

2. Tekanan Udara, Udara yang mengembang menghasilkan tekanan udara yang lebih rendah, sedangkan udara yang berat menghasilkan tekanan yang lebih tinggi. Tekanan udara yang menunjukkan tenaga yang bekerja untuk menggerakkan massa udara dalam setiap satuan luas tertentu. Tekanan udara akan semakin rendah pada tempat yang semakin tinggi, tekanan uap air ditentukan oleh kerapatan uap air dan suhu.
3. Kecepatan Angin, Jika pada suatu saat terjadi perbedaan tekanan udara pada arah mendatar, maka akan terjadi gerakan perpindahan massa udara dari tempat dengan tekanan udara yang tinggi ke tempat dengan tekanan udara yang rendah. Gerakan perpindahan massa udara pada arah mendatar tersebut disebut arus angin.
4. Kelembaban Udara, Kelembaban udara adalah banyaknya uap air yang terkandung di udara pada suatu tempat yang dinyatakan dengan banyaknya gram uap air di dalam 1 m<sup>3</sup> udara. Uap air adalah sumber dari semua bentuk kondensasi, dimana uap air dapat menyerap baik radiasi sinar matahari maupun radiasi bumi. Kelembaban udara dapat dibagi menjadi 2, yaitu:
  1. Kelembaban udara *absolute*, adalah banyaknya uap air yang terdapat di udara pada suatu tempat, dinyatakan dengan banyaknya gram uap air dalam 1 m<sup>3</sup> udara.
  2. Kelembaban udara *relative*, adalah perbandingan jumlah uap air dalam udara dengan jumlah air maksimum yang dapat dikandung oleh udara dalam suhu yang sama dan dinyatakan dalam persen (%). Kelembaban relatif merupakan parameter penting yang harus diperhatikan.

DAS Jeneberang memiliki pola hujan lokal dan *monsoonal* yang berarti wilayahnya memiliki perbedaan yang jelas antara periode musim hujan dan periode musim kemarau, DAS ini dikelompokkan dalam ZOM dengan tipe curah hujan yang bersifat *unimodal*

### 2.2.3 Topografi

Topografi adalah penampakan fisik suatu tempat, lokasi atau area, hal ini meliputi *relief* permukaan bumi. Faktor topografi umumnya berkorelasi dengan

kemiringan dan panjang lereng. Jenis tutupan lahan juga berpengaruh terhadap erosi dan sedimentasi, vegetasi akan membantu tanah dari tumbukan air hujan (atau aliran) dalam mempertahankan bentuknya sehingga dapat mencegah erosi, menurunkan kecepatan dan mengurangi volume *runoff* dengan infiltrasi. Vegetasi akan menahan partikel tanah pada tempatnya melalui sistem perakaran yang dimiliki. Jika intensitas hujan lebih rendah dari nilai infiltrasi maka air hujan yang mencapai permukaan bumi akan sepenuhnya terinfiltrasi sehingga tidak terjadi limpasan. Pada saat intensitas hujan melebihi kapasitas infiltrasi, maka terjadi aliran di permukaan, apabila tanah tidak dapat mempertahankan bentuknya maka akan terjadi erosi. DAS Jeneberang memiliki topologi berbukit di bagian hulu, dan cenderung datar di bagian hilir. bagian hulu memiliki perbedaan ketinggian yang cukup besar dan kemiringan lahan yang curam. Dengan perbedaan elevasi 2.454 m di titik tertinggi dan jarak terjauh 68.751 km maka DAS ini memiliki rerata kemiringan 3% dengan tutupan lahan yang banyak mengalami perubahan maka DAS ini juga berpotensi mengalami erosi di bagian hulu.

#### 2.2.4 Tutupan Lahan

Tutupan lahan di definisikan sebagai garis yang menggambarkan batas penampakan area tutupan di atas permukaan bumi yang terdiri dari bentang alam dan/atau bentang buatan (UU 4/2011, 2011). Beberapa fungsi tutupan lahan/penutupan lahan adalah:

1. Perencanaan dan pengembangan suatu daerah/ area (tata ruang wilayah),
2. Analisa perkembangan hutan (degradasi, deforestasi),
3. Perhitungan cadangan dan emisi karbon,
4. Pengawasan dan evaluasi terhadap kinerja pemegang izin usaha (konsesi) pada kawasan hutan (pemantauan areal penebangan, realisasi tanam dan pembukaan tambang,
5. Pemantauan area kawasan konservasi dan kesatuan pengelolaan hutan dari perambahan, pembalakan liar dan kebakaran lahan dan hutan.

Tutupan lahan dibuat menggunakan pengolahan citra satelit atau pengukuran lapangan. Data citra satelit yang terkoreksi didapatkan dari Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) data ini merupakan data yang siap digunakan untuk pengolahan citra lebih lanjut. Metode lain yang dapat dilakukan untuk mendapatkan tutupan lahan sebagai referensi adalah melalui pengelola infrastruktur dan atau administrasi daerah. Data ini merupakan data sekunder yang siap untuk digunakan pada pengolahan lebih lanjut. Keuntungan dari penggunaan citra satelit adalah data yang dihasilkan merupakan data *up-to date* dengan kondisi lapangan, tetapi diperlukan pengolahan yang cukup rumit. Peta tutupan lahan pada wilayah penelitian yang akan digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yang di dapatkan dari Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan Jeneberang (BBWS PJ) sebagai pengelola wilayah sungai di daerah penelitian dan Badan Informasi Geospasial (BIG)

### **2.3 Hujan – Limpasan**

Pada siklus hidrologi, kejadian hujan atau *precipitation* terjadi karena adanya *evaporasi* dan transpirasi, air hujan yang jatuh akan mengalami infiltrasi, perkolasi, aliran limpasan, dan aliran bawah tanah. secara umum air hujan pada permukaan tanah terbagi menjadi 2 (dua), sebagai aliran limpasan (*overland flow*) dan infiltrasi. Karakteristik fisik lingkungan memiliki pengaruh terhadap respons hidrologis. beberapa aspek yang mempengaruhi antara lain topografi, jenis tanah, dan penggunaan lahan atau penutup lahan. Peralihan fungsi kawasan yang memiliki kemampuan untuk menyerap air (*pervious*) menjadi kawasan yang kedap air (*impervious*) dan perubahan terhadap penutup lahan dan vegetasi akan memberikan pengaruh terhadap waktu debit dan volume aliran. Aliran yang melebihi daya serap area akan menjadi limpasan permukaan (*surface runoff*) yang selanjutnya mengisi cekungan dan mengalir ke laut.

#### **2.3.1 Hujan**

Hujan atau *precipitation* adalah nama umum dari uap air yang terkondensasi dan kemudian jatuh ke tanah dalam rangkaian proses siklus hidrologi

(Suyono, 1987). Sebuah siklus didefinisikan sebagai rangkaian kejadian berulang, tetap dan teratur. Siklus hidrologi berlangsung dalam tiga (3) cara yang berbeda (Ansori, 2017).

1. Evaporasi / Transpirasi - Pemanasan air yang ada di permukaan bumi baik di laut, dataran, sungai, tampungan air, bahkan makhluk hidup akan memicu perubahan bentuk air dari cair menjadi uap yang lebih ringan dari udara sekitarnya, uap air tersebut menguap dan terkumpul menjadi awan yang apabila jenuh kembali berubah bentuk menjadi cair kemudian akan turun (*precipitation*) dalam bentuk hujan, salju atau es.
2. Infiltrasi - setelah proses jatuhnya air ke tanah, sesuai sifatnya air akan mengalir ke tempat yang lebih rendah dan mengisi ruang yang ada, maka air akan bergerak ke dalam tanah (atau batuan) yang memiliki celah dan pori secara *vertical* atau *horizontal* di bawah permukaan tanah. Sampai pada akhirnya akan mencapai sistem air permukaan (atau tersimpan pada cekungan air tanah)
3. Aliran Permukaan - setelah proses hujan (*precipitation*) air yang jatuh tidak seluruhnya masuk ke dalam tanah melalui celah dan pori di tanah, Sebagian air akan mengalir di permukaan tanah dengan kecepatan yang relative pada jenis tutupan lahannya. Aliran permukaan ini akan selanjutnya bergabung dengan sistem air permukaan yang terlihat sebagai sungai, waduk dan mengalir ke bagian yang lebih rendah.

Hujan di indonesia adalah bentuk *precipitation* dalam bentuk cair. Hujan merupakan komponen *input* paling penting dalam hidrologi, jumlah kedalaman hujan (*rainfall depth*) dapat diolah menjadi berbagai bentuk dan jenis informasi, seperti debit aliran di sungai, limpasan permukaan (*surface runoff*), aliran antara (*interflow, subsurface flow*) maupun sebagai aliran air tanah (*groundwater flow*). Beberapa karakteristik hujan yang diperlukan pada analisis hidrologi antara lain adalah

1. Durasi hujan (t) adalah lama kejadian hujan (menit, jam, harian) diperoleh dari pencatatan alat pengukur hujan otomatis maupun yang manual

2. Intensitas hujan ( $i$ ) adalah jumlah hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan tiap satuan waktu, misalnya mm/menit, mm/jam, dan mm/hari. Besarnya intensitas hujan berbeda-beda tergantung dari curah hujan, dan frekuensi kejadiannya.
3. Tinggi hujan ( $d$ ) adalah jumlah atau kedalaman hujan yang terjadi selama durasi hujan ( $t$ ), dan dinyatakan dalam ketebalan air di atas permukaan datar (mm).
4. Frekuensi atau periode ulang ( $T$ ) adalah jumlah kejadian hujan tertentu dalam satuan waktu. Periode atau frekuensi hujan dinyatakan dengan kala ulang (return period).
5. Luas ( $A$ ), adalah jumlah luas geografis daerah sebaran hujan

Hujan berdasarkan karakter kejadiannya dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu:

1. Hujan aktual adalah rangkaian data pengukuran di stasiun hujan selama periode tertentu.
2. Hujan rencana adalah *hyetograph* hujan yang mempunyai karakteristik yang secara umum sama dengan karakteristik hujan yang terjadi pada masa lalu, sehingga dapat digunakan untuk menggambarkan kejadian hujan yang prediksi akan terjadi.

Pencatatan curah hujan dilakukan dalam satuan waktu, antara lain per hari atau per jam, pencatatan curah hujan harian merupakan pencatatan terhadap hujan yang terjadi dan tercatat pada stasiun pengamatan curah hujan setiap hari (selama 24 jam) dan dapat digunakan sebagai data *input* seperti pada simulasi kebutuhan air, simulasi sistem operasi waduk. Curah hujan harian maksimum adalah nilai curah hujan harian tertinggi dalam tahun pengamatan pada suatu stasiun tertentu data ini digunakan dalam perancangan infrastruktur keairan seperti bendung, bendungan, tanggul, bangunan pengaman sungai dan drainase. Curah hujan bulanan adalah jumlah curah hujan harian dalam satu bulan pengamatan pada suatu stasiun curah hujan tertentu. Data ini biasanya dipergunakan untuk simulasi kebutuhan air dan menentukan pola tanam. Curah hujan tahunan adalah jumlah curah hujan

bulanan dalam satu tahun pengamatan pada suatu stasiun curah hujan tertentu. Pencatatan harian adalah metode pengumpulan data yang paling lazim dilakukan (sampai dengan saat ini di Indonesia) biasanya dilakukan secara manual. Sementara pencatatan per jam (atau kurang) biasanya dilakukan oleh *logger* secara otomatis. Untuk mendapatkan gambaran intensitas curah hujan pada sebuah area dapat dihitung menggunakan beberapa metode, yaitu:

1. Metode rata-rata aljabar, merupakan metode paling sederhana dalam perhitungan hujan. Metode ini dilakukan berdasarkan pada asumsi bahwa semua penakar hujan mempunyai pengaruh yang setara dalam sebuah area atau wilayah. Metode ini dilakukan dengan mengambil rata-rata hitung (*arithmetic mean*) dari jumlah hujan areal tersebut. Metode ini dapat digunakan pada kawasan dengan topografi kawasan rata atau datar, jumlah alat penakar hujan tersebar merata atau hampir merata dan variasi nilai data curah hujan antara pos tidak terlalu jauh dari nilai rata-ratanya.

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_n}{n} \quad (1)$$

2. Metode Poligon Thiessen, metode ini dilakukan dengan menghitung proporsi antara luas dan pengaruh dari pos hujan. Pengaruh dari setiap pos digambarkan dengan membuat garis tegak lurus di tengah penghubung antara dua pos penakar terdekat. Metode ini mengasumsikan variasi hujan antara pos yang satu dengan lainnya adalah linear.

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n A_n P_n}{A} \quad (2)$$

3. Metode Isohyet, metode ini dilakukan dengan membuat garis penghubung antara pos dengan curah hujan dengan nilai sama. Metode ini menghasilkan nilai dengan melakukan interpolasi curah hujan tercatat pada tiap pos hujan. Metode Isohyet berasumsi tiap pos penakar mencatat jumlah hujan yang sama untuk daerah sekitarnya.



$$P = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(A(I_n + I_{n+1}))}{2}}{\sum_{i=1}^n A_n} \quad (3)$$

Menurut (Suripin, 2004) penentuan metode pada analisis hidrologi harus memperhatikan antara lain:

1. Jumlah pos penakar hujan, apabila jumlah pos cukup banyak maka seluruh metode (Isohyet, Polygon Thiessen dan Rata-Rata Aljabar) dapat dipakai, apabila jumlah pos penakar hujan terbatas maka perhitungan menggunakan Metode Rata-Rata Aljabar atau Polygon Thiessen, Jika hanya terdapat pos penakar hujan tunggal, maka metode hujan titik yang dapat dipakai;
2. Perhitungan pada DAS besar (luas > 5000 km<sup>2</sup>) disarankan menggunakan Isohyet;
3. Perhitungan pada DAS sedang (luas 500 - 5000 km<sup>2</sup>) disarankan menggunakan Polygon Thiessen;
4. Perhitungan pada DAS kecil, (luas < 500 km<sup>2</sup>) disarankan menggunakan rata-rata Aljabar.
5. Daerah pegunungan, disarankan menggunakan metode rata-rata Aljabar;
6. Daerah dataran, disarankan menggunakan metode Polygon Thiessen;
7. Daerah berbukit dan tidak beraturan, disarankan menggunakan metode Isohyet.

### 2.3.2 Intensitas Hujan

Intensitas hujan (I) bersifat sangat dinamis terhadap variabel pengikat nya (cuaca), beberapa pendekatan yang digunakan dalam menghitung hujan secara empiris terhadap waktu (t) antara lain adalah:

1. Metode Talbot,
2. Metode Ishiguro,
3. Metode Sherman,
4. Metode Mononobe.

Penelitian ini menggunakan metode Mononobe, hal ini disebabkan karena ketersediaan data dan dihasilkan adalah prediksi curah hujan harian per hari. Apabila data hujan jangka pendek (hujan per jam) tidak tersedia, maka intensitas hujan dihitung dengan menggunakan rumus Mononobe (Suharyanto, 2016), (Rahmani N, 2016).

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

Dengan:

$I_t$  = Intensitas curah hujan dengan lama hujan  $t$  (mm/jam)

$T$  = Lama hujan (jam)

$R_{24}$  = Curah hujan maksimum (mm)

#### **2.3.2.1 Waktu Konsentrasi**

Waktu konsentrasi ( $T_c$ ) didefinisikan sebagai waktu pengaliran air dari titik terjauh pada lahan hingga masuk pada saluran terdekat sampai pada titik yang ditinjau (*inlet*). Perhitungan waktu konsentrasi ini mempengaruhi besar kecilnya nilai dari intensitas hujan ( $I$ ) yang terjadi. Besarnya nilai intensitas hujan ( $I$ ) berbanding lurus dengan besar kecilnya debit ( $Q$ ) pada sungai, Waktu konsentrasi dihitung dengan beberapa persamaan (Grimaldi, 2012), yaitu:

Kirpich (1940); (5)

$$T_c = 0.0078L^{0.77}S^{-0.385}$$

NRCS (1997); (6)

$$T_c = 0.0526 \left[ \frac{1000}{CN} - 9 \right]^{0.7} L^{0.8} S^{0.5}$$

Johnstone and Cross (1949);

$$T_c = 300 \sqrt{\frac{L}{S}} \quad (7)$$

Giandotti (1934);

$$T_c = \frac{4\sqrt{A + 1.5L}}{0.8\sqrt{H}} \quad (8)$$

Viparelli (1961, 1963);

$$T_c = \frac{L}{60V} \quad (9)$$

Dengan:

T<sub>c</sub> = Waktu konsentrasi (menit);

L = Panjang aliran maksimum;

S = Slope (m/km);

H = Beda elevasi maximum (m);

V = Kecepatan Aliran (m/s).

### 2.3.2.2 Kecepatan Aliran

Sudut kemiringan sungai berpengaruh besar pada kecepatan aliran. Hubungan antara sudut kemiringan dan kecepatan adalah berbanding lurus, maka semakin tinggi sudut kemiringan sungai maka kecepatan aliran semakin cepat. Nilai kemiringan sungai dapat ditentukan dengan panjang sungai dan perbedaan tinggi

pada hulu dan hilir sungai. Kecepatan dan kemiringan sungai dapat ditentukan menggunakan metode NRCS (Grimaldi, 2012)

$$v = a\sqrt{S} \quad (10)$$

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

$$C = \frac{1}{n} \quad (12)$$

Dimana:

- a = Koefisien aliran (m/s) pada jenis tanah;
- n = Koefisien kekasaran Manning;
- R = Radius hidrolis (m);
- C = Koefisien limpasan

### 2.3.3 Limpasan

Proses hujan (*precipitation*) pada siklus hidrologi terjadi karena adanya penguapan (*evaporation*), transpirasi, hujan yang jatuh akan mengalami proses infiltrasi, perkolasi, aliran limpasan (*runoff*), dan aliran bawah tanah. Air hujan yang jatuh di permukaan terbagi menjadi dua bagian, pertama sebagai aliran limpasan (*overland flow*) dan kedua sebagai infiltrasi. Jumlah yang mengalir sebagai aliran limpasan dan infiltrasi tergantung dari banyak factor yang mayoritas adalah kondisi topografis area, limpasan yang melebihi akan menjadi limpasan permukaan (*surface runoff*) yang selanjutnya mengisi cekungan dan mengalir ke laut. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menghitung limpasan adalah metode rasional dan metode SCS.

#### 2.3.3.1 Metode Rasional

Metode rasional banyak digunakan untuk memperkirakan debit puncak yang ditimbulkan oleh hujan deras pada daerah tangkapan (DAS) kecil. Suatu DAS disebut DAS kecil apabila distribusi hujan dapat dianggap seragam dalam suatu ruang dan waktu, biasanya durasi hujan melebihi waktu konsentrasi.

$$Q = 0.278 \cdot CIA \quad (13)$$

Dimana

Q = Debit (m<sup>3</sup>);

C = Koefisien limpasan;

I = Intensitas hujan (mm/jam);

A = Luas area (m<sup>2</sup>).

### 2.3.3.2 Metode Soil Conservation Service (SCS)

Metode ini dikembangkan Victor Mockus pada tahun 1964 dan di revisi oleh Hjelmfelt pada tahun 1998 (NRCS, 2004) untuk *Soil Conservation Service*. Metode ini digunakan untuk melakukan estimasi limpasan pada kejadian hujan yang jatuh ke tanah. Permasalahan yang terjadi pada penggunaan metode ini adalah sensitivitas pada penentuan CN dan kondisi kelengasan tanah / *Antecedent Moisture Conditions* (AMC). Dasar penentuan CN adalah hubungan empiris antara retensi dan limpasan pada permukaan tanah, kondisi DAS terhadap hujan. Metode ini digunakan untuk melakukan estimasi limpasan pada kejadian hujan yang jatuh ke tanah. Permasalahan yang terjadi pada penggunaan metode ini adalah sensitivitas pada penentuan CN dan kondisi kelengasan tanah. Dasar penentuan CN adalah hubungan empiris antara retensi dan limpasan pada permukaan tanah, kondisi DAS terhadap hujan. pada perhitungan *runoff* terdapat tiga kelompok proses yang terjadi.

1. Intersepsi curah hujan,
2. Penyimpanan depresi.
3. Infiltrasi ke dalam tanah.

Metode CN menghitung ketiga jenis abstraksi ke dalam satu kelompok yaitu Initial Abstraction (Ia), dimana total curah hujan harus melebihi nilai abstraksi untuk dapat menghasilkan limpasan. Sehingga hubungan antara potensi limpasan maksimum (Q) adalah Hujan (P) – *Initial Abstraction* (Ia). Metode ini menjelaskan hubungan infiltrasi yang berbeda pada setiap jenis tanah dengan jumlah curah hujan yang jatuh pada setiap kali hujan dimana total P yang jatuh ke tanah dengan potensi

maksimal tanah untuk menahan air (S) tertentu, akan terbagi menjadi tiga komponen Q, infiltrasi (F) dan Ia (Chow, 1988) sehingga didapatkan persamaan:

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S} \quad (14)$$

$$Ia = 0.2S \quad (15)$$

$$S = \left[ \frac{254000}{CN} \right] - 254 \quad (16)$$

Dimana:

Q = Limpasan permukaan (mm);

Ia = *Initial Abstraction* (mm);

P = Hujan harian (mm);

S = Retensi (Volume simpanan permukaan) (mm).

Selain memperhitungkan CN, metode SCS juga memperhitungkan jenis dan kelengasan tanah. AMC akan mempengaruhi volume dan laju aliran permukaan (Ideawati, 2015) *Soil Conservation Service* menyusun tiga kondisi kelengasan tanah atau kondisi kandungan air awal, berdasarkan jumlah hujan selama 5 hari terdahulu,

1. AMC I, menggambarkan kondisi tanah dalam keadaan kering, dengan potensi limpasan terkecil, digunakan untuk CN pada saat bulan kering.
2. AMC II, kondisi tanah dalam keadaan rata-rata.
3. AMC III, menggambarkan kondisi tanah jenuh dengan air dan memiliki potensi limpasan terbesar. digunakan bulan basah atau musim hujan.

Indonesia memiliki iklim sedang, biasanya menggunakan CN-AMC II. Namun apabila diperlukan untuk mendapatkan kondisi lain (AMC I atau AMC III) dapat digunakan persamaan berikut (Chow, 1988).

$$CN_1 = \frac{(4.2 \cdot CN_2)}{(10 - 0.058CN_2)} \quad (17)$$

$$CN_3 = \frac{(23 \cdot CN_2)}{(10 - 0.13CN_2)} \quad (18)$$

Berdasarkan sifat tanah terbagi menjadi empat kelompok hidrologi, adapun definisi pada setiap kelompok tanah tersebut disesuaikan dengan melihat kesamaan terhadap potensi limpasan permukaan pada kondisi cuaca dan tata guna lahan yang sama.

Tabel 2-1 Hydrologic Soil Group, NRCS, 1984

Land Use	Condition	Hydrologic Soil Group			
		A	B	C	D
Cultivated land	without conservation	72	81	88	91
	with conservation	62	71	78	81
Pasture or range land	poor	68	79	86	89
	good	39	61	74	80
Wood or forest land	thin, poor cover, no mulch	45	66	77	83
	good cover	25	55	70	77
Open Spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.	good, grass cover $\geq 75\%$	39	61	74	80
	fair, grass cover 50% - 75%	49	69	79	84
Commercial and business areas	85% impervious	89	92	94	95
Industrial districts	72% impervious	81	88	91	93
Residential					
Average lot size	% impervious				
1/8 acre or less	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Streets and roads:	paved & storm sewers	98	98	98	98
	gravel	76	85	89	91
	dirt	72	82	87	89

Sumber: (Chow, 1988).

## 2.4 Bendungan

Bendungan di Indonesia merupakan infrastruktur yang (hampir semua) dibangun dan dikelola oleh pemerintah, bendungan didefinisikan sebagai bangunan yang berupa urukan tanah, urukan batu, beton, dan/atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (*tailing*), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk (PP 37/2010, 2010). Bendungan secara umum berfungsi sebagai penangkap air dan penampung kelebihan aliran air di musim hujan yang mengalir dalam jumlah besar dan melebihi kebutuhan, sementara di musim kering bendungan akan mengalirkan air tampungannya dengan jumlah (debit) yang terkontrol sesuai kebutuhan. Menurut *International Commission on Large Dams* (ICOLD) berdasar ukurannya, bendungan dapat dibagi menjadi 2 jenis:

1. Bendungan Besar, adalah bendungan dengan tinggi 15-meter atau lebih (fondasi – *crest*), atau ketinggian 5 meter – 15-meter namun memiliki penampungan lebih dari 3 juta m<sup>3</sup>
2. Bendungan Kecil, adalah bendungan yang tidak memenuhi spesifikasi sebagai bendungan besar.

Penyesuaian terhadap spesifikasi tersebut di Indonesia mengelompokkan infrastruktur sebagai bendungan apabila (Kementerian Pekerjaan Umum, 1995) Tinggi bendungan 15-meter atau lebih atau berkisar antara 10-meter sampai 15-meter dan memenuhi persyaratan

1. Panjang puncak sekurang-kurangnya 500 m, atau
2. Kapasitas waduk tidak kurang dari satu (1) juta m<sup>3</sup>, atau.
3. Kapasitas pelimpah tidak kurang dari 2.000 m<sup>3</sup>/detik

### 2.4.1 Tipe Bendungan

Menurut kriteria umum desain bendungan (Komisi Keamanan Bendungan, 2003). Bendungan dapat di klasifikasi menjadi 3 kelompok yaitu berdasarkan fungsi, desain hidrolik dan material konstruksi.



Pembagian tipe bendungan berdasarkan aspek fungsinya bendungan dapat dibedakan menjadi:

1. Penampung air (*reservoir*), bendungan tipe ini dibangun untuk menampung kelebihan air dan menggunakannya pada saat kekurangan. Penggunaan air tampungan dapat dibedakan berdasarkan tujuan penampungan airnya, antara lain sebagai sumber air baku, pembangkit listrik, perikanan, rekreasi.
2. Pengalih aliran (*diversion dams*), bendungan tipe ini dibangun untuk menaikkan tinggi muka air agar dapat dialihkan dan digunakan kedalam saluran atau sistem pembawa lain. Bendungan tipe ini biasanya digunakan untuk irigasi, pengalihan aliran sungai ke waduk diluar sungai yang dibendung, sumber air baku dan industri, atau untuk kombinasi lain,
3. Pengendali banjir, Bendungan tipe ini disebut pula bendungan detensi / retensi banjir, berfungsi untuk memperlambat, menyimpan sementara debit aliran berlebih untuk mengurangi dampak / risiko banjir. sub-tipe dari bendungan pengendali banjir adalah:
  1. Penyimpanan berfungsi menampung sementara debit aliran yang kemudian mengatur pelepasan aliran dengan debit yang tidak melampaui kapasitas hilir.
  2. Penahan air (tetap) berfungsi menahan debit selama sehingga air dapat meresap ke tebing-tebing atau fondasi yang lulus air. Bendungan tipe ini kadang-kadang juga dibangun untuk menangkap sedimen, sehingga kadang-kadang disebut pula sebagai bendungan penangkap sedimen (*debris dams/ Sabo*).
4. Bendungan serbaguna/*serbaguna*, bendungan tipe ini tidak dibangun untuk fungsi dan tujuan spesifik, tetapi memiliki kombinasi dari beberapa fungsi, seperti sumber air irigasi dan air baku, tenaga listrik, dan pengendali banjir dalam satu bendungan.

Pembagian tipe bendungan berdasarkan aspek hidraulis bendungan dapat dibagi menjadi 2 tipe, yaitu:

1. Bendungan yang boleh dilampaui air (*overflow dams*), adalah bendungan yang didesain boleh dilampaui air di puncaknya, umumnya bendungan tipe ini adalah bendungan kecil hanya memiliki tinggi beberapa meter, terbuat dari material yang tahan terhadap erosi (beton, pasangan batu, baja, kayu).
2. Bendungan yang tidak boleh dilampaui air (*non-overflow dams*), adalah bendungan yang didesain tidak boleh meluap, biasanya bendungan tipe ini adalah bendungan dengan material urukan (batu, tanah) atau beton yang dikombinasikan dengan pelimpah serta urukan dalam bentuk bangunan komposit.

#### 2.4.2 Kondisi Darurat

Pengaturan terhadap kondisi darurat dari setiap kegiatan pembangunan yang mempunyai risiko tinggi yang menimbulkan bencana harus dilengkapi dengan analisis risiko bencana sebagai bagian dari usaha penanggulangan bencana sesuai dengan kewenangannya (UU 24/2007, 2007), dalam hal ini pengelola bendungan merupakan pihak pertama yang harus melakukan analisis risiko. Pengelolaan risiko yang dilakukan oleh pengelola bendungan dengan melakukan pemeriksaan fisik bendungan, membuat Rencana Tanggap Darurat (RTD) dan membangun Sistem peringatan secara spesifik. WS Jeneberang sampai dengan 2018 masih belum tersedia sistem pengendalian banjir secara terpadu dan menyeluruh atau belum selesai menyelesaikan rencana tindak darurat (RTD) (Kementerian Pekerjaan Umum, 2015)

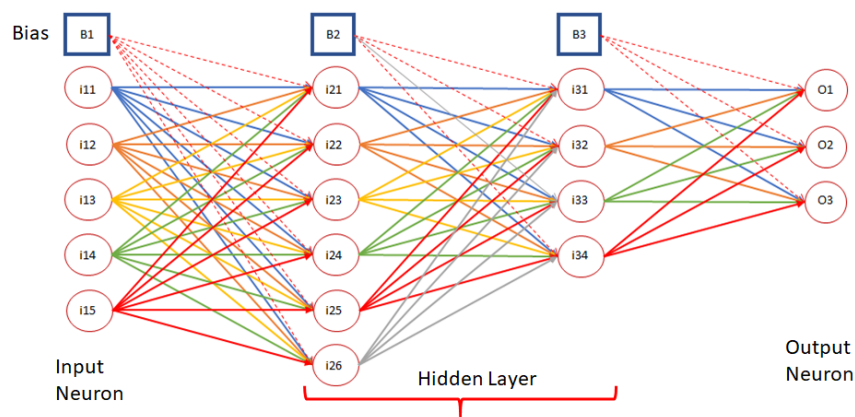
### 2.5 Artificial Neural Network (ANN)

ANN adalah sebuah model, algoritma atau mesin yang di desain untuk dapat bekerja sesuai dengan jaringan syaraf otak manusia sehingga dapat menyelesaikan permasalahan tertentu atau sebuah fungsi spesifik. data dan informasi yang tersimpan didapatkan melalui proses pembelajaran (Haykin, 2009). ANN menawarkan pendekatan alternatif dan pemahaman tentang cara kerja otak manusia. Aplikasi ANN untuk memecahkan permasalahan yang complex menginspirasi pengembangan mesin yang dapat belajar berdasarkan *contextual*

*input* dan tidak hanya menggunakan perhitungan tradisional dan pendekatan algoritma (Deshpande, 2018).

### 2.5.1 Struktur

ANN terbentuk dari *neuron* yang saling terhubung satu dengan lainnya dengan jalur yang disebut dengan *synaptic*, sehingga membentuk sebuah jaringan algoritma dengan banyak jalur berbeda tergantung pada kombinasi bobot yang dimiliki pada setiap *synaptic* dan *neuron* dalam pengolahan *input* (data) menjadi informasi yang spesifik. Sebuah ANN terbentuk dari neuron yang linear atau nonlinear tergantung pada fungsi aktivasi (*activation function*) yang digunakan. sebuah ANN yang terbentuk dari neuron yang nonlinear akan beradaptasi menjadi *nonlinear* sesuai fungsi aktivasi dan data yang digunakan dalam proses pembentukan (training)

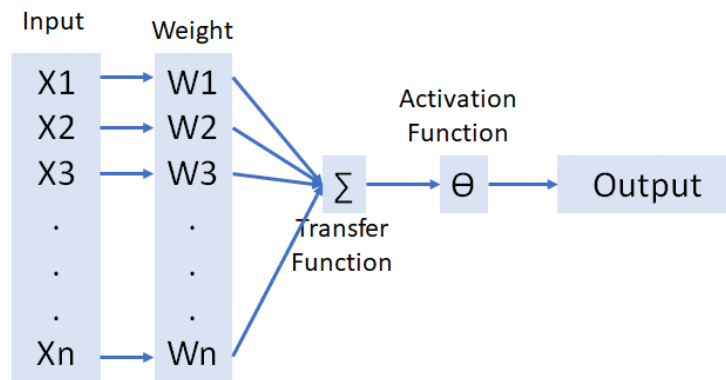


Gambar 2-1 Arsitektur ANN

Sumber: Hasil Pengolahan

Keunggulan ANN dalam pemrosesan data adalah kemampuannya dalam memproses hubungan data yang nonlinear (*nonlinearity*), kemampuan beradaptasi, (*adaptivity*). Objektivitas (*Evidential Response dan Contextual Information*), fault tolerance, skala pengembangannya (*Very Large Scale Integrated (VLSI) Implementability Uniformity of Analysis Design*) dan Neurobiological Analogy (Haykin, 2009). Bentuk dasar ANN secara umum dapat di kelompokkan menjadi 3 yaitu:

1. *Feed Forward Networks*,
2. *Backpropagation*,
3. *Recurrent Neural Network*.



Gambar 2-2 Alur Data ANN

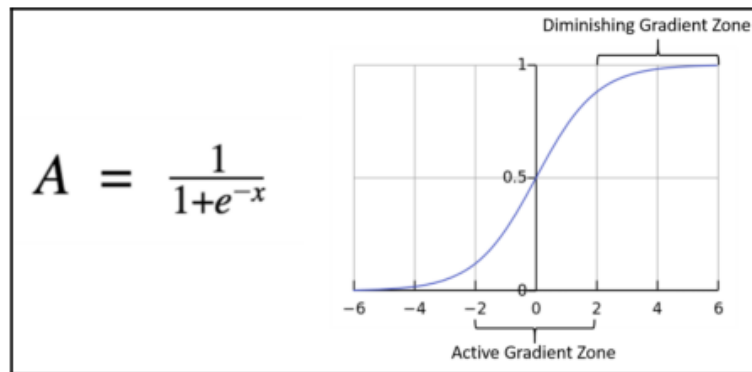
Sumber: Hasil Pengolahan

### 2.5.2 Activation Function (Fungsi Aktivasi)

Fungsi aktivasi adalah fungsi nonlinear yang membedakan model ANN dengan perhitungan linear dalam bentuk persamaan garis lurus atau polinomial yang tidak bisa memetakan korelasi antara data. Untuk menghasilkan model dengan perhitungan yang (menggambarkan) sesuai keadaan sebenarnya diperlukan fungsi aktivasi nonlinear. 3 fungsi aktivasi *nonlinear* yang biasa digunakan pada ANN adalah:

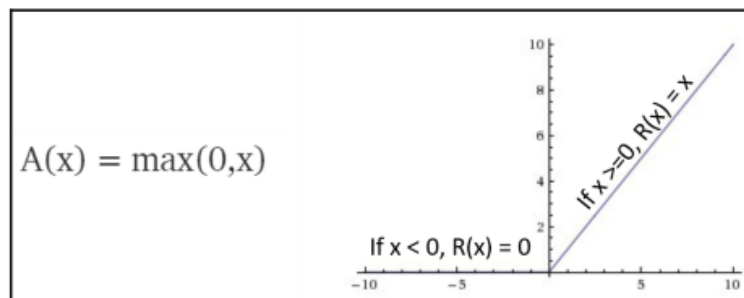
1. *Sigmoid function*, menghasilkan keluaran yang bernilai (mendekati) 0 atau 1. Kurva pada fungsi ini akan membentuk huruf S sehingga di sebut sigmoid. Karena hanya menghasilkan nilai (mendekati) 0 atau 1 dan maka fungsi ini biasanya digunakan untuk klasifikasi.
2. *Tanh function*, merupakan fungsi hyperbolic tangent (tanh) yang merupakan variasi dari fungsi sigmoid dengan kurva berpotongan dengan nilai 0, dengan nilai (mendekati) -1 dan (1)
3. *Rectified Linear Unit (RELU)*, Fungsi yang lebih sederhana dari *sigmoid* dan *tanh*, keluaran dari fungsi aktivasi ini adalah 0 dan  $\infty$  (tidak terbatas).

Dalam konteks ANN, *perceptron* merupakan *artificial neuron* dengan *activation function*. Sebuah *perceptron* adalah bentuk paling sederhana dari ANN yang dapat digunakan untuk melakukan klasifikasi pola *nonlinear* (terpisah secara linear) (Haykin, 2009), (Nielsen, 2018)



Gambar 2-3 Activation Function – Sigmoid

Sumber: (Deshpande, 2018)



Gambar 2-4 Activation Function – RELU

Sumber: (Deshpande, 2018)

### 2.5.3 Metode Pembelajaran ANN

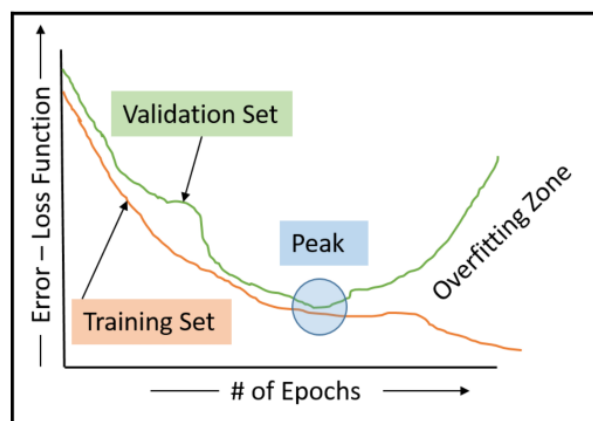
Setidaknya ada 3 kategori metode *learning* pada ANN (Haykin, 2009) yaitu:

1. *Supervised learning*, membutuhkan target atau nilai yang dituju (diinginkan), metode ini bergantung kepada jumlah dan ketersediaan sample data
2. *Unsupervised learning*, pada metode ini proses training berjalan tanpa ada nilai target, ANN akan mempelajari pola dan melakukan representasi dari pola

tersebut, metode ini biasanya digunakan pada data yang tidak memiliki label atau nilai pasti

3. *Reinforcement learning* merupakan metode di tengah antara *supervised* dan *unsupervised* dimana *input* dan *output* akan terus berjalan dalam lingkungannya dan sistem akan terus mencari besaran terkecil nilai skalar yang sudah ditentukan.

Performa dari ANN adalah model yang tergantung pada data (*data-driven*) sehingga bersifat sangat sensitif terhadap kualitas dan kuantitas data selama pembuatan dan kalibrasi (Campolo, 2003). Data harus berjumlah cukup dan relevan / spesifik terhadap hasil yang akan dicapai. Data *input* harus di kelompokkan sesuai dengan relevansi nya, apabila diperlukan *input* data bisa dibatasi untuk mengurangi waktu *training* dan kemungkinan terjadinya *overfitting* (Deshpande, 2018)



Gambar 2-5 Overfitting pada ANN

Sumber (Deshpande, 2018)

## 2.6 Sistem dan Aplikasi Pendukung

Salah satu tujuan dari penelitian ini adalah mitigasi, yang berarti terdapat keharusan dalam melakukan analisis yang lebih cepat dan mudah dilakukan oleh stakeholder terkait. Salah satu metode yang digunakan secara sederhana adalah menggunakan aplikasi menjadi sebuah sistem penyedia informasi dengan penerapan teknologi sederhana agar metode, konsep dan hasil penelitian ini dapat

di implementasi. Beberapa komponen aplikasi yang diperlukan dalam penelitian ini adalah:

### 2.6.1 Basis Data (Database)

Basis data atau *database* digunakan pada pencatatan data yang berjumlah sangat besar dan khususnya apabila dalam operasionalnya diperlukan pencarian data dalam waktu singkat. Sebuah database memungkinkan penyimpanan dan memanipulasi data dengan efektif, mudah dan cepat. Beberapa keuntungan penggunaan basis data adalah:

1. Kecepatan,
2. *Interoperability*,
3. Kemudahan dalam melakukan control data,
4. Efisiensi ruang penyimpanan (*Storage Space*),
5. Keakuratan (*Accuracy*),
6. Ketersediaan (*Availability*),
7. Keamanan (*Security*).

Salah satu aplikasi database adalah MySQL yang merupakan *Relational Database Management System* (RDBMS). *Database* ini sangat banyak digunakan sekarang bersifat *opensource*, performanya yang cepat, konektivitas yang tinggi, *customizable* dan mudah digunakan (Valade, 2008).

Pencatatan data dalam penelitian ini akan menggunakan MySQL untuk mempermudah dalam penyimpanan dan penggunaan data, mengingat data yang akan digunakan akan relatif besar jumlahnya

### 2.6.2 Python

Python adalah bahasa pemrograman yang multi guna dan (relatif) mudah dipahami. Bahasa dirancang oleh Guido van Rossum pada tahun 1991 dan sampai saat ini Python masih dikembangkan oleh Python *Software Foundation*. Keuntungan dalam menggunakan Bahasa program ini adalah mendukung hampir semua sistem operasi (*high interoperability*). Python merupakan salah satu bahasa

pemrograman yang banyak digunakan dalam aplikasi *data-science* dan *machine learning* (Morgan, 2018).

Dalam pemodelan ANN Python memiliki banyak modul tambahan dalam analisis data. Python merupakan bahasa pemrograman yang sederhana, sehingga hanya membutuhkan Python *Interpreter* dan Teks Editor/IDE.

### 2.6.3 PHP

PHP adalah *scripting server-side*, sebuah bahasa pemrograman yang digunakan untuk mengembangkan aplikasi web sehingga dapat diakses melalui internet menggunakan *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP). PHP merupakan *Hypertext Pre-Processor* yang dibuat pada tahun 1994 oleh Rasmus Lerdorf. Sementara sebuah *script* adalah sekumpulan instruksi program yang ditafsirkan pada *runtime*. Tujuan penggunaan PHP dalam penelitian ini adalah untuk mengintegrasikan model menjadi sebuah *interface* yang mudah di gunakan oleh penggunanya dengan membuat sebuah model *interface* dalam penyelesaian berbagai metode perhitungan, karena PHP adalah bahasa program yang terstruktur dan dapat digunakan dalam (hampir semua) perhitungan menggunakan langkah diskret (Brooks, 2017)

Berbeda dengan bahasa pemrograman, yang harus di kompilasi untuk dapat berjalan, menjadi aplikasi yang lengkap, PHP sebagai bahasa *scripting* digunakan untuk tugas-tugas rutin seperti perhitungan dan dapat berjalan tanpa adanya kompilasi. Sehingga perlu di integrasikan kedalam bahasa lain agar dapat digunakan, dalam hal ini html. Penelitian ini menggunakan PHP karena PHP adalah bahasa yang bersifat *opensource* dengan kurva pembelajaran yang relatif singkat dibandingkan dengan bahasa program lain. Selain itu *interoperability* dari PHP memungkinkan untuk di integrasikan dengan MySQL juga dapat digunakan dengan berbagai platform

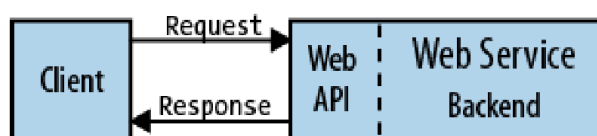
### 2.6.4 Application Programming Interface (API)

*Application Programming Interface* (API) adalah antarmuka yang secara langsung memungkinkan interaksi antara beberapa perantara perangkat lunak



(Massé, 2012). Hal ini memungkinkan sebuah aplikasi untuk mendefinisikan permintaan dari aplikasi lain sebagai perintah untuk melakukan eksekusi dan atau menghasilkan *output*. Dengan kata lain API akan memberikan jawaban berupa data yang diambil dari basis data penyedia berdasarkan permintaan yang di terima. Beberapa metode eksekusi yang digunakan pada API adalah:

1. GET — Mengambil / meminta data,
2. POST — Menulis data (baru),
3. PUT — Merubah data,
4. DELETE — Menghapus data



Gambar 2-6 Proses API

Sumber: (Massé, 2012)

Kebutuhan data dalam penelitian yang dilakukan ini adalah data prediksi cuaca yang dapat diakses secara *real-time* untuk dapat memprediksi curah hujan sehingga diperlukan komunikasi antara model prediksi dan penyedia layanan prediksi cuaca menggunakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk dapat melakukan hal tersebut adalah menggunakan *API request*.

Format API yang digunakan sangat tergantung kepada aturan dan format penyedia layanan API yang digunakan, protokol yang paling umum digunakan untuk transaksi API adalah *Hypertext Transfer Protocol (HTTP)* walaupun *Simple Object Access Protocol (SOAP)*, *Representational State Transfer (REST)* dan *XMLRPC* juga dapat digunakan. Web APIs yang menggunakan *HTTP requests* biasanya akan menerima (*receive*) data dalam bentuk *JSON* or *XML response*.

Tabel 2-2 Format API Request dan Response

API format: <code>https://api.darksky.net/forecast/[key]/[latitude],[longitude]</code>
---

```

API Command:
https://api.darksky.net/forecast/ce1bf774032e25...afd344983274/-5.143329,119.4707955
# Ambil data forecast dengan key ce1bf774032e25...afd344983274 untuk lokasi 5.143329,119.4707955

API Response:
{"latitude":-5.143329, # Koordinat
"longitude":119.4707955, # Koordinat
"timezone":"Asia/Makassar", # Lokasi
"currently":{
"time":1593460105, # UNIX Time Format
"summary":"Humid and Partly Cloudy",
"icon":"partly-cloudy-night", # Keterangan Cuaca
...
},
"hourly":{
"summary":"Humid throughout the day.",
"icon":"rain",
"data":[
{"time":1593457200,
"summary":"Humid and Partly Cloudy",
"icon":"partly-cloudy-night",
...
}],
"flags":{
"sources":
["cmc","gfs","icon","isd","madis"],
"nearest-station":7.569,
"units":"us"
},
"offset":8}

```

API data *Provider* yang digunakan pada penelitian ini adalah darksky API dari Apple Inc. data yang dipublikasikan oleh darksky merupakan pengolahan data satelit global dengan resolusi grid data satelit 13 km didapatkan dari:

1. NCEP's *Canadian Meteorological Centre*,
2. NOAA's *Global Forecast System*,
3. *GMO icosahedral nonhydrostatic*
4. NOAA's *Integrated Surface Database* dan
5. NOAA/ESRL's *Meteorological Assimilation Data Ingest System*

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain adalah penentuan lokasi penelitian, rancangan penelitian berdasarkan studi dan literatur, pengumpulan dan pengolahan data, analisis dan pemodelan, pengujian dan kalibrasi, analisis model untuk implementasi system.

#### 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi pada penelitian ini adalah DAS Jeneberang terletak di Wilayah Sungai (WS) Pompengan – Jeneberang. Secara administratif DAS Jeneberang terletak di Provinsi Sulawesi Selatan. Lokasi ini di pilih karena potensi kejadian banjir dan keterbatasan metode atau teknologi mitigasi yang ada. Bendungan Bili-Bili terletak di tengah DAS Jeneberang, letak topografi bendungan memiliki kemiringan lereng tinggi pada bagian hulu, jarak hulu ke inlet bendungan sejauh 37 km memiliki estimasi waktu tempuh aliran 1.5 - 2 Jam. kondisi tersebut tidak menguntungkan dalam kesiapan untuk menghadapi kondisi banjir atau *Early Warning System* (EWS).



Gambar 3-1 Lokasi Pos Hujan & Klimatologi

Sumber: Hasil Pengolahan

### 3.2 Bahan Penelitian

Model pada penelitian ini bersifat *data-driven*, sehingga ketersediaan data menjadi sangat penting. Hal tersebut disebabkan karena dalam metode *data-driven*, hasil dan perhitungan model akan sangat bergantung terhadap ketersediaan, validitas nya dan metode pengolahan data. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder, kegiatan penelitian meliputi pengumpulan data, inventarisasi ketersediaan data dalam bentuk spasial (GIS), data hidrologi, klimatologi yang diperlukan dalam perhitungan hidraulika pada lokasi penelitian. Berdasarkan referensi dan studi literatur yang dilakukan, keperluan data dalam penelitian ini antara lain adalah:

1. Data spasial dalam bentuk *Digital Elevation Model* (DEM) atau data topografi yang diperlukan untuk penentuan karakteristik area dan peta penggunaan / tutupan lahan pada lokasi penelitian. Data spasial didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dan Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan – Jeneberang (BBWS PJ).
2. Data hidrologi dan klimatologi dalam bentuk data rekaman atau *log* pencatatan curah hujan dan variabel cuaca. Data ini didapatkan dari instansi / pengelola yang bidang hidrologi dan klimatologi pada area penelitian yaitu Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) melalui Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan – Jeneberang (BBWS PJ) dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Sulawesi Selatan.
3. Data hidraulika dalam bentuk data teknis infrastruktur dan data pengukuran lapangan yang terkait pada model penelitian. Data di dapatkan dari instansi/ pengelola infrastruktur pada area penelitian yaitu Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) melalui Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan – Jeneberang (BBWS PJ) di kota Makassar



Gambar 3-2 Peta Topografi

Sumber: Hasil Pengolahan

### 3.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini meliputi beberapa aspek, antara lain analisis spasial untuk mendapatkan variabel karakteristik spasial pada area penelitian, analisis hidrologis dan klimatologis yang meliputi pengolahan data sehingga dapat digunakan pada pemodelan prediksi cuaca menggunakan ANN, analisis hidraulika yang merupakan dasar pemodelan hujan - limpasan dan analisis model sistem untuk mengetahui konsep kebutuhan data dan informasi dalam mitigasi banjir.

#### 3.3.1 Analisa Spasial

Analisa spasial dilakukan untuk mendapatkan ekstraksi data variabel karakteristik area seperti luas area, jenis penutupan / penggunaan lahan, panjang sungai, elevasi dan kemiringan lahan. Data yang diperlukan adalah peta dasar dan pendukung dengan skala 1: 50.000 sampai dengan 1: 25.000 antara lain adalah:

1. Peta DAS Jeneberang, digunakan untuk menentukan batas dan luas area penelitian.
2. Peta aliran sungai, digunakan sebagai sumber perhitungan panjang aliran sungai.
3. Peta penggunaan lahan, digunakan sebagai dasar perhitungan variabel koefisien aliran dan CN.

4. Peta DEM dan Citra satelit, digunakan sebagai dasar perhitungan topografi, dan kontur.
5. Peta administrasi, sebagai data pendukung pada wilayah DAS Jeneberang
6. Peta infrastruktur seperti lokasi pos hujan, pos klimatologi dan pemantauan tinggi muka air sungai.

Analisa spasial yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan Quantum GIS (QGIS) sebagai pengolah data spasial.

### 3.3.2 Analisa Hidrologi dan klimatologi

Analisa hidrologi dan klimatologi bertujuan untuk mengolah data hidrologi berupa data pencatatan curah hujan dan data klimatologi berupa variabel cuaca untuk dapat digunakan dalam pemodelan cuaca – hujan menggunakan ANN kedalam format yang sesuai dengan kebutuhan pemodelan. Variabel yang akan digunakan sebagai *input* dalam model ditentukan dengan analisa sensitivitas terhadap variabel cuaca. Data lain yang digunakan adalah pencatatan tinggi muka air (TMA). Data ini diperlukan pada tahap validasi perhitungan model hujan – limpasan menggunakan metode SCS-CN.

Untuk melakukan inventarisasi data, sorting dan formatting aplikasi yang digunakan adalah Microsoft Excel. Pada tahap ini dilakukan pengecekan korelasi antar variabel data,

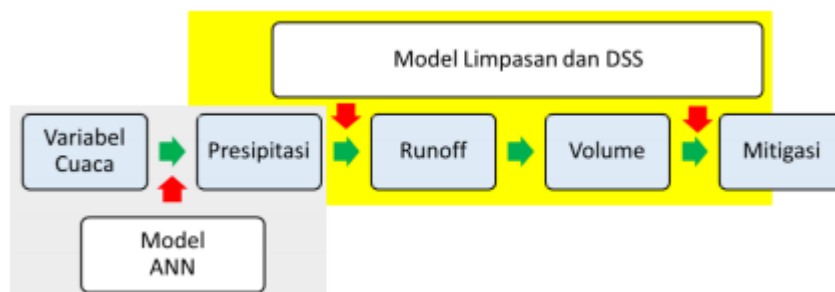
### 3.3.3 Analisa Hidraulika

Analisa hidraulika yang dilakukan adalah perhitungan dan pengolahan data untuk mendapatkan nilai variabel hidraulika seperti koefisien aliran, CN, kecepatan aliran, waktu konsentrasi dan nilai kemiringan lahan berdasarkan hasil pengolahan data spasial. Alat bantu yang digunakan pada analisa ini adalah aplikasi *spreadsheet* Microsoft Excel.

### 3.3.4 Analisa model system

Sesuai dengan tujuan penelitian ini untuk dapat mengurangi risiko akibat bencana dan melakukan mitigasi menggunakan metode alternatif memanfaatkan

teknologi sederhana, maka model yang dihasilkan harus dapat diimplementasikan dan dipahami oleh penggunanya dengan cara sesederhana mungkin dengan tingkat kesalahan yang relatif kecil. Hasil akhir penelitian ini merupakan penggabungan antara model prediksi cuaca – hujan (ANN) dan model hujan-limpasan (SCS-CN) dimana hasil prediksi cuaca berupa hujan (P) dari model cuaca-hujan digunakan sebagai *input* pada model hujan – limpasan, yang kemudian di tampilkan kedalam tampilan (*interface*) sederhana yang lebih mudah di mengerti. Hubungan dari kedua sub-model ini akan menghasilkan data dan informasi yang diperlukan dalam pengambilan keputusan.



Gambar 3-3 Skema Dasar Model Penelitian

Sumber: Hasil Pengolahan

### 3.3.5 Pemodelan

Penelitian ini terdiri dari beberapa model dasar yaitu model prediksi cuaca – hujan menggunakan ANN dan model perhitungan hujan-limpasan menggunakan SCS-CN yang di gabungkan kedalam sebuah sistem untuk menghasilkan informasi dalam mendukung pengambilan keputusan.

#### 3.3.5.1 Prediksi Cuaca – Hujan

Model ini dibuat menggunakan ANN dengan *Multi-Layer Perceptron* (MLP). Metode yang digunakan adalah *supervised learning* dimana pada proses pembelajaran (training) model akan diberikan data *input* dan data target. ANN - MLP dipilih karena metode ini adalah metode klasik yang menggunakan dataset tabular sehingga cocok dalam pemodelan dengan tujuan klasifikasi, prediksi dan regresi (Deshpande, 2018). Hal tersebut sesuai dengan kebutuhan model yang

secara spesifik mencari hubungan antara parameter cuaca dan melakukan prediksi curah hujan. Alur dalam pembuatan model ANN yang dilakukan (Moolayil, 2019) dan (Albon, 2018) adalah:

1. Penyiapan (*setup*) lingkungan pemodelan, melakukan penentuan dan instalasi aplikasi yang akan digunakan (Python, Apache, PHP, Perl, MySQL),
2. Penyiapan data (*data pre-processing*), langkah yang dilakukan adalah:
  1. Inventarisasi data klimatologi dan curah hujan pada lokasi,
  2. Pengolahan data dengan membandingkan ketersediaan data klimatologi dengan ketersediaan data curah hujan,
  3. Membagi data dengan proporsi data *training* 70%, data validasi 20% dan data kalibrasi 10%,
  4. Data *input* adalah data klimatologi, terdiri dari 6 variabel (waktu kejadian (bulan), temperatur, kelembapan, tekanan udara, kecepatan angin dan tutupan awan,
  5. Data Target adalah curah hujan pada waktu yang sama dengan data klimatologi yang digunakan sebagai *input*.
3. Desain ANN, langkah yang dilakukan adalah:
  1. Penentuan aplikasi, modul dan *libraries* yang akan digunakan (*Keras, Numpy, Pandas, Matplotlib, Pyplot* dan *Sklearn*),
  2. Menentukan layer dan jumlah neuron, biasanya *input* layer ditentukan sesuai dengan jumlah variabel *input*;
  3. Menentukan fungsi aktivasi, (*Sigmoid, SoftMax, SoftPlus, SoftSign, Tanh, ReLU, SeLU, eLu* atau *exponential*), model cuaca – hujan akan menggunakan *ReLU*;
  4. Menentukan hyper-parameter dasar (*validation split, learning rate dan epoch*)
  5. Menentukan jumlah hidden layer, penggunaan semakin banyak layer akan mempengaruhi kinerja model.
  6. Menentukan *target / output layer*, ditentukan sesuai dengan jumlah variabel *output* yang di inginkan

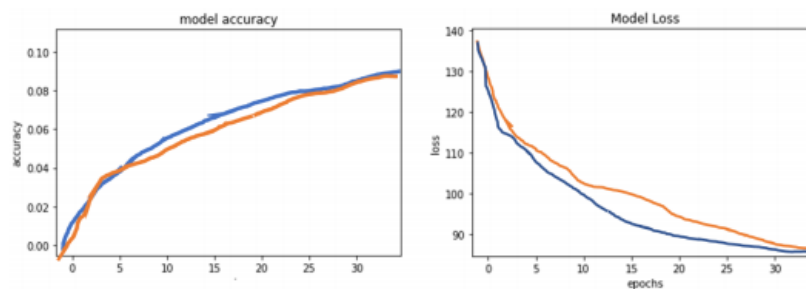


Tabel 3-1 Format Data Training

	month	temperature	humidity	pressure	wind	clouds	precipitation
0	10	27.8	72	1010	3	16	5
1	10	28.0	70	1010	3	13	0
2	10	28.0	73	1011	2	15	0
3	10	28.0	67	1010	2	18	2
4	10	28.0	72	1010	2	20	3

Sumber: Hasil Pengolahan

4. Pembelajaran model (*training*). Proses *training* dilakukan untuk menghitung, mencari relasi, bobot antara *node* dan *synaptic* yang awalnya menggunakan nilai *random*. sehingga didapatkan nilai dengan prediksi terdekat. Proses ini biasanya akan memakan waktu yang relatif lama. sesuai dengan spesifikasi alat yang digunakan. Beberapa *option* yang dapat digunakan untuk mengoptimasi proses ini antara lain *weight regularization*, *early stopping* dan *dropout*. pada pemodelan menggunakan Python dan Keras proses validasi akan dilakukan secara *sequential* pada model menggunakan *libraries* yang telah di import.
5. Validasi yang berfungsi untuk menilai kinerja model. penilaian dilakukan dengan melihat nilai dan grafik yang dihasilkan, model yang memiliki performa baik akan menunjukkan nilai *accuracy* yang meningkat dan *loss* yang menurun. hal ini juga terlihat pada grafik *accuracy* yang menghasilkan garis *learning* dan test yang meningkat, semakin tinggi maka kinerja semakin baik sebaliknya pada grafik *loss* kedua garis menurun dimana semakin rendah maka performa model semakin baik.



Gambar 3-4 Model Accuracy dan Loss

Sumber: Hasil Pengolahan

6. Kalibrasi atau *Cross-validation* dilakukan dengan cara melakukan prediksi dan membandingkan data yang belum pernah digunakan sebagai data training dan menghitung deviasinya.
7. *Hyper-parameter tuning*, merupakan tahap dengan *trial and error*. modifikasi nilai dilakukan dengan mencoba berbagai kombinasi activation function dengan melihat pola yang dihasilkan. Beberapa penyesuaian yang dilakukan adalah perubahan pada jumlah *layer*, *learning rate*, dan *epoch* sampai didapatkan *loss* terkecil dan *accuracy* terbesar.
8. Penyimpanan, hasil dari *training* adalah nilai atau bobot dari setiap *node*, aliran yang melalui *synaptic* untuk melakukan prediksi. Hasil ini disimpan dalam file dengan ekstensi *.h5*.
9. Bentuk dasar algoritma ANN menggunakan Python sebagai berikut,

Tabel 3-2 Algoritma Program Training ANN

```
# Load libraries
import keras
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plot
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
# Load dataset
df = pd.read_csv('lokasi\data.csv')
# Arsitektur / Komposisi Neural Network
# metode process
model = Sequential ()
# Input layer
model.add(keras.layers.Dense(6, activation='relu',
input_shape=(6,)))
# Hidden layer
model.add(Dense(60, activation='relu')) # Hidden layer 60 neuron
# Output layer
model.add(Dense(1)) # Output
# Definisikan optimizer
adam = keras.optimizers.Adam(learning_rate=0.0001, beta_1=0.8,
beta_2 = 0.95, amsgrad=False)
# Compile & Execute network
model.compile(loss='mean_squared_error', optimizer=adam, metrics =
['accuracy'])
history = model.fit(x, y, epochs=5000, batch_size=20,
validation_split=0.2, callbacks=[keras.callbacks.EarlyStopping(patience=10)])
```

Sumber: Hasil Pengolahan

### 3.3.5.2 Hujan – Limpasan

Model hujan – limpasan menggunakan (SCS-CN) bertujuan untuk menghitung limpasan menggunakan nilai hujan prediksi yang dihasilkan oleh model prediksi cuaca – hujan. Perhitungan ini akan menghasilkan nilai limpasan pada area sub-DAS dan volume aliran dapat diketahui. Selain menggunakan nilai prediksi hujan model ini juga menggunakan data yang diperoleh dari analisa spasial, antara lain luas, elevasi dan kemiringan panjang sungai klasifikasi dan penggunaan lahan.

Pemodelan hujan limpasan ini menggunakan nilai hujan kumulatif ( $P_k$ ) - 5 hari sebelumnya dalam menentukan nilai CN. ketentuan yang digunakan (Chow, 1988) adalah dengan  $P_k < 36$  mm menggunakan CN AMC I, untuk  $36 \text{ mm} < P_k < 53$  mm menggunakan CN-AMC II, dan untuk  $P_k > 53$  mm menggunakan CN AMC III. Perhitungan retensi ( $S$ ) menggunakan metode SCS (HEC-HMS Technical Reference, 2000) Perhitungan dan analisa muka air pada bendungan dapat menggunakan *rating curve* yang didapat dari pengelola bendungan, sementara analisa Tinggi Muka Air (TMA) sungai dapat dilakukan menggunakan *rating curve* pada beberapa lokasi pengamatan TMA. Kalibrasi yang dilakukan dapat membandingkan hasil perhitungan model *rating curve* dengan pencatatan manual TMA pada waktu yang sesuai.

Nilai hujan pada tahap desain dan kalibrasi pemodelan hujan – limpasan menggunakan data pencatatan hujan. kalibrasi dilakukan dengan membandingkan perhitungan model dengan perhitungan aplikasi HEC-HMS.

1. Distribusi curah hujan harian dihitung menggunakan metode Mononobe dengan panjang waktu hujan 4-6 jam
2. Pemodelan hujan – limpasan dilakukan menggunakan bahasa program PHP dan Python.

### 3.3.6 Kalibrasi

Metode pengujian dilakukan dengan menjalankan model, dan membandingkan dengan kondisi pengamatan. Pengujian dilakukan di 2 tahap, yaitu

pada model ANN dengan membandingkan curah hujan prediksi dengan curah hujan pengamatan di lapangan. Variabel yang digunakan sebagai parameter pengujian adalah RMSE dan korelasi.

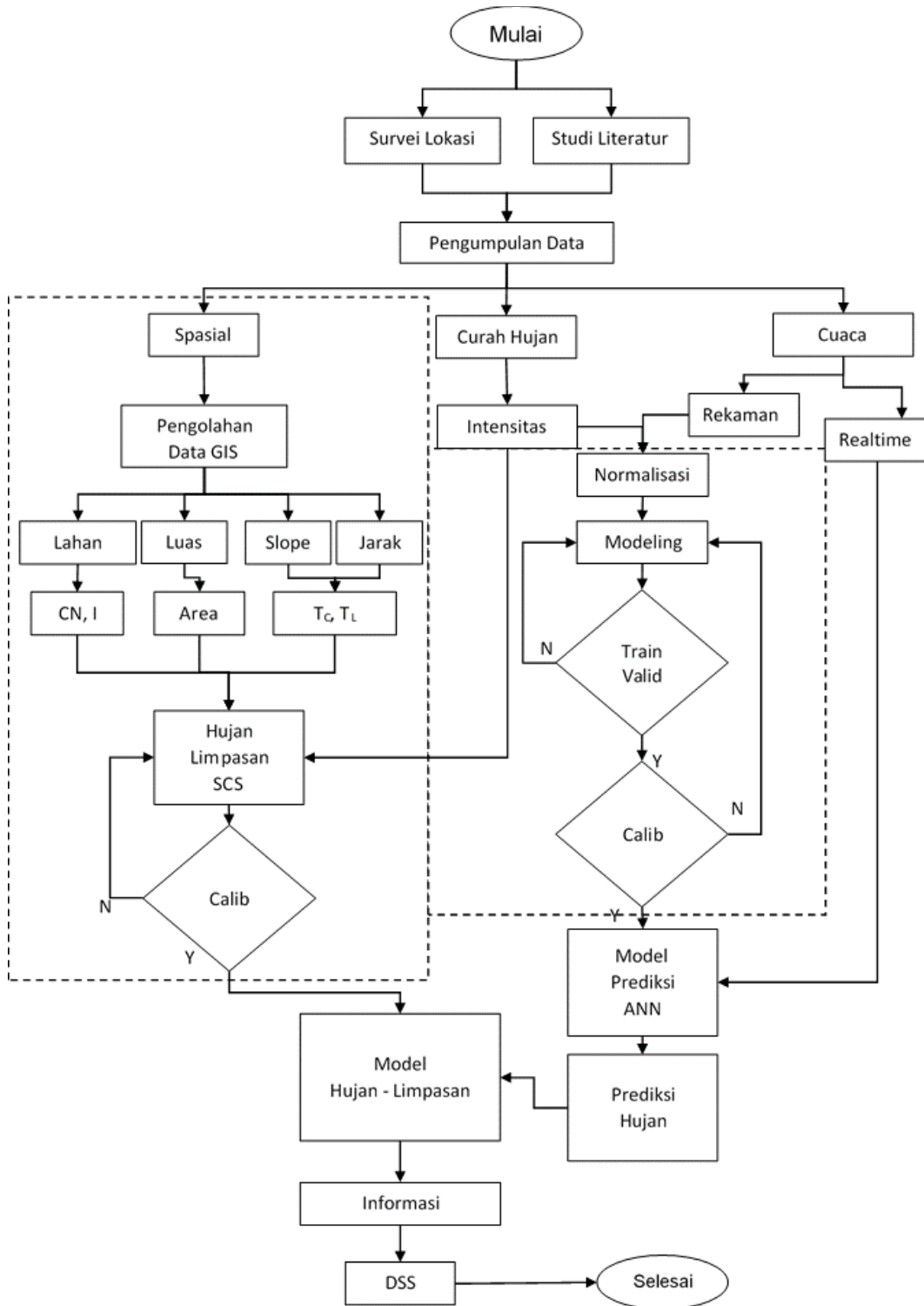
Prediksi hujan merupakan nilai hujan maksimum harian, sehingga prediksi limpasan yang dihasilkan adalah merupakan nilai debit dan volume total dalam periode harian. nilai ini adalah merupakan potensi maksimum yang mungkin terjadi menggunakan curah hujan prediksi. Validasi tinggi muka air dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan dilakukan model dengan nilai pencatatan ketinggian muka air sungai pada titik tertentu.

### 3.3.7 Implementasi

Tahap Implementasi dari pemodelan ini adalah tahap yang menggabungkan model cuaca, prediksi hujan dan perhitungan limpasan kedalam satu sistem yang dapat menampilkan informasi, Informasi yang ditampilkan antara lain adalah:

1. Kondisi klimatologi pada H-0 dan H+1 setiap di lokasi pengamatan.
2. Prediksi hujan dan perhitungan limpasan H+1.
3. Kondisi infrastruktur bendungan (Tinggi Muka Air, Volume, Area Genangan, *Discharge*) dan
4. Rekomendasi Operasional bendungan.

### 3.3.8 Diagram Alur



Gambar 3-5 Diagram Alur Penelitian

*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

## BAB 4

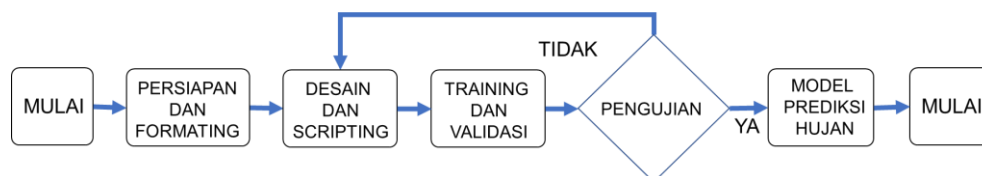
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan metode penelitian yang direncanakan, terlihat bahwa pada jenis penelitian dengan model *data-driven* tahap pengolahan data merupakan salah satu tahap terpenting dalam penelitian ini. Pengolahan data bertujuan untuk mempersiapkan data kedalam bentuk / format yang sesuai dengan kebutuhan pemodelan. Secara umum langkah penelitian yang dilakukan sesuai dengan metode penelitian, namun dalam pelaksanaan penelitian urutan langkah yang dilakukan sedikit berbeda dan disesuaikan dengan jenis dan karakteristik pemodelan.

#### 4.1 Pemodelan ANN

Pemodelan ANN berfungsi untuk melakukan prediksi curah hujan menggunakan parameter cuaca sebagai data *input*. Pada pemodelan ini langkah yang dilakukan adalah analisa data hidrologi dan klimatologi, hal ini diperlukan agar data dapat digunakan pada tahap training, validasi dan pengujian (kalibrasi) model ANN. Pemodelan dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

1. Persiapan lingkungan,
2. Arsitektur dan desain model ANN,
3. Training, validasi dan penyesuaian,
4. Pengujian dan kalibrasi model,
5. Implementasi



Gambar 4-1 Alur Pemodelan ANN

#### 4.1.1 Persiapan Lingkungan Pemodelan ANN

Persiapan lingkungan pemodelan dimaksudkan untuk mempersiapkan alat, bahan dan kebutuhan lain pada pemodelan, antara lain adalah *software* dan *hardware* yang dibutuhkan dalam tahap pemodelan dan kalibrasi. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan bahasa program Python, *software* yang digunakan adalah Anaconda yang merupakan distribusi *Open-Source Package Management* untuk bahasa pemrograman Python dan R dalam pengolahan data ilmiah dan *Machine Learning* (ML). Modul lain yang dibutuhkan oleh Python untuk melakukan pemrograman ANN adalah *TensorFlow* dan *Keras* yang merupakan *deep learning library* yang dibuat dan dapat digunakan dengan Python. Pemrosesan data yang juga akan dilakukan pada model menggunakan NumPy. Pada tahap penyimpanan hasil perhitungan dilakukan oleh *database* MySQL, untuk menghubungkan Python dengan database MySQL diperlukan sebuah modul yaitu *MySQL Connector*.

Tabel 4-1 Lingkungan Pemodelan

No	Software	Sumber
1	Anaconda Python	<a href="https://www.anaconda.com/">https://www.anaconda.com/</a>
2	Tensorflow	<a href="https://www.tensorflow.org/">https://www.tensorflow.org/</a>
3	Keras	<a href="https://keras.io/">https://keras.io/</a>
4	Numpy	<a href="https://numpy.org/">https://numpy.org/</a>
5	Python MySQL Connector	<a href="https://dev.mysql.com/downloads/connector/python/">https://dev.mysql.com/downloads/connector/python/</a>
6	Matplotlib	<a href="https://matplotlib.org/">https://matplotlib.org/</a>
7	Panda	<a href="https://pandas.pydata.org/">https://pandas.pydata.org/</a>
8	MySQL	<a href="https://www.mysql.com/">https://www.mysql.com/</a>

Analisa data hidrologi dan klimatologi dilakukan untuk mendapatkan data yang siap digunakan dalam pemodelan ANN dan kalibrasi, proses yang dilakukan adalah *sorting* dan *re-formatting* data. Pada data curah hujan dan klimatologi proses *sorting* bertujuan untuk mengetahui dan menentukan ketersediaan data pada lokasi di periode tertentu. Data yang digunakan adalah hasil pengolahan data pos pengamatan klimatologi dalam bentuk bulan kejadian, temperatur, kelembaban udara dan tutupan awan. tekanan udara dan kecepatan angin. Untuk nilai curah



hujan didapatkan dari pos pencatatan hujan di lokasi. Pemilihan variabel yang digunakan dalam model ANN cuaca – hujan berdasarkan:

1. Waktu kejadian (bulan) karena waktu kejadian dan musim memiliki korelasi positif yang cukup besar terhadap kejadian hujan,
2. Temperatur Maksimal ( $^{\circ}\text{C}$ ), memiliki korelasi negatif yang cukup besar terhadap hujan,
3. Kelembapan / Humidity (%), memiliki korelasi positif terhadap kejadian hujan,
4. Tekanan Udara / Pressure (hPa), memiliki korelasi positif yang cukup besar terhadap hujan,
5. Kecepatan Angin / Wind Speed (m/s), memiliki korelasi negatif terhadap hujan,
6. Tutupan Awan / Clouds (%), memiliki korelasi positif terhadap hujan.

Data yang didapatkan dari BBWS PJ jumlah pos hujan yang terletak di WS Jeneberang berjumlah 60 pos (Kementerian Pekerjaan Umum, 2015). Pada inventarisasi hanya beberapa pos yang memiliki seri data yang cukup dan sesuai pada 5 lokasi pengamatan yang terletak pada setiap sub-DAS. dalam hal ini yang dimaksud sesuai adalah ketersediaan seri data, kesesuaian dengan lokasi penelitian dan kesamaan waktu pencatatan pada lokasi yang relatif dekat antara pos hujan dan pos klimatologi. Hal ini menjadi kendala dalam pemodelan karena jumlah data yang digunakan jumlahnya akan terbatas dan kemungkinan akan mempengaruhi performa model dalam tahapan training.

Data pada tabel 4.2 merupakan data klimatologi yang digunakan pada proses pemodelan ANN, data ini dipilih karena ketersediaan dan kelengkapan data curah hujan pada periode yang sama di lokasi yang sama. Data tersebut dibagi menjadi 2 kelompok, 90% sebagai data training dan validasi, 10% digunakan pada tahap pengujian. Menurut data yang didapatkan, DAS Jeneberang memiliki rerata curah hujan tahunan berkisar antara 2800 mm - 4,000 mm per tahun di bagian hulu (area dengan elevasi tinggi) dan pada bagian hilir berkisar antara 1500 mm – 2000 mm per tahun (JICA, 1980). Curah hujan tidak terdistribusi secara merata sepanjang

tahun. Musim hujan, terjadi pada bulan November sampai dengan April dan musim kemarau terjadi pada bulan Mei sampai dengan October.

Tabel 4-2 Ketersediaan Data

Lokasi	Koordinat	Periode	Jumlah Data	Training, Validasi	Test Data
Jeneberang Hulu	-5.28, 119.846	2013- 2019	1949	1755	194
Malino	-5.24, 119.854	2013- 2019	1950	1755	195
Jeneberang Tengah	-5.25, 119.663	2013- 2019	1950	1755	195
Jenelata	-5.35, 119.722	2013- 2019	1724	1552	172
Jeneberang Hilir	-5.27, 119.513	2013- 2019	1636	1473	163

Data didapatkan dalam bentuk berkas Microsoft™ Excel (.xls dan .xlsx), kebutuhan model adalah *Comma Separated Value* (.csv) dengan 6 kolom *input* (bulan tmax, humid, pressure, wind, clouds) dan 1 kolom *target/output* (precipitation).

Tabel 4-3 Format Data Training

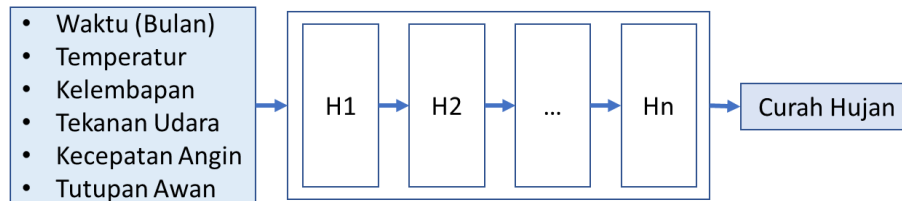
time, temp, humidity, pressure, windspeed, cloud, precipitation 07,24.93,89.0,1009.1,2.25,47.0,0 ... 07,24.93,89.0,1009.1,2.25,47.0,15
---

#### 4.1.2 Arsitektur dan Desain Model

Arsitektur model ANN dibuat sesuai dengan ketersediaan data dan kebutuhan penelitian ini. Arsitektur dasar dari ANN adalah *input* layer yang merupakan variabel *input* biasanya jumlah node neuron sama dengan jumlah variabel *input* yang digunakan, hidden layer, jumlah node pada layer ini tidak dipastikan. dan *output* layer dengan jumlah neuron sama dengan variabel *output* yang diinginkan.

Variabel *input* data yang digunakan adalah bulan kejadian, temperatur, kelembaban udara, tutupan awan, tekanan udara, kecepatan angin. Berdasarkan hal tersebut maka *input* layer akan terdiri dari 6 node neuron. Untuk menentukan jumlah optimal hidden layer, proses training dilakukan dengan beberapa kombinasi

hidden layer 3,4,5 dan 6 layer. Output layer pada arsitektur ANN adalah layer terakhir, yaitu hasil dari proses, layer ini memiliki 1 node neuron.



Gambar 4-2 Skematis Desain Umum Arsitektur ANN

Fungsi aktivasi (activation function) merupakan fungsi nonlinear yang memungkinkan model ANN untuk melakukan perhitungan non-linear, dengan memetakan korelasi antara data dan *output*, model pada penelitian ini akan menggunakan ReLU. Hal ini disebabkan karena *output* yang diharapkan pada model adalah nilai numerik yang tidak terbatas pada 0 dan 1 saja. Penggunaan fungsi lain seperti Sigmoid, atau Tanh *output* yang dihasilkan adalah 0 – 1 untuk Sigmoid dan -1 sampai dengan +1 untuk Tanh. Kedua fungsi ini akan sesuai untuk digunakan pada model yang menghasilkan *output* berupa keputusan “ya” atau “tidak” atau nilai berupa persentase.

Pada tahap ini penulisan program (coding) menggunakan Python dilakukan. Kode program yang digunakan pada proses training disesuaikan untuk mendapatkan nilai optimal pada tahap validasi dan pengujian.

Tabel 4-4 Kode Dasar Python, Training Model ANN

```
# Definisikan dan Import Modul yang akan digunakan
import keras
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plot
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler

# Pengambilan dataset dengan panda read_csv()
df = pd.read_csv('path/ke/folder/nama_file_data.csv')

# variabel
# X = Input data
# Y = Target data
X = df.drop(columns=['target'])
```

```

Y = df[[' target']]

# Normalisasi data, konversi, range 0 - 1
scalersx = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))
scalersy = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))
x = X
y = Y

# Jenis Perhitungan model
model = Sequential ()

# Arsitektur ANN
model.add(keras.layers.Dense(jumlah_node,
activation='activation_function', input_shape=(jumlah_variabel,)))
model.add(Dense(jumlah_node, activation='activation_function'))
...
model.add(Dense(jumlah_node, activation='activation_function'))
model.add(Dense(jumlah_node))

# Optimizer menggunakan Nesterov Adaptive Moment Estimation (NADAM)
nadam = keras.optimizers.nadam(learning_rate= nilai_learning_rate,
beta_1=0.9, beta_2=0.99)# compile ANN
# loss menggunakan MSE, metrics 'accuracy'
model.compile(loss='fungsi_loss_regresi', optimizer=jenis_optimizer,
metrics=['jenis_pengukuran_metrics'])

# Eksekusi training pada ANN
# Apabila diperlukan gunakan Early Stopping.
# history = model.fit(x, y, epochs=nilai_epoch,
batch_size=nilai_batch, validation_split=persentase_data_validasi,
callbacks = [keras.callbacks.EarlyStopping(patience = 10)])

# jumlah pembagian data training dan validasi dalam %
# definisikan jumlah epoch
history = model.fit(x, y, epochs= nilai_epoch, batch_size=
nilai_batch, validation_split= persentase_data_validasi)

# Evaluasi akurasi
loss, accuracy = model.evaluate(x, y)

# Cetak hasil Loss dalam %, Accuracy dalam %
print ("\nLoss: %.2f, Accuracy: %.2f" % (loss, accuracy*100))
print(history.history.keys())

# Plot hasil training (accuracy)
plot.plot(history.history['accuracy'])
plot.plot(history.history['val_accuracy'])
plot.title('model accuracy')
plot.ylabel('accuracy')
plot.xlabel('epochs')
plot.legend(['train', 'test'], loc='upper left')
plot.show()
# Optional, Cetak summary model
print(model.summary())

```

Tahap Pengujian dilakukan menggunakan 10% dari data yang dimiliki. Metode pengujian adalah dengan membandingkan hasil prediksi dengan data pencatatan kondisi di lokasi. Data yang digunakan adalah data yang belum pernah digunakan sebagai data training dan data validasi. Format data yang digunakan sama dengan bentuk data training, hanya saja pada tahap pengujian target tidak diberikan.

Tabel 4-5 Kode Dasar Pengujian Model ANN

```
# Definisikan dan Import Modul yang akan digunakan
import keras
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plot
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler

# Ambil testing dataset (.csv)
df = pd.read_csv('path/ke/folder/nama_file_test_data.csv')

# Definisikan predictor (vartest) terhadap semua kolom, kecuali kolom
'precipitation' apabila ada
vartest = df.drop(columns=['kolom_target'])

# Hitung jumlah data
jmldata = len(vartest.index)

# Normaliasasi data, konversi data menjadi range 0 - 1, menggunakan
library sklearn, module MinMaxScaler
# Definisikan vartest = x
scalersx = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))
x = vartest

# Vartest = [bulan, tmax, humidity, pressure, wind, clouds]
vartestarray = np.array(x)

# Test_data = vartestarray.reshape(,5)
# Load variabel training neural yang tersimpan
old_model = keras.models.load_model('path/ke/folder/nama_model.h5')

# Lakukan prediksi terhadap data
# Melakukan reshape agar bentuk sesuai format neural network (matrix)
prediksi = (old_model.predict(vartestarray))
rescale = abs(prediksi.reshape((jmldata),1))
hasil = pd.DataFrame(rescale, columns= [kolom_output])

# Tulis hasil prediksi ke dalam file hasil_prediksi_hulu.csv
hasil.to_csv(r' path/simpan/ke/folder/hasil_prediksi.csv', index =
False, header=True)

# Optional mencetak hasil pada layar
print (hasil)
```

### 4.1.3 Training, validasi dan penyesuaian

Tahap training pada model ANN dilakukan pada setiap lokasi pengamatan menggunakan data yang disiapkan pada tahap pengolahan data. Proses training bertujuan untuk mendapatkan komposisi optimal pada *weight* pada setiap node dan *layer* sehingga dapat digunakan untuk menghasilkan prediksi nilai hujan menggunakan variabel cuaca. Model ANN memiliki konfigurasi sebagai berikut.

1. Input layer, terdiri dari 1-layer (6 *node*) untuk variabel *input*,
  1. Waktu bulan kejadian (x1),
  2. Temperatur (x2),
  3. Kelembapan (x3),
  4. Tekanan udara (x4),
  5. Kecepatan angin (x5) dan
  6. Tutupan awan (x6).
2. Hidden layer, ditentukan dari running model menggunakan beberapa kombinasi hidden layer. hidden layer dengan 3,4,5,6 layer,
3. Output Layer, terdiri atas 1 node target (prediksi curah hujan).

Pada proses training model penelitian ini pengujian dengan jumlah hidden layer lebih dari 6 lapisan layer tidak memberikan kinerja model yang lebih baik secara signifikan. Pada model dengan jumlah hidden layer yang lebih banyak, proses yang dilakukan akan menjadi lebih lama (waktu = menit) dan kebutuhan perangkat keras menjadi lebih tinggi

Tabel 4-6 Perbandingan Kinerja Hidden Layer pada Model Hulu

Hidden Layer	Arsitektur	Loss	Akurasi	Waktu training	RMSE	Deviasi	R2
3	36/72/6	32.776	68.793	13 min	9.516	18.301	0.847
4	36/72/36/6	21.731	72.936	18 min	7.845	14.331	0.908
<b>5</b>	<b>36/72/72/36/6</b>	<b>27.660</b>	<b>77.420</b>	<b>22 min</b>	<b>6.010</b>	<b>11.747</b>	<b>0.940</b>
6	36/72/144/72/36/6	33.804	73.459	31 min	8.654	15.099	0.866

Tabel 4-7 Perbandingan Kinerja Hidden Layer Model Malino

Hidden Layer	Arsitektur	Loss	Akurasi	Waktu training	RMSE	Deviasi	R2
3	36/72/6	51.832	69.833	12 min	9.680	21.326	0.962
4	36/72/36/6	33.238	73.371	17 min	4.773	25.794	0.953
<b>5</b>	<b>36/72/72/36/6</b>	<b>27.66</b>	<b>77.42</b>	<b>20 min</b>	<b>2.15</b>	<b>10.45</b>	<b>0.972</b>
6	36/72/144/72/36/6	32.918	72.047	25 min	8.661	17.071	0.982

Tabel 4-8 Perbandingan Kinerja Hidden Layer pada Model Tengah

Hidden Layer	Arsitektur	Loss	Akurasi	Waktu training	RMSE	Deviasi	R2
3	36/72/6	53.411	14.804	10 min	10.591	26.743	0.981
4	36/72/36/6	48.104	17.957	13 min	7.789	22.286	0.989
5	36/72/72/36/6	43.060	21.586	21 min	5.434	14.647	0.990
<b>6</b>	<b>36/72/144/72/36/6</b>	<b>37.75</b>	<b>55.4</b>	<b>24 min</b>	<b>3.99</b>	<b>10.541</b>	<b>0.995</b>
7	36/72/144/144/72/36/6	43.013	51.271	27 min	7.464	15.144	0.995

Tabel 4-9 Perbandingan Kinerja Hidden Layer pada Model Jenelata

Hidden Layer	Arsitektur	Loss	Akurasi	Waktu Training	RMSE	Deviasi	R2
3	36/72/6	38.182	15.627	7 min	24.390	15.947	0.850
4	36/72/36/6	32.632	18.903	11 min	14.703	13.010	0.860
5	36/72/72/36/6	27.862	56.163	19 min	9.148	9.512	0.920
<b>6</b>	<b>36/72/144/72/36/6</b>	<b>22.830</b>	<b>60.530</b>	<b>24 min</b>	<b>5.870</b>	<b>6.796</b>	<b>0.976</b>
7	36/72/144/144/72/36/6	27.685	49.333	28 min	11.092	11.060	0.913

Tabel 4-10 Perbandingan Kinerja Hidden Layer pada Model Hilir

Hidden Layer	Arsitektur	Loss	Akurasi	Waktu training	RMSE	Deviasi	R2
3	36/72/6	11.899	73.743	3 min	19.814	28.509	0.628
4	36/72/36/6	7.065	78.237	11 min	17.083	19.001	0.784
<b>5</b>	<b>36/72/72/36/6</b>	<b>2.01</b>	<b>83.36</b>	<b>18 min</b>	<b>10.74</b>	<b>15.631</b>	<b>0.991</b>
6	36/72/144/72/36/6	7.425	69.974	21 min	23.274	18.685	0.861

Berdasarkan hasil yang didapatkan pada tabel pengujian performa model terhadap jumlah hidden layer didapatkan nilai optimal yang akan digunakan pada pemodelan prediksi curah hujan.

Tabel 4-11 Arsitektur Model ANN

Model	Hidden Layer	Arsitektur	Loss	Akurasi	Waktu training	RMSE	R2
Hulu	5	36/72/72/36/6	27.660	77.420	22 min	6.010	0.940
Malino	5	36/72/72/36/6	27.66	77.42	20 min	2.15	0.972
Tengah	6	36/72/144/72/36/6	37.75	55.4	24 min	3.99	10.541
Jenelata	6	36/72/144/72/36/6	22.830	60.530	24 min	5.870	0.976
Hilir	5	36/72/72/36/6	2.01	83.36	18 min	10.74	0.991

Analisa penggunaan arsitektur ANN pada model berdasarkan pada nilai *Accuracy* tertinggi, *Loss* terkecil dan waktu rata terkecil, nilai ini merupakan hasil yang didapatkan dari setiap proses pembelajaran model dengan variabel *epoch* sebesar 5000 per training per model.

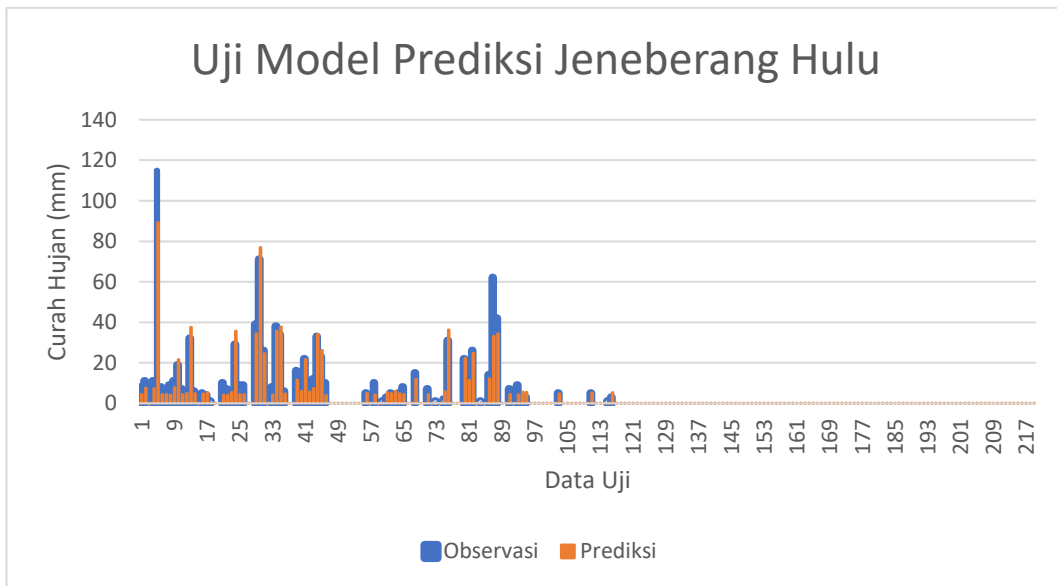
#### 4.1.4 Pengujian dan Kalibrasi

Tahap Pengujian dilakukan menggunakan 10% dari data yang dimiliki. Metode pengujian adalah dengan membandingkan hasil prediksi dengan data pencatatan kondisi di lokasi, desain algoritma pengujian Hasil yang didapatkan dari pengujian ini adalah

##### 4.1.4.1 Jeneberang Hulu

Pengujian dilakukan menggunakan 219 data harian dengan nilai RMSE 6.01 Standar deviasi 11.75 dan korelasi 0.94. Nilai tersebut menunjukkan model memberikan hasil prediksi yang berkorelasi cukup baik, dimana nilai yang dihasilkan oleh model untuk prediksi curah hujan maksimum sebesar 89.27 mm dengan nilai observasi 115 mm

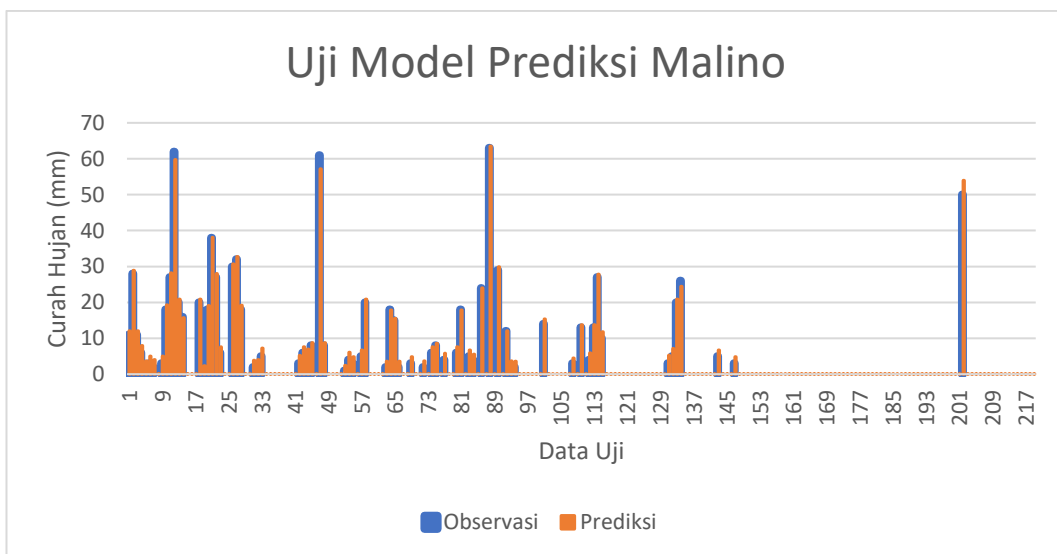




Gambar 4-3 Grafik Hasil Pengujian Model Jeneberang Hulu

#### 4.1.4.2 Malino

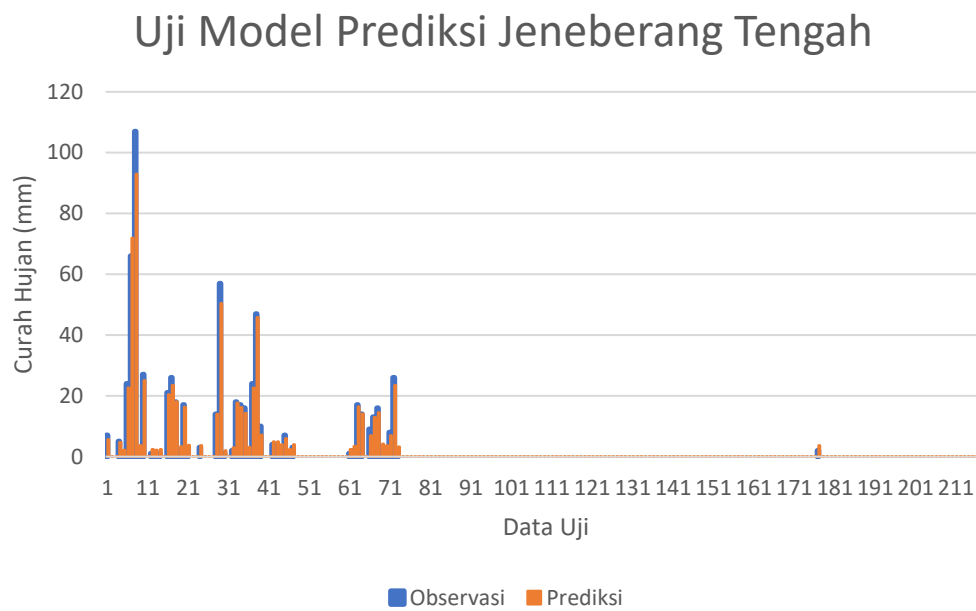
Pengujian dilakukan menggunakan 219 data harian dengan nilai RMSE 2.15, Standar deviasi 10.45 dan korelasi 0.972. Nilai tersebut menunjukkan model memberikan hasil prediksi berkorelasi positif, variasi nilai yang dihasilkan oleh model mendekati variasi nilai obeservasi. Nilai prediksi curah hujan maksimum sebesar 63.44 mm pada nilai maksimum pengamatan 63 mm.



Gambar 4-4 Grafik Hasil Pengujian Malino

#### 4.1.4.3 Jeneberang Tengah

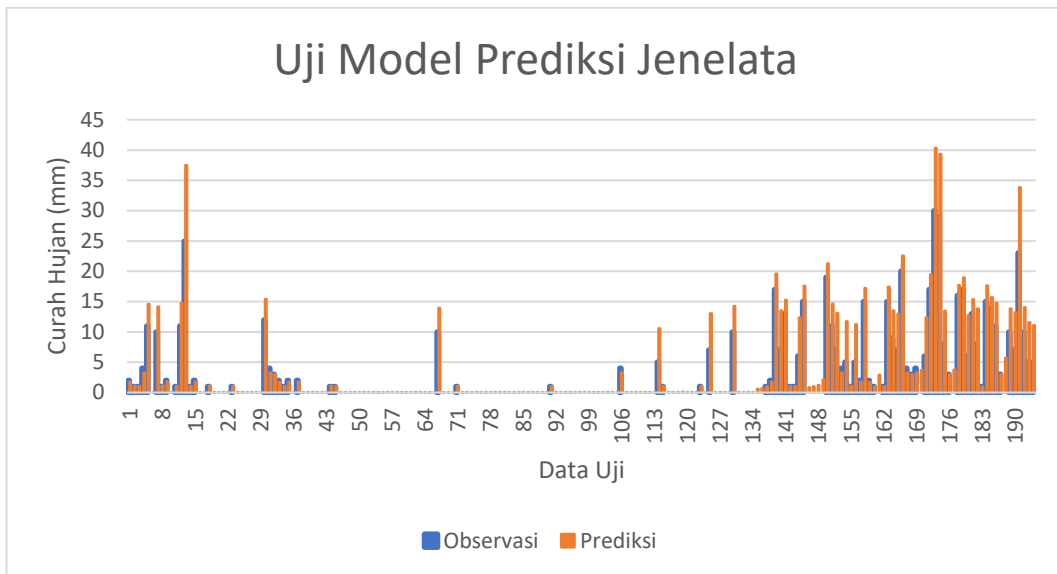
Pengujian dilakukan menggunakan 218 data harian dengan nilai RMSE 3.99, Standar deviasi 10.54, dan korelasi 0.995. Nilai tersebut menunjukkan model memberikan hasil korelasi cukup baik. Model ini memberikan nilai prediksi curah hujan maksimum sebesar 93.02 mm pada nilai maksimum pengamatan 107 mm



Gambar 4-5 Grafik Hasil Pengujian Model 4.1.4.3 Jeneberang Tengah

#### 4.1.4.4 Jenelata

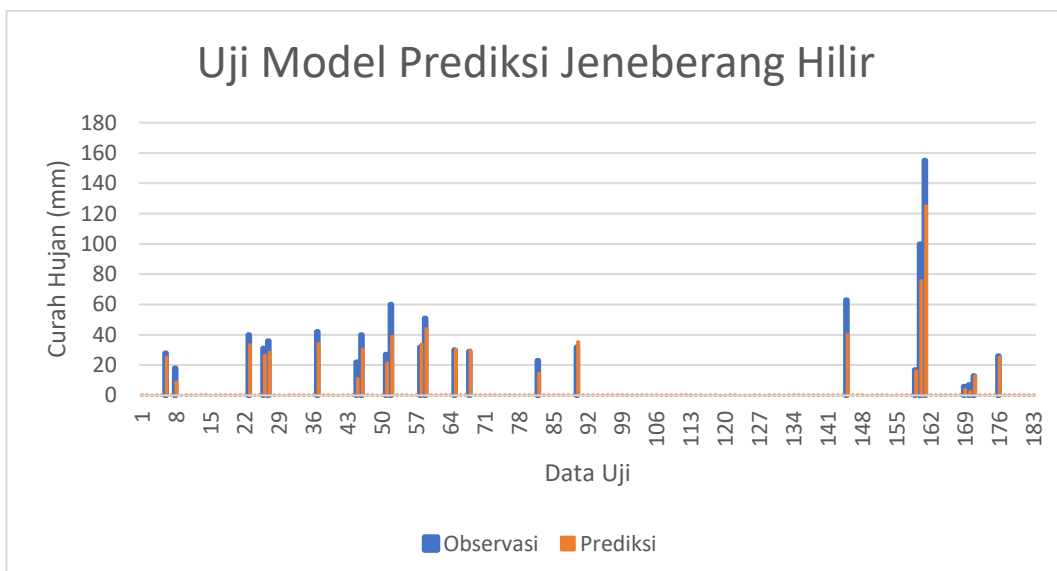
Pengujian dilakukan menggunakan 194 data harian dengan nilai RMSE 5.87, Standar deviasi 6.80 dan korelasi 0.976. variasi nilai yang dihasilkan oleh model mendekati variasi nilai observasi. Nilai prediksi curah hujan maksimum sebesar 40.36 mm pada nilai maksimum pengamatan sebesar 30 mm.



Gambar 4-6 Grafik Hasil Pengujian Model Jenelata

#### 4.1.4.5 Jeneberang Hilir

Pengujian dilakukan menggunakan 184 data harian dengan nilai RMSE 10.47, deviasi 15.63, dan korelasi 0.99. Korelasi antara prediksi dan observasi menghasilkan nilai yang baik. prediksi pada model ini memberikan nilai curah hujan maksimum sebesar 125.10 mm pada nilai maksimum pengamatan 155 mm.



Gambar 4-7 Grafik Hasil Pengujian Model Jeneberang Hilir

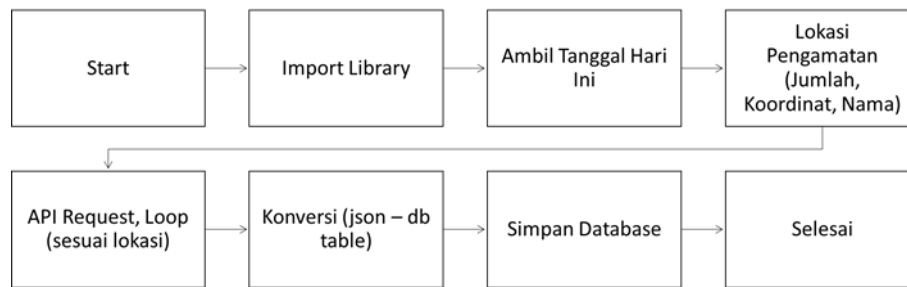
Secara umum pengujian model dapat melakukan prediksi yang cukup baik terhadap nilai yang diberikan, namun prediksi terhadap nilai hujan dengan intensitas tinggi > 100 mm terlihat memiliki simpangan yang cukup signifikan. hal ini kemungkinan dikarenakan kurangnya data curah hujan dengan intensitas tinggi yang digunakan dalam proses training.

Tabel 4-12 Hasil Uji Model

Model	value	Observasi	Prediksi	RMSE	STDEV	CORELL
Hulu	Min	0.00	0.02	6.01	11.747	0.940
	Max	115.00	89.27			
Malino	Min	0.00	0.02	2.15	10.45	0.997
	Max	63.00	63.44			
Tengah	Min	0.00	0.10	3.99	10.541	0.995
	Max	107.00	93.02			
Jenelata	Min	0.00	0.01	5.87	6.796	0.976
	Max	30.00	40.36			
Hilir	Min	0.00	0.26	10.74	15.631	0.991
	Max	155.00	125.10			

#### 4.1.5 Implementasi

Berdasarkan pengujian menggunakan beberapa kombinasi arsitektur dan parameter yang ada maka arsitektur yang digunakan terdiri dari 6 node neuron yang merupakan variabel *input*. Jumlah hidden layer yang optimal adalah 4 lapisan layer dengan jumlah node neuron 48 pada hidden layer, 72 pada hidden layer 2 36 48 pada hidden layer 3 dan 6 pada hidden layer 4. Dan 1-layer *output* dengan 1 node Tahap selanjutnya dalam pemodelan ini adalah implementasi model kedalam sebuah aplikasi sederhana yang dapat melakukan prediksi menggunakan *input* variabel global dari API request. Proses ini dilakukan menggunakan Python. library yang digunakan adalah JSON, Requests, dan Datetime. Proses akuisisi data ini dapat di gambarkan dalam diagram alur konseptual sebagai berikut



Gambar 4-8 Skema Konseptual Akuisisi DataTabel

Variabel dalam algoritma pengambilan data API diperoleh dalam format json, data tersebut kemudian di reformat kembali dalam bentuk .csv yang kemudian di tulis dalam tabel database.

Tabel 4-13 Komponen API dan Format Data JSON

Python Library	JSON, Requests, Datetime
Jumlah Lokasi	5
Koordinat	Hulu (-5.309, 119.864) Malino (-5.284, 119.847) Tengah (-5.298, 119.807) Jenelata (-5.222, 119.845) Hilir (-5.247, 119.854)
API request format	<a href="https://api.darksky.net/forecast/APIKEY/{LAT},{LON}?units=si">https://api.darksky.net/forecast/APIKEY/{LAT},{LON}?units=si</a>
Variable	Lokasi, Pos, Lat, Lon, Time, Summary, Icon, Sunrise, Sunset, Moon, Pint, Pint_Max, Pint_Max_Time, Pprob, Thigh, Thigh_Time, Tlow, Tlow_Time, Athigh, Athigh_Time, Atlow, Atlow_Time, Dew, Humidity, Pressure, Windspeed, Windgust, Windgust_Time, Windbear, Cloud, Uv, Uv_Time, Visibility, Ozone, Dtmin, Dtmin_Time, Dtmax, Dtmax_Time, Adtmin, Adtmin_Time, Adtmax, Adtmax_Time, Acq_Time

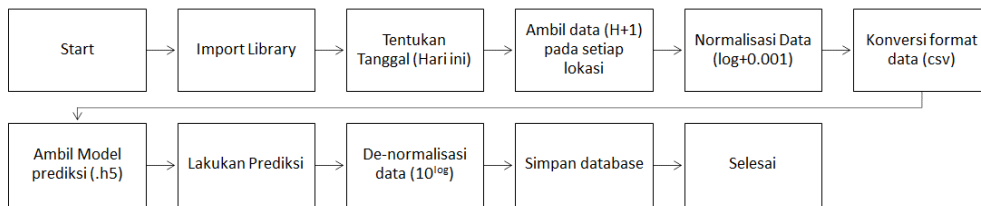
```

C:\Users\oscar\Anaconda3\python.exe
Using TensorFlow backend.
Ambil Data - hulu
https://api.darksky.net/forecast/ce1bf774032e25529621afd344983274/-5.299,119.88?units=si
Ambil Data - malino
https://api.darksky.net/forecast/ce1bf774032e25529621afd344983274/-5.222,119.845?units=si
Ambil Data - tengah
https://api.darksky.net/forecast/ce1bf774032e25529621afd344983274/-5.276,119.748?units=si
Ambil Data - jenelata
https://api.darksky.net/forecast/ce1bf774032e25529621afd344983274/-5.357,119.731?units=si
Ambil Data - hilir
https://api.darksky.net/forecast/ce1bf774032e25529621afd344983274/-5.277,119.512?units=si
Data cuaca hulu siap
Data cuaca malino siap
Data cuaca tengah siap
Data cuaca Jenelata siap
Data cuaca hilir siap
  time  atemp  humidity  pressure  windspeed  cloud
0      7  18.31    100.0    1009.7      1.99    76.0
1      7  18.13    100.0    1009.5      1.90    80.0
2      7  17.97    100.0    1009.4      1.83    85.0
3      7  17.89    100.0    1009.5      1.78    89.0
4      7  18.04    100.0    1010.0      1.76    91.0
..    ...    ...    ...    ...    ...
214    7  29.55     65.0    1007.9      1.29    25.0
215    7  28.47     73.0    1007.8      0.94    21.0
216    7  27.90     78.0    1008.0      0.80    18.0
217    7  26.47     82.0    1008.5      1.13    15.0
218    7  24.78     86.0    1009.3      1.67    13.0
[219 rows x 6 columns]

```

Gambar 4-9 Output Pengambilan Data Cuaca Menggunakan API

Proses yang digambarkan akan menghasilkan rekaman data prediksi kondisi cuaca pada H+1 yang kemudian akan digunakan sebagai data *input* prediksi curah hujan



Gambar 4-10 Skema Konseptual Prediksi Hujan

```

C:\Users\oscar\Anaconda3\python.exe
Jumlah data Hulu: 219
2020-07-05 18:09:57.850322: I tensorflow/core/platform/cpu_feature_guard.cc:142] Your CPU su
ports instructions that this TensorFlow binary was not compiled to use: AVX AVX2
2020-07-05 18:09:57.950866: I tensorflow/core/common_runtime/process_util.cc:147] Creating n
ew thread pool with default inter op setting: 2. Tune using inter_op_parallelism_threads for
best performance.
Prediksi selesai.... data tersimpan dalam bentuk file.csv
  time  atemp  humidity  pressure  windspeed  cloud
0      7  22.60    89.0    1008.9      2.47    58.0
1      7  22.55    90.0    1008.9      2.31    63.0
2      7  22.46    90.0    1008.8      2.15    70.0
3      7  22.44    90.0    1009.0      2.05    76.0
4      7  22.61    92.0    1009.5      2.04    79.0
..    ...    ...    ...    ...    ...
68    7  28.30    68.0    1007.9      3.02    23.0
69    7  27.29    75.0    1007.8      2.68    25.0
70    7  26.57    79.0    1008.0      2.48    26.0
71    7  25.55    83.0    1008.6      2.58    22.0
72    7  24.59    86.0    1009.4      2.81    18.0
[73 rows x 6 columns]
Jumlah data Jenelata: 73
Prediksi selesai.... data tersimpan dalam bentuk file.csv
  time  atemp  humidity  pressure  windspeed  cloud
0      7  23.20    90.0    1009.5      1.46    56.0
1      7  22.89    92.0    1009.3      1.36    60.0
2      7  22.96    93.0    1009.1      1.29    68.0
3      7  23.23    94.0    1009.3      1.24    75.0
4      7  23.94    93.0    1009.8      1.19    77.0
..    ...    ...    ...    ...    ...
68    7  30.27    69.0    1007.8      2.92    7.0
69    7  29.59    72.0    1007.7      2.30    13.0
70    7  29.12    74.0    1007.8      1.95    16.0
71    7  27.98    76.0    1008.4      2.17    14.0
72    7  26.73    80.0    1009.1      2.64    8.0
[73 rows x 6 columns]
Jumlah data Hilir: 73

```

Gambar 4-11 Tampilan Output Running Model Prediksi

## 4.2 Pemodelan Hujan Limpasan

Pemodelan Hujan – Limpasan menggunakan metode SCS bertujuan untuk melakukan perhitungan limpasan akibat hujan yang di prediksi oleh model ANN. Selain nilai curah hujan pemodelan ini juga menggunakan variable lain, berupa parameter karakteristik area seperti CN, luas area daerah tangkapan air, impervious, yang didapatkan melalui analisa spasial dan analisa hidraulika. Pemodelan dilakukan dengan langkah sebagai berikut.

1. Persiapan lingkungan
2. Analisa data,
3. Desain logika model,
4. Pengujian dan kalibrasi,
5. Implementasi

### 4.2.1 Persiapan Lingkungan

Persiapan lingkungan pemodelan hujan – limpasan ini dimaksudkan untuk mempersiapkan alat, bahan dan kebutuhan pemodelan, antara lain adalah software dan hardware yang dibutuhkan. Pada tahap ini juga dilakukan analisa data spasial hidrologi dan hidraulika

Analisa Spasial. Yang dilakukan adalah pengolahan data spasial. Bahan yang di gunakan adalah *Digital Elevation Model* (DEM) dan data peta lain, seperti peta area DAS, tutupan lahan, peta aliran sungai, peta lokasi object dan infrastruktur terkait penelitian, dan peta aliran sungai. Hal tersebut bertujuan untuk mendapatkan variabel karakteristik dari lokasi penelitian, antara lain ketinggian (elevasi), kontur, luas area, panjang aliran sungai dan tutupan /penggunaan lahan untuk mendapatkan nilai CN, pengolahan ini diperlukan karena pada model perhitungan debit aliran membutuhkan variabel tersebut. antara lain debit aliran akan sangat dipengaruhi oleh laju infiltrasi tanah, tanaman penutup tanah dan intensitas hujan (Arsyad, 2010). Data pendukung lain adalah data lokasi administrasi. Pengolahan data spasial dilakukan menggunakan aplikasi Quantum GIS (QGIS). Analisa Hidraulika yang merupakan pengolahan, perhitungan dan pengolahan data spasial untuk

mendapatkan variabel hidraulika seperti CN, perhitungan kecepatan aliran, waktu konsentrasi dan rating curve di lokasi pengamatan.

Pemodelan di lakukan menggunakan bahasa program PHP dan metode perhitungan SCS. Model ini akan menghitung nilai limpasan total, distribusi debit maksimum per jam dengan menggunakan *input* berupa data prediksi curah hujan dan variable lain yang didapatkan melalui analisa spasial, hidrologi dan hidraulika. Alat bantu dan perangkat lunak yang digunakan dalam pemodelan ini antara lain

Tabel 4-14 Lingkungan Pemodelan Limpasan

No	Software	Sumber
1	Apache	<a href="http://www.apache.org/">http://www.apache.org/</a>
2	PHP	<a href="https://www.php.net/">https://www.php.net/</a>
3	Perl	<a href="https://www.perl.org/">https://www.perl.org/</a>
4	QGIS	<a href="https://www.qgis.org/">https://www.qgis.org/`</a>
5	HEC-HMS	<a href="https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/">https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/</a>

#### 4.2.2 Analisa Data Spasial

Dari data yang didapatkan, DAS Jeneberang dengan kode DAS 05.17.A3.038 merupakan bagian dari Wilayah Sungai Jeneberang (KepPres 12/2012, 2012). Pengolahan DEM yang di *overlay* dengan Peta area DAS Jeneberang mendapatkan batas DAS seluas 781.74 km<sup>2</sup> dan terbagi menjadi 5 sub-DAS yaitu Jeneberang Hulu, Malino, Jeneberang Tengah, Jenelata dan Jeneberang Hilir.

Pengolahan lebih lanjut pada DEM yang bersumber dari Badan Informasi Geospasial dengan skala 1:25.000 menghasilkan nilai ke lerengan area yang bervariasi, berkisar antara 0.03 di bagian hulu dan melandai ke bagian hilir sampai dengan kemiringan 0.001. perhitungan kemiringan dilakukan berdasarkan nilai elevasi maksimum dan minimum pada setiap *outlet* pada data DEM

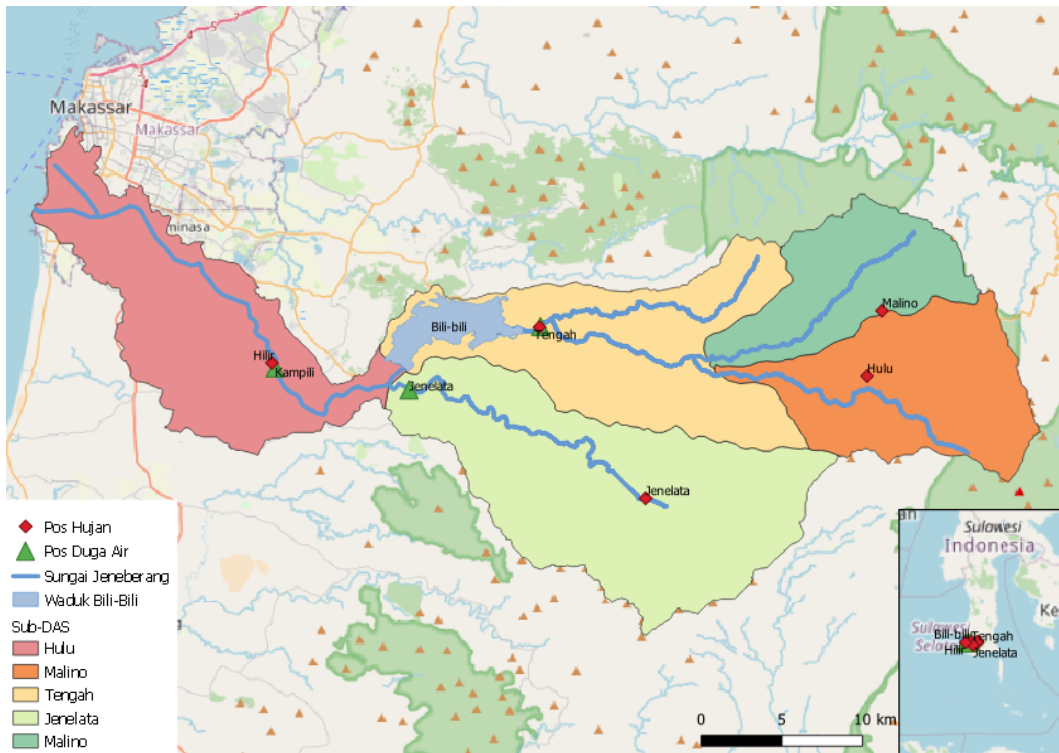
Peta jenis tanah dan tutupan lahan DAS Jeneberang menunjukkan bahwa penggunaan lahan di DAS masuk kedalam group A – C dimana mayoritas merupakan perkebunan dan hutan dengan jenis tanah *dystropepts*. tanah tipe ini merupakan tanah yang telah berkembang dengan drainase sedang. relatif tahan erosi bertekstur liat dan struktur gumpal sampai agak remah, dan mudah diolah. Tingkat



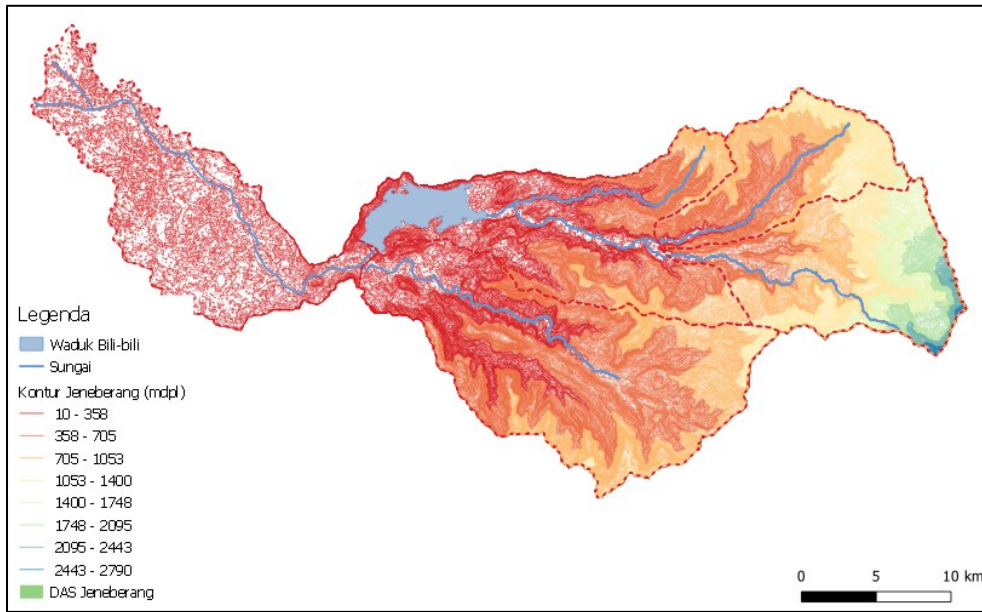
kesuburan untuk tanaman pangan cukup baik, padat dan memiliki abstraksi kecil.  
*Impervious* DAS sebesar 2.8 %.

Tabel 4-15 Analisa Kelerengan

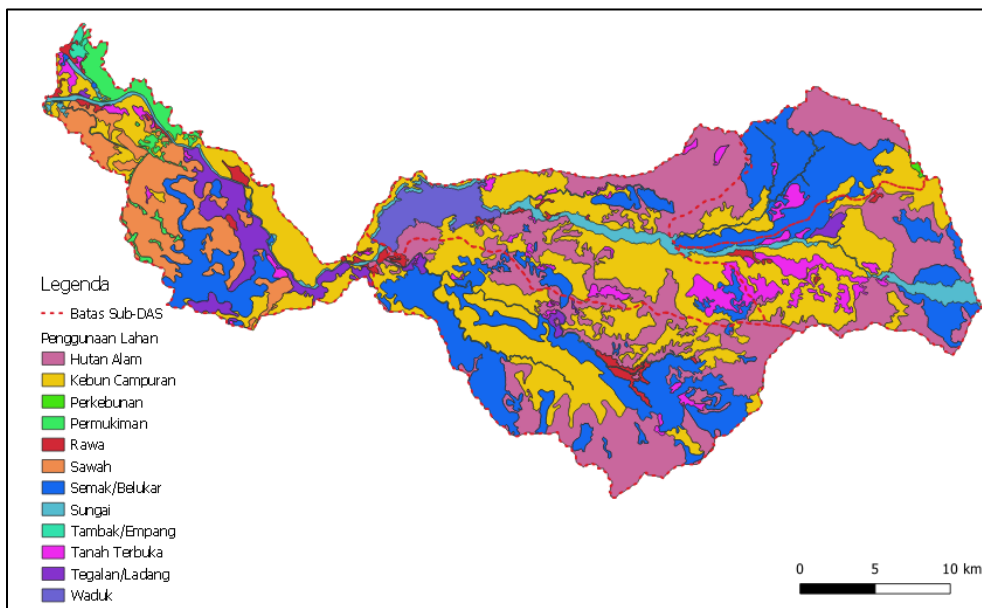
Sub-DAS	Luas (km <sup>2</sup> )	Cn	Panjang Sungai (km)	Elevasi (m)		Kelerengan
				Hulu	Hilir	
Hulu	88.42	61.30	13.2	470	283	0.014
Malino	126.97	65.42	20.8	933	283	0.031
Tengah	169.60	68.53	16.28	283	98	0.011
Jenelata	231.19	62.69	24.34	545	44	0.021
Hilir	165.56	69.42	30.56	44	0	0.001



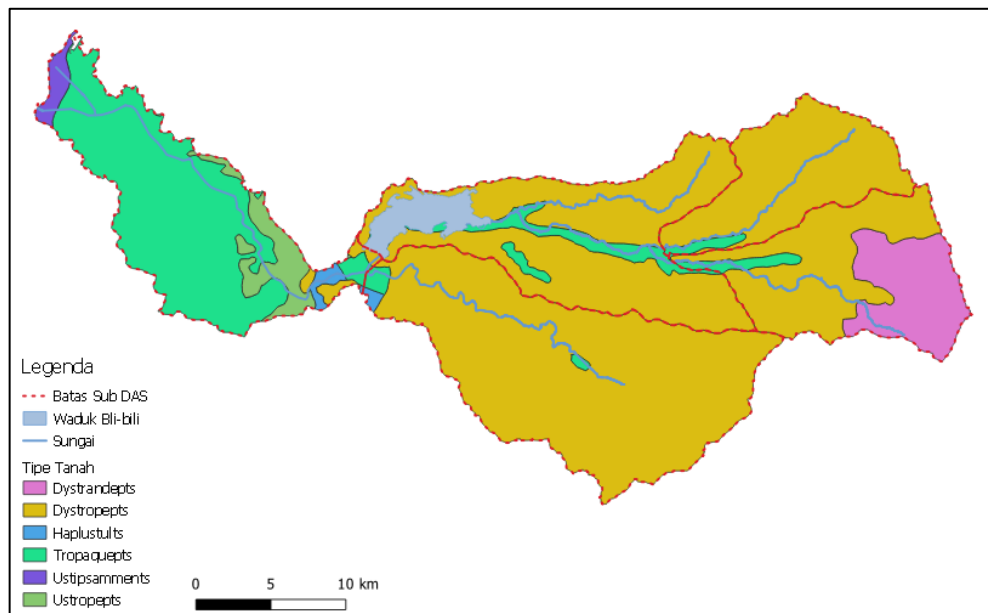
Gambar 4-12 Peta Lokasi Penelitian



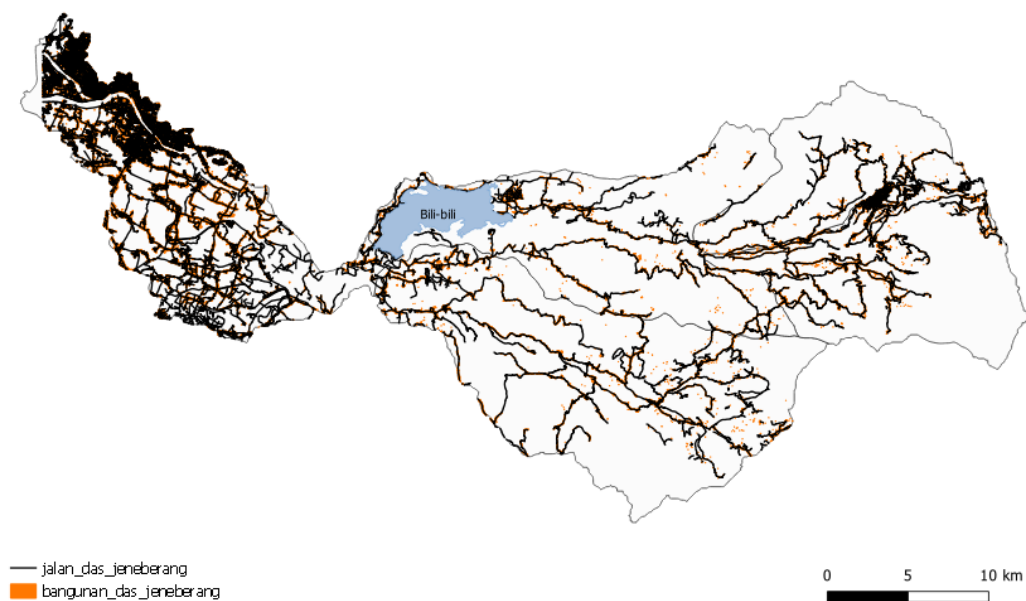
Gambar 4-13 Peta Kontur



Gambar 4-14 Peta Tutupan Lahan



Gambar 4-15 Peta Jenis Tanah



Gambar 4-16 Peta Area Impervious

Elevasi, pajang sungai dan kemiringan akan digunakan dalam perhitungan Time of concentration dan Time lag. Variable ini didapatkan dari pengolahan data DEM dan peta Aliran sungai. Elevasi tertinggi aliran sungai Jeneberang bagian hulu

berada pada 933 mdpl, Panjang aliran sungai terbesar terletak pada bagian hilir DAS, dengan panjang 30.56 km dan terpendek pada sub-DAS Malino dengan panjang 13.20 km.

Tabel 4-16 Tutupan Lahan DAS Jeneberang

Penggunaan Lahan	Luas (km <sup>2</sup> )	Persentase (%)
Hutan Alam	207.13	26.50
Tanah Terbuka	31.50	4.03
Waduk	17.88	2.29
Tambak	1.52	0.20
Kebun	255.06	32.63
Permukiman	13.49	1.73
Rawa	10.88	1.39
Sawah	50.59	6.47
Semak/Belukar	165.65	21.19
Sungai	28.04	3.59
Total	781.74	100.00

#### 4.2.3 Analisa Data Hidrologi dan Hidraulika

Analisa hidrologi yang dilakukan antara lain melakukan validasi terhadap korelasi data hidrologi dan klimatologi antar lokasi dan sensitivitas. Korelasi antar data observasi curah hujan pada 5 lokasi menghasilkan nilai sebagai berikut:

Tabel 4-17 Korelasi Nilai Observasi Curah Hujan pada Sub-DAS

Sub-DAS	Malino	Hulu	Tengah	Jenelata	Hilir
Malino	1	0.212	0.348	0.287	0.207
Hulu	0.212	1	0.302	0.474	0.101
Tengah	0.348	0.302	1	0.293	0.202
Jenelata	0.287	0.474	0.293	1	0.126
Hilir	0.207	0.101	0.202	0.126	1

Nilai korelasi terbesar terdapat pada lokasi Jeneberang Hulu dan Jenelata, dimana kedua lokasi tersebut merupakan lokasi dengan elevasi tertinggi pada DAS Jeneberang, dan berbatasan dengan lereng gunung Bawakaraeng. Nilai korelasi terendah tercatat pada sub-DAS Jeneberang Hilir, dimana lokasi ini merupakan titik terendah pada area penelitian. Sementara signifikansi antar variabel cuaca dan curah hujan yang dilakukan mendapatkan nilai sebagai berikut:

Tabel 4-18 Korelasi dan Signifikansi Variabel Cuaca - Curah Hujan

Hujan	Month	Temperature	Humidity	Pressure	Winds	Clouds
Pearson	-0.388	-0.905	0.615	-0.603	0.003	0.664
P-Value	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.960	< 0.005

Tabel 4-19 Korelasi dan Signifikansi antar Variabel Cuaca

	Month	Temperature	Humidity	Pressure	Winds	Clouds
Temperature	0.449					
P-Value	0.000					
Humidity	-0.790	-0.681				
P-Value	0.000	0.000				
Pressure	0.796	0.664	-0.990			
P-Value	0.000	0.000	0.000			
Winds	0.300	0.053	-0.208	0.220		
P-Value	0.000	0.436	0.002	0.001		
Clouds	-0.655	-0.723	0.968	-0.943	-0.154	
P-Value	0.000	0.000	0.000	0.000	<b>0.023</b>	
Hujan	-0.388	-0.905	0.615	-0.603	0.003	0.664
P-Value	0.000	0.000	0.000	0.000	<b>0.960</b>	0.000

Nilai P-value yang < 0.05 pada tabel korelasi dan signifikansi antar variabel cuaca terlihat bahwa variabel signifikan berpengaruh terhadap curah hujan adalah temperatur, kelembapan dan tekanan udara, dimana variabel kurang signifikan terhadap curah hujan adalah kecepatan angin.

Analisa hidraulika dilakukan bertujuan untuk mengetahui kapasitas dan kemampuan penampang dalam menampung debit limpasan di beberapa lokasi sepanjang aliran sungai Jeneberang yang terpengaruh atau mempengaruhi limpasan. Analisa hidraulika menggunakan variabel dan hasil dari analisa spasial. *Time of Concentration* (TC) dan *Time Lag* (TL) pada area dihitung menggunakan persamaan Kirpich.

Tabel 4-20 Waktu Konsentrasi (TC) dan Waktu Penundaan (TL)

sub-DAS	Panjang Sungai (km)	Elevasi (m)		Kelerengan	TC (min)	TL (min)
		Hulu	Hilir			
Hulu	13.2	470	283	0.014	156.24	93.74
Malino	20.8	933	283	0.031	149.28	89.57
Tengah	16.28	283	98	0.011	190.99	114.59
Jenelata	24.34	545	44	0.021	207.09	124.26
Hilir	30.56	44	0	0.001	687.11	412.27

Perhitungan terhadap tutupan / penggunaan lahan pada DAS Jeneberang menghasilkan nilai CN sebagai berikut,

Tabel 4-21 CN Jeneberang Hulu

Lahan	Luas (km <sup>2</sup> )	Type	CN	(A.Cn)
Hutan Alam	37.66	A	58.00	2,184.11
Tanah Terbuka	12.98	A	60.00	778.57
Kebun	46.28	A	68.00	3,147.09
Rawa	1.30	C	98.00	127.21
Semak/Belukar	19.68	A	60.00	1,181.07
Sungai	9.07	C	98.00	889.28
Total	126.97		65.43	8,307.33

Tabel 4-22 CN Malino

Lahan	Luas (km <sup>2</sup> )	Type	CN	(A.Cn)
Hutan Alam	25.27	B	58.00	1,465.42
Tanah Terbuka	2.50	B	60.00	149.98
Kebun	15.70	B	68.00	1,067.72
Semak/Belukar	43.88	A	60.00	2,632.70
Sungai	1.07	C	98.00	105.02
Total	88.42		61.31	5,420.84

Tabel 4-23 CN Jeneberang Tengah

Lahan	Luas (km <sup>2</sup> )	Type	CN	(A.Cn)
Hutan Alam	60.21	A	58.00	3,492.04
Tanah Terbuka	10.09	A	60.00	605.22
Waduk	17.79	C	98.00	1,743.06
Kebun	59.22	A	68.00	4,026.66
Rawa	0.99	C	98.00	97.11
Sawah	0.04	C	68.00	2.40
Semak/Belukar	11.26	A	60.00	675.34
Sungai	10.02	C	98.00	982.39
Total	169.60		68.54	11,624.22

Tabel 4-24 CN Jeneberang Hilir

Lahan	Luas (km <sup>2</sup> )	Type	CN	(A.Cn)
Hutan Alam	0.34	A	58.00	19.45
Tanah Terbuka	3.90	A	60.00	234.11
Waduk	0.10	C	98.00	9.32
Tambak	1.52	C	98.00	149.42
Kebun	61.93	A	68.00	4,211.13
Permukiman	13.49	B	74.00	998.07
Rawa	4.73	C	98.00	463.64
Sawah	50.55	C	68.00	3,437.46
Semak/Belukar	22.94	A	60.00	1,376.32
Sungai	6.07	C	98.00	594.88
Total	165.56		69.42	11,493.79

Tabel 4-25 CN Jenelata

Lahan	Luas (km <sup>2</sup> )	Type	CN	(A.Cn)
Hutan Alam	83.66	A	58.00	4,852.49
Tanah Terbuka	2.04	A	60.00	122.17
Kebun	71.93	A	68.00	4,891.40
Rawa	3.86	C	98.00	378.54
Semak/Belukar	67.89	A	60.00	4,073.38
Sungai	1.80	C	98.00	176.67
Total	231.19		62.70	14,494.65

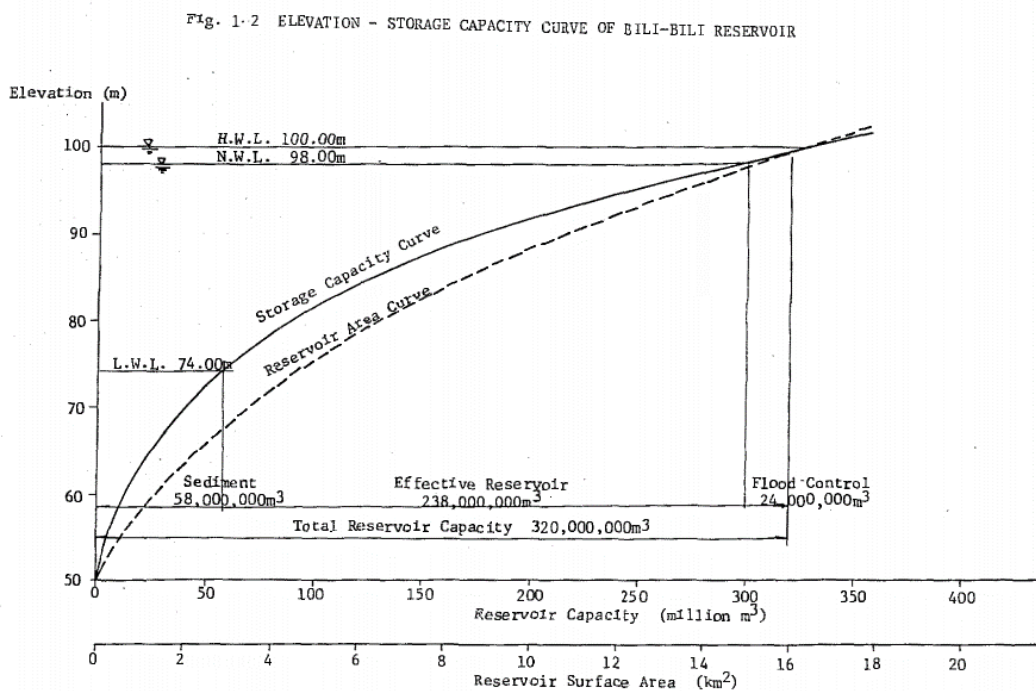
Bendungan dan waduk Bili-Bili di desain sebagai bendungan serbaguna dengan tipe urukan batu dengan inti tanah (*rockfill*). Tubuh Bendungan Bili- Bili memiliki tinggi 56 m di atas dasar sungai dan 73 m di atas galian dengan panjang puncak bendungan sebesar 1808 m (JICA, 2005), Pengendalian banjir bendungan Bili- Bili direncanakan untuk mengontrol banjir periode ulang 50 tahun dan menjaga debit 2,300 m<sup>3</sup> diukur pada jembatan Sangguminasa (JICA, 2005), dimana periode ulang hujan 50 tahun adalah 303 mm pada sub-DAS Malino dan 291 mm pada Bili - Bili (Jeneberang Tengah).

Tabel 4-26 Hujan Kala Ulang DAS Jeneberang

Probable One-day Rainfall		
Return Period	Malino (mm/hari)	Bili-Bili (mm/hari)
100-years	333	317
50-years	303	291
20-years	264	255
10-years	234	228
5-years	202	200
2-years	154	157

Sumber (JICA, 1980)

Perhitungan pada model limpasan akan menghasilkan debit limpasan dan di konversi menjadi penambahan volume pada waduk. Hal ini dilakukan untuk mengetahui dampak penambahan volume akibat limpasan. Perhitungan volume bendungan dilakukan dengan menggunakan persamaan kurva elevasi – tampungan pada bendungan Bili- Bili



Gambar 4-17 Kurva Elevasi – Tampungan Bili-Bili

Sumber: (JICA, 1980)



Perhitungan volume untuk Tinggi Muka Air < 79 m dihitung menggunakan persamaan:

$$V = 0.00276(H^3) + (-0.42411(H^2) + 22.09932(H) + (-391.02500)) \quad (19)$$

Perhitungan Volume Tinggi Muka Air > 79 m dihitung menggunakan persamaan:

$$V = -0.000498 * (H^3) + 0.397 * (H^2) + (-46.8791 * H) + 1535.40 \quad (20)$$

Perhitungan Tinggi Muka Air waduk untuk volume < 80 Juta m<sup>3</sup> dihitung menggunakan persamaan:

$$H = ((2.22345016177837. 10^{-9}) * (V^5)) + ((-8.18447721. 10^{-7}) * V^4) + ((1.703039213475. 10^{-4}) * (V^3)) + ((-1.6601349766406. 10^{-2}) * (V^2)) + (0.872873397804568 * V) + 56.4891 \quad (21)$$

Perhitungan TMA Untuk volume > 80 Juta m<sup>3</sup> dihitung menggunakan persamaan:

$$H = ((2.54590. 10^{-10}) * (V^5)) + ((-4.2671. 10^{-9}) * (V^4)) + (2.831. 10^{-6} * (V^3)) + (-9.7918. 10^{-4} * (V^2)) + (0.24088 * V) + 66.191 \quad (22)$$

Perhitungan luas area genangan dihitung menggunakan persamaan

$$A = 0.00028576x3 * (V^3) + (-0.2509) * (V^3) + (102.94 * V) + 835.66 \quad (23)$$

Variabel bendungan dan waduk Bili-Bili antara lain kapasitas tampungan, tinggi muka air maksimum, efektif, limpasan waduk menggunakan variabel spesifikasi teknis bendungan yang didapatkan dari data teknis perencanaan dan pelaksanaan pembangunan bendungan

Perhitungan tinggi muka air dilakukan di beberapa tempat, seperti pada pos pengamat TMA Kampili yang berjarak 21 km dari muara sungai, titik pengukuran ini berada pada bendung gerak Kampili dan merupakan titik terakhir yang memiliki pencatatan tinggi muka air sebelum sungai Jeneberang mengalir melewati kota Makassar. Pada lokasi ini sungai Jeneberang sudah mendapat *inflow* dari sungai Jenelata. Lokasi pos berada pada koordinat -5.285730, 119.567574. Rating Curve pada lokasi ini (JICA, 2005)

$$Q = 205.5 h^2 + 59.6361 h + 4.3266 \quad (24)$$

Lokasi pengamatan lain adalah pada pos pengamat TMA Jenelata, yang berada pada outlet sungai Jenelata, sebelum bergabung ke sungai Jeneberang. Rating curve pada lokasi ini (JICA, 2005)

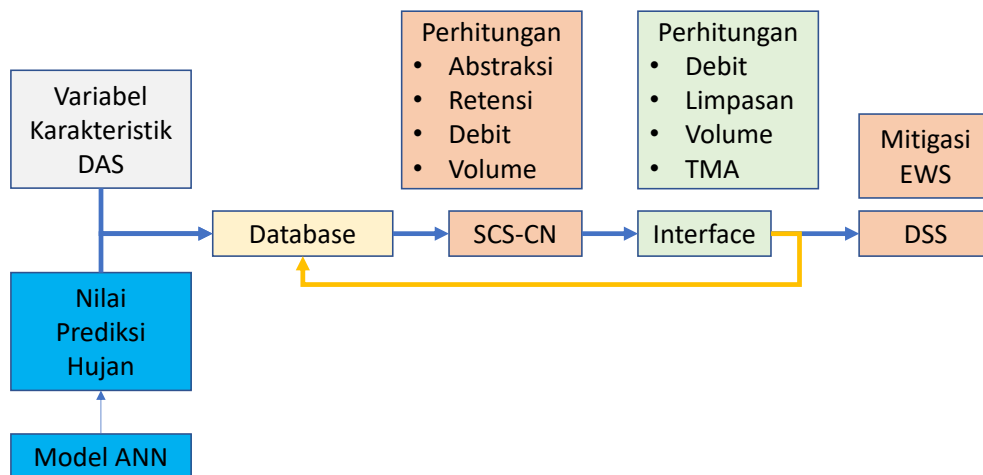
$$Q = 829.3(h - 0.614)^2 \quad (25)$$

Tabel 4-27 Variabel Spesifikasi Bendungan

Nama Sungai	Jeneberang
Banjir Desain	1.800 m <sup>3</sup> /detik
Tampungan Maksimum	375.106 m <sup>3</sup>
Tampungan Efektif	346.106 m <sup>3</sup>
Tampungan Mati	29.106 m <sup>3</sup>
Muka Air Banjir	103 m
Muka Air Normal	99.5 m
Muka Air Rendah	65 m
Tinggi Dari Dasar Sungai	56 m
Tinggi Dari Pondasi	73 m
Elevasi Puncak	106 m
Panjang Puncak	1.808 m
Debit Banjir Pmf	3800 m <sup>3</sup> /detik
Kapasitas Pelimpah	2000 m <sup>3</sup> /detik
Panjang Mercu Pelimpah	70.00 m

#### 4.2.4 Arsitektur dan Desain Model

Model ini berfungsi menghitung limpasan yang terjadi karena adanya curah hujan prediksi yang dihasilkan model ANN. Menggunakan variabel hasil analisa spasial dan prediksi curah hujan yang tersimpan di dalam database, model hujan limpasan menggunakan metode SCS-CN. Untuk menampilkan data hasil perhitungan akan digunakan layanan web sehingga dapat di akses oleh *stakeholder* dan menjadi bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan

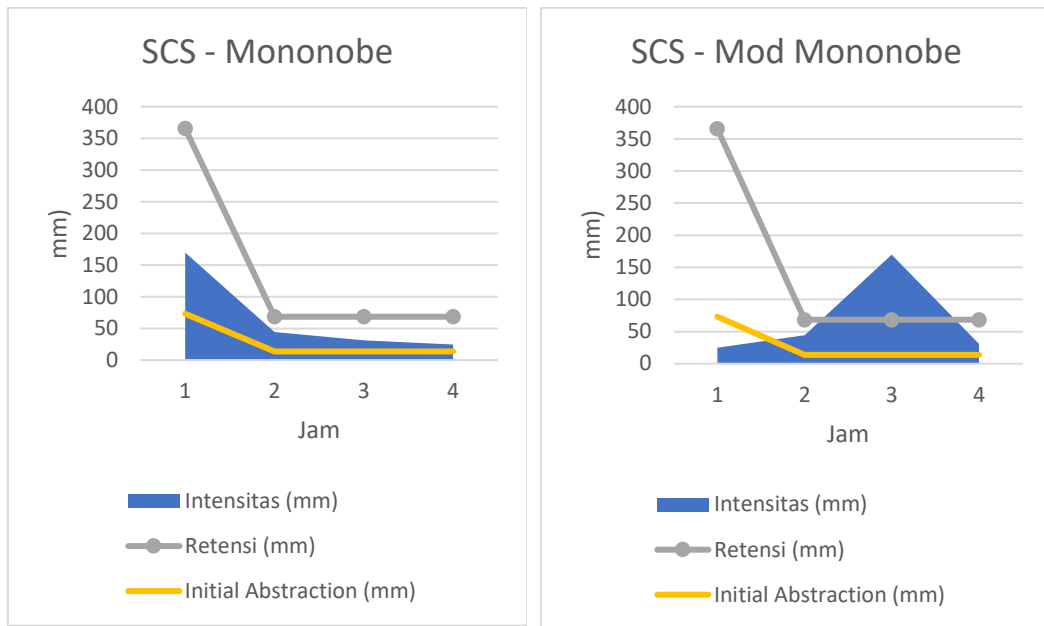


Gambar 4-18 Desain Konseptual Model Limpasan

Proses desain model dilakukan terlebih dahulu menggunakan perhitungan manual. alat bantu yang digunakan adalah aplikasi Microsoft Excel. Perhitungan dilakukan menggunakan nilai hujan pada periode tertentu. hal ini bertujuan untuk memudahkan dalam tahap pengujian dan validasi. Tahap implementasi model adalah pembuatan *interface* sederhana menggunakan PHP.

Perhitungan hidraulika dilakukan menggunakan metode SCS-CN menggunakan nilai dan karakteristik area yang di dapatkan pada analisa spasial. Model akan melakukan perhitungan distribusi hujan menggunakan metode Mononobe dengan panjang waktu hujan 4-6 jam, Distribusi hujan dilakukan karena curah hujan yang dihasilkan model ANN adalah curah hujan maksimum harian, menurut Laporan *Lower Jeneberang River Flood Control Project* (JICA, 1980) rata-rata intensitas hujan pada DAS Jeneberang dalam 1 jam berjumlah 35% dari total hujan harian pada setiap pos hujan dan 90% hujan harian memiliki *mean* periode hujan selama 4-6 Jam.

Distribusi curah hujan yang dihasilkan mengikuti design *hyetograph* dari (JICA, 1980) dengan ketentuan jumlah nilai tertinggi terletak pada bagian tengah *hyetograph*, nilai urut  $R_t$  (genap) diletakkan di bagian naik (*raising limbs*) sementara nomor urut  $R_t$  (ganjil) diletakkan *falling limb*



Gambar 4-19 Modifikasi Distribusi Hujan Harian

Penggunaan nilai CN dihitung menggunakan rekaman hujan kumulatif (Pk) - 5 hari, konversi CN yang dipengaruhi AMC menggunakan persamaan

1. Pk < 36 mm, menggunakan CN AMC I
2. Pk antara 36 mm – 53 mm, menggunakan CN-AMC II,
3. Pk > 53 mm, menggunakan CN AMC III

Perhitungan retensi (S) menggunakan persamaan maksimum retensi (HEC-HMS Technical Reference, 2000)

$$S = \left[ \frac{254000}{CN} \right] - 254 \quad (26)$$

Perhitungan initial abstraction (Ia) menggunakan persamaan SCS (HEC-HMS Technical Reference, 2000)

$$I_a = 0.2S \quad (27)$$

Perhitungan runoff (Q) dilakukan per jam dengan membandingkan nilai hujan kumulatif per jam dengan nilai  $I_a$ , untuk  $P_k$  kurang dari  $I_a$  maka limpasan = 0, sementara untuk  $P_k > I_a$  Limpasan dihitung dengan persamaan berikut.

$$P_k < I_a; Q = 0 \quad (28)$$

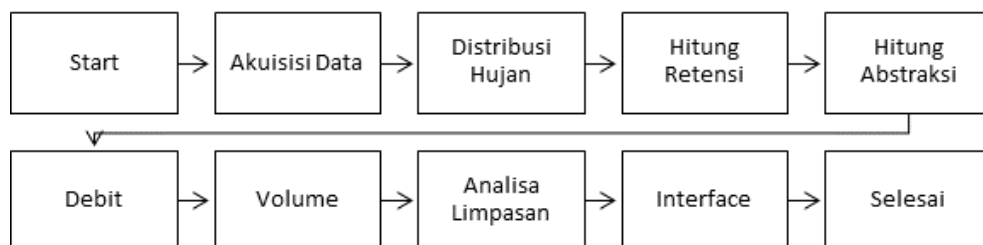
$$P_k > I_a; Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P + (0.8S))} \quad (29)$$

Perhitungan volume (V) menggunakan persamaan rasional dasar hubungan debit dan luas area.

$$V = Q.A \quad (30)$$

Analisa limpasan adalah penilaian, perhitungan dan prediksi hasil dari limpasan yang terhitung, hal ini meliputi potensi kenaikan TMA pada sungai, waduk dan potensi banjir. Parameter yang digunakan adalah nilai atau persamaan yang didapatkan dari analisa hidraulika,

Antarmuka atau *interface* menampilkan nilai dan kondisi klimatologi awal, prediksi curah hujan, hasil analisa hidraulika berupa prediksi limpasan dan memberikan analisa sederhana mengenai potensi yang akan terjadi. Diagram alur konseptual pembuatan model ini dapat digambarkan sebagai berikut



Gambar 4-20 Skema Konseptual Model Hujan – Limpasan

Tabel 4-28 Form Input Data

```

<html lang="en" dir="ltr">
<head>
  <meta charset="utf-8">
  <title>Pengaturan</title>
</head>
<body>
  <a href=".">Beranda</a><hr>
  <form action="manualpost.php" method="get">
    <pre>
      Hujan 5 Hari      : <input type="text" name="hujan5hari"><br>
      Prediksi Hujan   : <input type="text" name="prediksihujan"><br>
      Luas Area DAS    : <input type="text" name="luasarea"><br>
      CN AMC II       : <input type="text" name="cnamc2"><br>
      Lama Hujan      : <input type="text" name="lamahujan"><br>
      <input type="submit">
    </pre>
  </form>
</body>
</html>

```

Hujan 5 Hari :

Prediksi Hujan :

Luas Area DAS :

CN AMC II :

Lama Hujan :

Gambar 4-21 Form Input Data

Tabel 4-29 Perhitungan Limpasan

```

<?php
  $varhujan5hari = $_GET['hujan5hari'];
  $varprediksihujan = $_GET['prediksihujan'];
  $varluasarea = $_GET['luasarea'];
  $varcnamc2 = $_GET['cnamc2'];
  $lamahujan = $_GET['lamahujan'];

  echo 'Jumlah hujan dalam -5 hari:',$varhujan5hari,' mm<br>';
  echo 'Prediksi hujan (P):',$varprediksihujan,' mm<br>';
  echo 'Luas area (A):',$varluasarea,' Km2<br>';
  echo 'CNAMC (CN) II:',$varcnamc2,'<br>';
  echo '<br>';

  <?php
  $varhujan5hari = $_GET['hujan5hari'];
  $varprediksihujan = $_GET['prediksihujan'];
  $varluasarea = $_GET['luasarea'];
  $varcnamc2 = $_GET['cnamc2'];

```

```

$lamahujan = $_GET['lamahujan'];

echo 'Jumlah hujan dalam -5 hari:',$varhujan5hari,' mm<br>';
echo 'Prediksi hujan (P):',$varprediksihujan,' mm<br>';
echo 'Luas area (A): ',$varluasarea,' Km2<br>';
echo 'CNAMC (CN) II:',$varcnamc2,'<br>';
echo '<br>';
echo 'Estimasi Distribusi Hujan **dalam',$lamahujan,' Jam<br>';
?>

<?php
// Penentuan kondisi hujan prediksi perjam awal
$rt0 = ($varprediksihujan/$lamahujan)*(($lamahujan/1)**(2/3));
$rta = (1*$rt0)-((1-1)*(1));
$rt = array($rt0);
// Array Nilai hujan prediksi perjam
$rtx = array($rta);

// Penentuan CNAMC AWAL
if ($varhujan5hari < 36) {
    $cn0 = ($varcnamc2/(2.281-0.01281*$varcnamc2));
} elseif ($varhujan5hari > 53) {
    $cn0 = ($varcnamc2/(0.427+0.00573*$varcnamc2));
} else {
    $cn0 = $varcnamc2;
}
// Array CN perjam, jam pertama
$cn = array($cn0);

// Penentuan kondisi hujan prediksi jam ke n
for ($i=2; $i < ($lamahujan+1); $i++) {
    $rtn = ($varprediksihujan/$lamahujan)*(($lamahujan/$i)**(2/3));
    $rtm = ($i*$rtn)-((($i-1)*($rt[($i-2)])));
    array_push($rt,$rtn);
    array_push($rtx,$rtm);
}

// Perhitungan hujan kumulatif
$pkumulatif = array();
$runningSum = 0;
foreach ($rtx as $number){
    $runningSum += $number;
    array_push($pkumulatif,$runningSum);
    // echo $runningSum,'<br>';
}

// Tampilan Tabel
echo '<table>';
echo '<tr>';
echo '<th>Jam</th>';
echo '<th>Prediksi (mm)</th>';
echo '<th>Total (mm)</th>';
echo '<th>CN</th>';
echo '<th>S (mm)</th>';
echo '<th>Ia (mm)</th>';
echo '<th>Q(mm)</th>';

```



```

echo '<th>Q(m3)</th>';
echo '</tr>';

$qqm3 = array();

for ($j=0; $j <$lamahujan; $j++) {
    // Perhitungan CN perjam, jam ke n
    if (($pkumulatif[$j]+$varhujan5hari) < 32) {
        $cnt = ($varcnamc2/(2.281-0.01281*$varcnamc2));
    } elseif (($pkumulatif[$j]+$varhujan5hari) > 53) {
        $cnt = ($varcnamc2/(0.427+0.00573*$varcnamc2));
    } else {
        $cnt = $cn0;
    }
    // Array CN perjam
    array_push($cn,$cnt);

    // Perhitungan Retensi
    $retensi = (25400/$cn[$j])-254;
    // Initial Abstraction
    $ia = 0.2*$retensi;
    // Runoff, if < Ia = 0

    if ($rtx[$j]<$ia) {
        $qmm = 0;
    }
    else {
        $qmm = ($rtx[$j]-$ia)**2/((($rtx[$j]-$ia)+$retensi));
    }

    $qm3 = ($qmm/100)*($varluasarea*1000000);
    array_push ($kqm3, $qm3);

    echo '<tr>';
    echo '<td>',$j+1,'</td>';
    echo '<td>',$rtx[$j],'</td>';
    echo '<td>',$pkumulatif[$j],'</td>';
    echo '<td>',$cn[$j],'</td>';
    echo '<td>',$retensi,'</td>';
    echo '<td>',$ia,'</td>';
    echo '<td>',$qmm,'</td>';
    echo '<td>',$qm3,'</td>';
    echo '</tr>';
}
echo '</table>';
echo '<br>Total Volume Runoff : ',array_sum($kqm3),' m3';
?>

```

Jumlah hujan dalam -5 hari : 0 mm  
 Prediksi hujan (P) : 269.4 mm  
 Luas area (A) : 88.42 Km<sup>2</sup>  
 CNAMC (CN) II : 61.31

Estimasi Distribusi Hujan \*\*dalam 4 Jam

Jam	Prediksi (mm)	Total (mm)	CN	S (mm)	Ia (mm)	Q (mm)	Q.A (m3)	Q/h (m3/s)
1.00	169.71	169.71	40.99	365.62	73.12	20.18	17,846,861.99	4,957.46
2.00	44.11	213.82	78.77	68.44	13.69	9.36	8,277,641.48	2,299.34
3.00	30.94	244.77	78.77	68.44	13.69	3.47	3,071,798.45	853.28
4.00	24.63	269.40	78.77	68.44	13.69	1.51	1,334,277.65	370.63

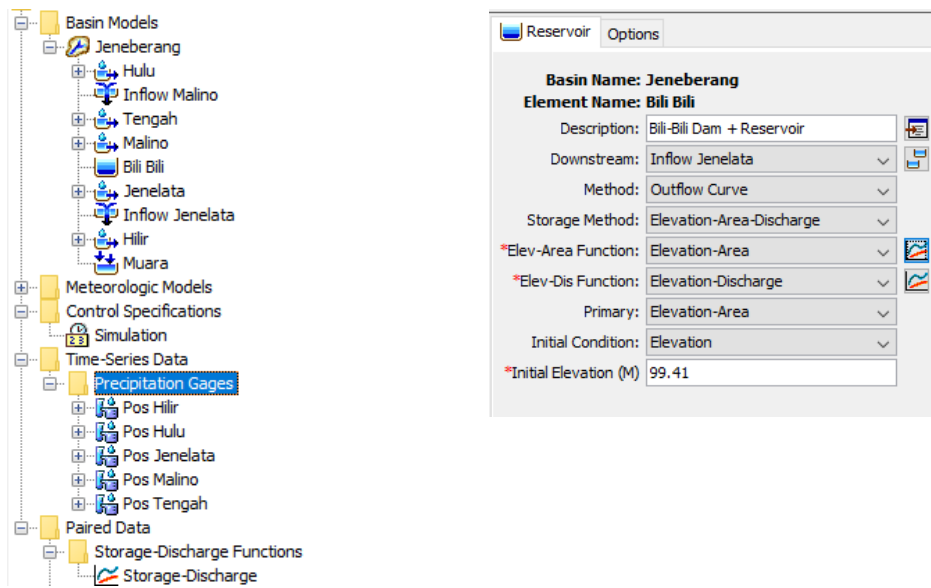
Total Runoff Volume : 30,530,579.57 m<sup>3</sup>  
 Max Runoff Volume : 17,846,861.99 m<sup>3</sup>  
 Max Runoff : 4,957.46 m<sup>3</sup>/s

Gambar 4-22 Hasil Perhitungan Data

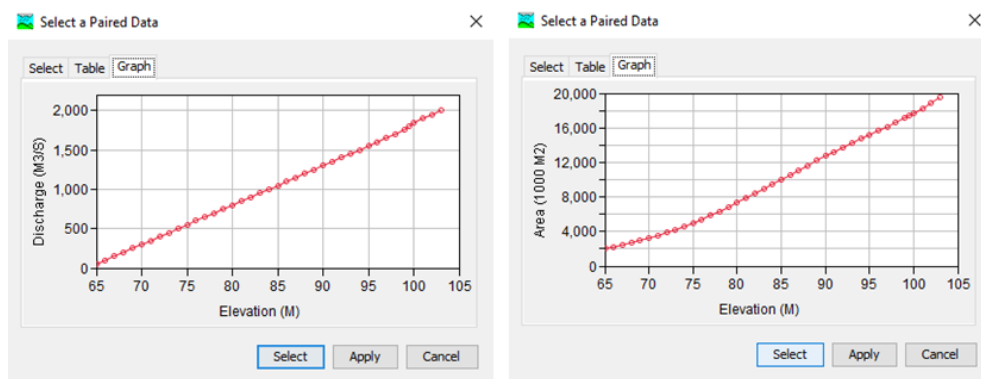
Pengujian model dilakukan dalam 2 tahap yaitu pengujian terhadap perhitungan aplikasi lain dengan variabel dan metode yang sama (HEC-HMS) dan pengujian terhadap pengamatan lapangan.

#### 4.2.5 Pengujian dan Kalibrasi

Pengujian tahap 1 adalah melakukan validasi perhitungan model menggunakan metode SCS, pengujian ini dilakukan dengan membandingkan nilai hasil perhitungan manual yang dilakukan oleh model dengan perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan HEC-HMS. Tujuan dari validasi ini adalah validasi metode perhitungan, data yang digunakan adalah kondisi data curah hujan pada tanggal 22 Januari 2019.



Gambar 4-23 Variabel dan Input Data HEC-HMS



Gambar 4-24 Input Variabel Curve HEC-HMS

Summary Results for Reservoir "Bili Bili"			
Project: RR_Kalibrasi		Simulation Run: Simulasi	
Reservoir: Bili Bili			
Start of Run:	22Jan2018, 00:00	Basin Model:	Jeneberang
End of Run:	22Jan2018, 05:00	Meteorologic Model:	Meteorologi
Compute Time:	08Jul2020, 17:33:27	Control Specifications:	Simulation
Volume Units: <input type="radio"/> MM <input checked="" type="radio"/> 1000 M3			
Computed Results			
Peak Inflow:	14192.2 (M3/S)	Date/Time of Peak Inflow:	22Jan2018, 01:00
Peak Discharge:	1986.2 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	22Jan2018, 05:00
Inflow Volume:	93089.8 (1000 M3)	Peak Storage:	366194.1 (1000 M3)
Discharge Volume:	33934.9 (1000 M3)	Peak Elevation:	102.7 (M)

Gambar 4-25 Hasil Simulasi HEC-HMS pada Bili-Bili

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Hulu	126.97	6779.4	22Jan2018, 02:00	43131.3
Inflow Malino	215.39	8353.1	22Jan2018, 02:00	54806.4
Tengah	169.60	5839.1	22Jan2018, 02:00	38283.4
Malino	88.42	1573.7	22Jan2018, 02:00	11675.1
Bili Bili	384.99	1982.0	22Jan2018, 05:00	33826.0
Jenelata	231.19	10191.2	22Jan2018, 02:00	66918.5
Inflow Jenelata	616.18	12047.2	22Jan2018, 02:00	100744.5
Hilir	165.56	1115.1	22Jan2018, 02:00	8900.7
Muara	781.74	13162.3	22Jan2018, 01:00	103267.6

Gambar 4-26 Hasil Simulasi HEC-HMS pada DAS Jeneberang

Kalibrasi metode perhitungan model menggunakan distribusi Mononobe dan hasil simulasi HEC-HMS menghasilkan perbedaan nilai. deviasi terbesar terjadi pada sub-DAS Jeneberang hilir dengan luas 165.56 km<sup>2</sup> sebesar 13.2%. deviasi terkecil berada di sub-DAS Hulu dengan perbedaan nilai 0.5%, untuk area sub-DAS seluas 88.42 km<sup>2</sup>. Pada perhitungan debit inflow Bili - Bili menghasilkan perbedaan volume sebesar 1,861,800 m<sup>3</sup> antara HEC-HMS dan perhitungan model. Pada kalibrasi ini didapatkan Standar Deviasi sebesar 288.07, RMSE sebesar 3.96.

Tabel 4-30 Hasil Perhitungan Limpasan dengan Hujan Distribusi - HEC-HMS

No	Hydrologic Element	Area (km <sup>2</sup> )	HEC-HMS	Model	Deviasi	%
			Volume (105 m <sup>3</sup> )	Volume (105 m <sup>3</sup> )		
1	Malino	88.42	116.75	127.23	10.48	9.0%
2	Hulu	126.97	431.31	433.39	2.08	0.5%
3	Tengah	169.60	382.83	388.56	5.73	1.5%
4	Jenelata	231.19	669.19	679.92	10.74	1.6%
5	Hilir	165.56	89.01	100.75	11.74	13.2%
6	Inflow Malino	215.39	548.06	560.63	12.56	2.3%
7	Bili-Bili	384.99	930.90	949.19	18.29	2.0%

Perhitungan limpasan total (tidak terdistribusi) juga dilakukan, pada perhitungan dihasilkan perbedaan nilai volume maksimum sebesar 6.3% pada area

Bili-Bili dengan nilai terhadap nilai perhitungan HEC-HMS. Pada kalibrasi ini didapatkan Standar Deviasi sebesar 296.64, RMSE sebesar 3.22. hasil ini lebih besar dibandingkan dengan perhitungan menggunakan metode distribusi Mononobe.

Tabel 4-31 Hasil Perhitungan Limpasan Hujan Harian - HEC-HMS

No	Hydrologic Element	Area (km <sup>2</sup> )	HEC-HMS	Model	Deviasi	%
			Volume (105 m <sup>3</sup> )	Volume (105 m <sup>3</sup> )		
1	Malino	88.42	116.75	125.26	8.51	7.3%
2	Hulu	126.97	431.31	457.44	26.12	6.1%
3	Tengah	169.60	382.83	406.74	23.90	6.2%
4	Jenelata	231.19	669.19	711.43	42.24	6.3%
5	Hilir	165.56	89.01	91.80	2.80	3.1%
6	Inflow Malino	215.39	548.06	582.70	34.63	6.3%
7	Bili-Bili	384.99	930.90	989.44	58.54	6.3%

Analisa terhadap perbedaan nilai dalam perhitungan pada debit limpasan terjadi karena pada perhitungan limpasan terdistribusi memperhitungkan nilai AMC. Sementara pada perhitungan harian yang juga menggunakan metode SCS tidak memperhitungkan nilai AMC.

Kalibrasi tahap ke 2 adalah kalibrasi antara nilai perhitungan limpasan hujan pada tanggal 22 Januari 2019 terhadap nilai observasi pada inflow bendungan

Tabel 4-32 Hasil Kalibrasi HEC-HMS dan Observasi

Observasi		HEC-HMS	
Inflow	TMA MAX	Inflow	TMA MAX
81,373,211	101.87	93,089,800	102.7

Hasil kalibrasi simulasi HEC-HMS dan observasi menghasilkan perbedaan volume limpasan sebesar 11,716,589 m<sup>3</sup>, 14% dari observasi. Sementara kalibrasi yang dilakukan terhadap perhitungan model untuk limpasan hujan pada tanggal 22 Januari 2019 terhadap nilai observasi total inflow bendungan mendapatkan nilai deviasi sebesar 2,890,190.839 m<sup>3</sup> total 4% dari observasi.

Tabel 4-33 Hasil Kalibrasi SCS-Harian dan Observasi

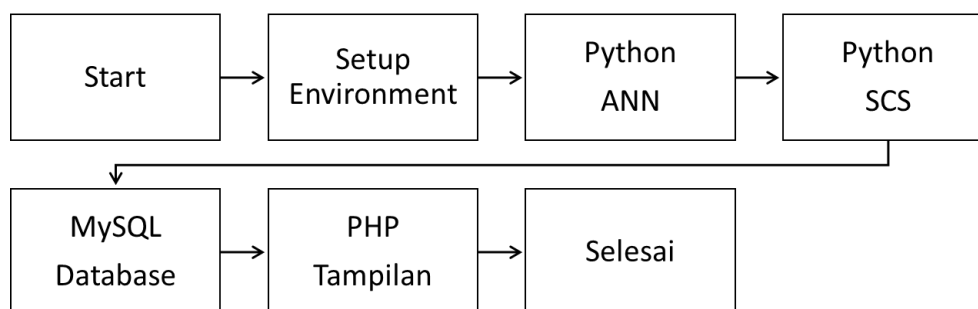
SCS Harian	Observasi	Deviasi	%
84,262,896.38	81,373,211	2,890,190.839	4%

Pengujian kinerja model yang dilakukan menghasilkan nilai deviasi untuk model - observasi sebesar 4%, dan HEC-HMS – observasi sebesar 14%.

#### 4.2.6 Implementasi

Tahap Implementasi dari pemodelan ini adalah tahap penggabungan seluruh model kedalam satu sistem sehingga dapat menghasilkan *output* berupa informasi. model ANN dan Limpasan dengan SCS adalah bagian dari sebuah sistem yang dapat melakukan eksekusi prediksi curah hujan, melakukan perhitungan limpasan dan melakukan analisa terhadap kondisi hari ini (H0) dan besok (H1) dapat diakses dengan lebih mudah melauai interface sederhana.

Prediksi Cuaca - Hujan, akan menggunakan ANN, *input* berupa Data prediksi kondisi cuaca global yang didapatkan dengan menggunakan API request Perhitungan Hujan – Limpasan menggunakan metode SCS untuk menghitung total limpasan dan distribusi Mononobe untuk memperkirakan debit maksimum. Alat bantu yang akan digunakan dalam pemodelan ini adalah bahasa program PHP sistem penyimpanan data akan menggunakan database MySQL. Pemilihan teknologi web akan mempermudah pada implementasi dan akses pada system



Gambar 4-27 Skema Implementasi Sistem

Langkah Implementasi yang dilakukan antara lain adalah:

1. Persiapan lingkungan sistem, antara lain instalasi perangkat lunak (software) pada komputer, pemasukan data variabel awal dan persiapan tabel penyimpanan data pada database,
2. Integrasi ANN Python – PHP untuk pengambilan data API dapat dieksekusi lebih mudah,
3. Data hasil perhitungan akan tersimpan dalam database, dimana selanjutnya data akan lebih mudah digunakan dalam perhitungan seperti melakukan prediksi curah hujan menggunakan model ANN. Perhitungan limpasan pada metode SCS antara lain perhitungan Retensi (S), Initial Abstraction (Ia), Tebal Aliran (Q) dan volume maximum yang berpotensi terjadi akibat hujan prediksi harian. Perhitungan distribusi juga dilakukan untuk melakukan estimasi debit maksimum per jam pada durasi 4 jam di setiap lokasi pengamatan,
4. Perhitungan hidraulika dilakukan menggunakan limpasan pada sub-DAS bagian hulu sebagai Inflow yang masuk ke waduk, dan menambah volume waduk dengan nilai kondisi tinggi muka air waduk saat itu,
5. Perhitungan akan menghasilkan ketinggian muka air waduk melalui konversi rating curve Volume – TMA,
6. Penambahan volume waduk ( $\Delta V$ ) di hitung sebagai selisih antara inflow limpasan ( $V_{in}$ ) – total outflow / discharge bendungan ( $V_{out}$ )
7. Pembuatan Interface sebagai sarana untuk menampilkan hasil perhitungan sehingga dapat diakses dengan lebih mudah.

Home **Prediksi** Peta Pengaturan Perhitungan

Prediksi Cuaca					Prediksi Debit			
No	No	Hujan (mm)	Debit Max (m3/s)	Total (m3)	No	Lokasi	Q (m3/h)	Q (m3/s)
1	Jeneberang Hulu	5.89	0.28	6,000.00	1	Malino Junction	0.56	2,000.00
2	Malino	3.54	0.28	6,000.00	2	Inlet Bendungan	0.83	3,000.00
3	Jeneberang Tengah	0.78	0.28	6,000.00	3	Jenelata	0.28	1,000.00
4	Jenelata	1.49	0.28	6,000.00	4	Kampili	387.48	1,394,920.00
5	Jeneberang Hilir	7.68	0.28	6,000.00	5	Hilir	387.76	1,395,920.00

Analisa & Rekomendasi		Rekomendasi Limpasan	
Kondisi	Nilai	Selisih Prediksi Volume Limpasan Max - Volume Efektif : -35,703,238.11 m3	
Total Volume Inflow Bendungan	3,000.00		
Total Volume Outflow Bendungan 6 Jam	8,363,520.00		
Estimasi Total Volume Tampunguan	310,296,761.89		
Potensi Perubahan Volume Tampunguan	-3,360,520.00		
Potensi Perubahan TMA Tampunguan	-0.50		
Volume Efektif	346,000,000.00		
Selisih Volume Efektif	-35,703,238.11		
Volume Kurang, Lakukan Peyesuaian Outflow			

Gambar 4-28 Informasi Prediksi Kondisi

Home **Prediksi** Peta Pengaturan Perhitungan Target

Kondisi Bendungan		Kondisi Spillway		Kondisi Cuaca	
Tinggi Muka Air (m)	99.50	Pelimpah I (m3/s)	200.00	Kelembapan Udara (%)	0.82
TMA - Banjir (m)	3.50	Estimasi Volume/Jam I (m3/h)	720,000.00	Tekanan Udara (mmHg)	1009.40
Total Volume (m3)	318,657,281.89	Pelimpah II (m3/s)	100.00	Temperatur (C)	30.09
Volume - Effective (m3)	27,342,718.11	Estimasi Volume/Jam II (m3/h)	360,000.00	Kecepatan Angin (km/jam)	1.71
Volume - Mati (m3)	289,657,281.89	Pelimpah III (m3/s)	42.40	Prediksi Hujan (mm)	0.92
Volume - Banjir (m3)	56,342,718.11	Estimasi Volume/Jam III (m3/h)	152,640.00	-	-
Area Genangan (Km2)	17.41	PLTA (m)	44.80	Limpasan Aman	
Kondisi Aman		Estimasi Volume/Jam PLTA (m3/h)	161,280.00		
		Total Debit/s (m3/s)	387.20		

Gambar 4-29 Informasi Kondisi Bendungan

Home **Prediksi** Peta **Pengaturan** Perhitungan

Update Data Cuaca			Lakukan Prediksi		
Data prediksi terakhir tanggal 31-07-2020. Data cuaca sid tanggal 05-06-2020. Update Data?			Data prediksi terakhir tanggal 31-07-2020. Lakukan Update Prediksi?		
<a href="#">Update Data</a>			<a href="#">Update Prediksi</a>		

Kondisi, Spesifikasi dan Variabel Bendungan				Kondisi, Spesifikasi dan Variabel Daerah Aliran			
No.	Item	Nilai	Edit	No.	Lokasi		Edit
1	Muka Air Waduk	99.50	Edit	1	Jeneberang Hulu		Edit
2	Debit Spillway #1	200.00	Edit	2	Malino		Edit
3	Debit Spillway #2	100.00	Edit	3	Jeneberang Tengah		Edit
4	Debit Spillway #3	100.00	Edit	4	Jenelata		Edit
5	Debit Control Gate	42.40	Edit	5	Jeneberang Hilir		Edit
6	Debit Hydropower	44.80	Edit				

Gambar 4-30 Pengaturan Variabel dan Pengambilan Data API



Tabel 4-34 Variabel Implementasi Sistem

Aplikasi	Python, PHP, MySQL, Web server Apache
Jumlah Lokasi	5
Koordinat	Hulu (-5.309, 119.864) Malino (-5.284, 119.847) Tengah (-5.298, 119.807) Jenelata (-5.222, 119.845) Hilir (-5.247, 119.854)
API request format	<a href="https://api.darksky.net/forecast/APIKEY/{LAT},{LON}?units=si">https://api.darksky.net/forecast/APIKEY/{LAT},{LON}?units=si</a>
Variable ANN	Waktu bulan kejadian, Temperature, Kelembapan, Tekanan udara, Kecepatan angin, Tutupan awan
Variabel SCS	Curve Number (CN), Retensi (S), Initial Abstraction (Ia), Volume (Q)
Variabel Hidraulika	Ketinggian Muka Air waduk (kondisi Banjir, Normal dan Rendah) Debit Aliran Spillway (#1, #2, #3) Debit Aliran Control Gate Debit Aliran Hydropower Luas genangan Vol Tampungan (Maksimum, Efektif, Mati)
Output	Kondisi Bendungan (H0 dan H+1) TMA, Volume, Luas Area Genangan (H0 dan H+1) Discharge (I II III), Control Gate dan PLTA Kondisi sub-DAS (H0 dan H+1) Hulu, Malino, Tengah, Jenelata, Hilir Temperatur, Kelembapan Udara, Tekanan Udara, Kecepatan Angin, Prediksi Hujan Limpasan Sub DAS, Total Inflow waduk, Estimasi TMA, Selisih TMA, Estimasi Volume Lama limpasan terhadap inflow Rekomendasi Limpasan

*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil analisa dan pembahasan pada penelitian Model Optimalisasi Pengelolaan Banjir Pada Bendungan Bili - Bili Menggunakan ANN didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan referensi, data dan analisa yang dilakukan pada bendungan Bili-Bili, beberapa potensi penyebabnya adalah topografi yang berbukit di bagian hulu, curah hujan dan ketidaksiapan pengelola dalam menghadapi potensi banjir. Tc hulu sebesar 5 jam dari hulu menuju bendungan merupakan potensi limpasan dengan volume tinggi dalam waktu singkat apabila terjadi hujan dengan intensitas tinggi, metode yang dapat digunakan adalah melalui prediksi sumber potensi banjir yaitu hujan kemudian melakukan analisa perhitungan volume limpasan maksimum sehingga dapat memaksimalkan waktu pengambilan keputusan dan tindakan,
2. Variabel yang diperlukan untuk melakukan mitigasi diperlukan nilai curah hujan, yang dapat diprediksi melalui kondisi klimatologi antara lain waktu/bulan kejadian, temperature, kelembapan, tekanan udara, kecepatan angin, dan tutupan awan. Sementara untuk pengambilan keputusan diperlukan data dan informasi kondisi ketinggian muka air waduk, estimasi volume, debit juga perhitungan waktu untuk melakukan limpasan.
3. Sistem data-driven menggunakan ANN dapat digunakan untuk melakukan prediksi hujan, perhitungan limpasan menggunakan metode SCS dapat digunakan dalam perhitungan debit limpasan, estimasi volume dan waktu yang diperlukan untuk melakukan limpasan. informasi ini akan membantu pengambilan keputusan, namun ketersediaan dan kualitas data akan sangat mempengaruhi model, juga kualitas *output* yang dihasilkan.
4. Artificial Neural Network (ANN) sebagai model prediksi hujan cukup baik untuk digunakan dalam prediksi curah hujan, hal ini berdasarkan pada nilai

pengujian dengan nilai RMSE 2.2 – 10.73 pada 5 lokasi pengamatan. Perhitungan hujan – limpasan menggunakan metode SCS juga menghasilkan perhitungan volume limpasan yang cukup akurat, volume limpasan yang didapatkan pada kalibrasi perhitungan model dan nilai observasi pada data tanggal 22 Januari 2019 menghasilkan deviasi volume limpasan sebesar 2,890,190.839 atau 4% dari volume observasi.

5. Pengujian implementasi model ANN dan SCS kedalam sebuah sistem dapat menghasilkan informasi dan data prediksi curah H+0 dan H+1 secara otomatis. algoritma ini dapat menghitung limpasan dan potensi volume total pada inflow bendungan, melakukan estimasi kondisi tinggi muka air, debit dan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan limpasan. Sistem dapat melakukan perhitungan dengan lebih cepat dan konsisten untuk proses mitigasi untuk Optimalisasi Pengelolaan Banjir Pada Bendungan Bili – Bili.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan tentang model Optimalisasi pengelolaan banjir pada bendungan Bili - Bili menggunakan ANN beberapa saran yang dapat di berikan antara lain adalah:

1. Dalam penelitian dengan metode data-driven kualitas dan ketersediaan data merupakan hal penting, penelitian ini dilakukan dengan keterbatasan jumlah data series, walaupun hasil yang didapatkan cukup baik, tetapi kemungkinan untuk dapat memaksimalkan potensi ANN memerlukan ketersediaan dan kualitas data yang lebih baik. Hal ini akan berpengaruh terhadap hasil dari proses training model.
2. Permasalahan yang terjadi pada proses penelitian ini adalah ketersediaan data series yang cukup baik, keterbatasan terhadap akses data dan teknologi alat instrumentasi dan pengukuran lapangan pada infrastruktur bendungan menyebabkan sistem belum dapat sepenuhnya berjalan secara otomatis. variabel dinamis seperti ketinggian muka air akan sangat berguna dalam perhitungan yang dilakukan.

3. Diharapkan pengembangan terhadap model ANN dapat dilanjutkan dalam bidang lain dengan jumlah dan kualitas data yang lebih baik sehingga dapat meningkatkan kinerja system.
4. Penelitian yang dilakukan ini merupakan bentuk awal mitigasi dalam usaha melakukan optimalisasi fungsi bendungan dalam pengelolaan banjir. Potensi pengembangan dari penelitian ini sangat luas dan dapat dikembangkan.

*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- Albon, C. (2018). *Machine Learning with Python Cookbook: Practical Solutions from Preprocessing to Deep Learning*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc.
- Aldrian, E. &. (2011). *Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim di Indonesia*. Jakarta: Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara, Deputi Bidang Klimatologi, Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Ansori, I. (2017). *Membumikan Konsepsi IWRM di Indonesia*. Jakarta: Mediatama Saptakarya.
- Arsyad, S. (2010). *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB PRESS.
- Asdak, C. (2014). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, cetakan ke-6*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Bartoletti, N, C. F.-L. (2018). Data-driven rainfall/runoff modelling based on a neuro-fuzzy inference system. *Environmental Modelling & Software*, 1-13.
- Beven, K. J. (2011). Rainfall-runoff modelling: the primer. In K. J. Beven, *Rainfall-runoff modelling: the primer* (p. 99). Oxford: John Wiley & Sons.
- BMKG. (2010). *Pola Iklim Kawasan di Indonesia*. Jakarta: BMKG.
- Brooks, D. R. (2017). *Programming in HTML and PHP*. Switzerland: Springer.
- Campolo, M. A. (2003). Artificial neural network approach to flood forecasting in the River Arno. *Hydrological Sciences Journal* 48, 381-398.
- Chow, V. (1988). *Applied Hydrology*. New York: Mc.Graw Hill Book Company.
- Deshpande, A. &. (2018). *Artificial Intelligence for Big Data: Complete Guide to Automating Big Data Solutions Using Artificial Intelligence Techniques*. . Birmingham: Packt Publishing Ltd.
- Fitria, I. (2012). *Analisis Erosi Lahan Pertanian Dan Parameter Ekonomi Menggunakan Metode Nail (Net Agricultural Income Less) Berbasis Sistem Informasi Geografis Di Hulu DAS Jeneberang*. Makassar: Universitas Hassanudin.

- Furundzic, D. (1998). Application example of neural networks for time series analysis, Rainfall–runoff modeling. *Signal Processing Volume 64, Issue 3*, 383-396.
- Grimaldi, S. P. (2012). Time of concentration: a paradox in modern. *Hydrological Sciences Journal*, 217-228.
- Haykin, S. (2009). *Neural Networks and Learning Machines 3rd Edition*. Ontario: Pearson Education, Inc.
- HEC-HMS Technical Reference. (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Technical Reference Manual*. Davis CA: Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers.
- Hirani, D. &. (2016). A survey on rainfall prediction techniques. *International Journal of Computer Application* 6(2), 28-42.
- Ideawati, L. F. (2015). Analisis Perubahan Bilangan Kurva Aliran Permukaan (Runoff Curve Number) Terhadap Debit Banjir Di DAS Lesti. *Jurnal Teknik Pengairan*, 6(1), 37-45.
- JICA. (1980). *Lower Jenerberang River Flood Control Project*. Jakarta: Japan International Cooperation Agency.
- JICA. (2005). *The Study on Capacity Development for Jeneberang River Basin Management*. Jakarta: Japan International Cooperation Agency.
- Jing Tao, A. P. (2013). Prospects for flash flood forecasting in mountainous regions – An investigation of Tropical Storm Fay in the Southern Appalachians. *Journal of Hydrology. Vol 506*, 69-89.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (1995). *Bendungan Besar di Indonesia*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2015). *Pola Pengelolaan Wilayah Sungai Jeneberang*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- KepPres 12/2012. (2012). *Penetapan Wilayah Sungai*. Jakarta: Presiden Republik Indonesia.
- Krasnopolsky, V. M. (2013). *The Application of Neural Networks in the Earth System Sciences, Neural Networks Emulations for Complex Multidimensional Mappings*. Dordrecht: Springer.



- Massé, M. (2012). *REST API Design Rulebook*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc.
- Moolayil, J. (2019). *Learn Keras for Deep Neural Networks, A Fast-Track Approach to Modern Deep Learning with Python*. Berkeley, CA: Apress.
- Morgan, P. (2018). *Data Analysis From Scratch With Python: Beginner Guide using Python, Pandas, NumPy, Scikit-Learn, IPython, TensorFlow and Matplotlib*. AI Sciences LLC.
- Nielsen, M. A. (2018). *Neural networks and deep learning*. San Francisco: Determination press.
- NRCS. (2004). *National Engineering Handbook: Part 630 - Hydrology*. Soil Conservation Service: Washington, DC, USA.: USDA .
- PP 37/2010. (2010). *Bendungan*. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- Rahmani N, R. S. (2016). Transformasi Hujan Harian Ke Hujan Jam-Jaman Menggunakan Metode Mononobe Dan Pengalihragaman Hujan Aliran (Studi Kasus di DAS Tirtomoyo). *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 176 - 185.
- Sharma, A. B. (2014). Adaptive Predicting of Weather Forecasting. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET)*, 297.
- Someya, K. (2018). Collaborative and Adaptive Dam Operation for Flood Control. *Journal of Disaster Research Vol.13*, 660-667.
- Suharyanto, A. (2016). Prediction of Flood Area Based on the Occurrence of Rainfall Intensity. *GMSARN International Journal 10*, 129 - 136 .
- Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi.
- Suyono, S. T. (1987). *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Toth, E. (2009). Classification of hydro-meteorological conditions and multiple artificial neural networks for streamflow forecasting. *Hydrology and Earth System Sciences*, 1555.
- UU 17/2019. (2019). *Sumber Daya Air*. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- UU 24/2007. (2007). *Penanggulangan Bencana*. Jakarta: Republik Indonesia.
- UU 4/2011. (2011). *Informasi Geospasial*. Jakarta: Negara Kesatuan Republik Indonesia.

- Valade, J. B. (2008). *PHP and MySQL Web Development All in One Desk Reference For Dummies*. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc.
- Yamamoto, A. M. (2011). Study on rational control model for excess flood by utilizing rainfall prediction. *Dams and Reservoirs under Changing Challenges* (pp. 517-523). London: Taylor & Francis Group.
- Zhang, L. (2016). *Dam failure mechanisms and risk assessment*. Singapore: John Wiley & Sons.

## BIODATA PENULIS



### **Oscar**

Penulis lahir di Jakarta pada 24 Maret tahun 1982, sebagai anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan dasar di tamatkan pada tahun 1996 di SMPN 01 Martapura, Sumatera Selatan, kemudian di lanjutkan di SMAN 14 Jakarta tahun 1996-1999. Pendidikan Strata 1 (S1) ditempuh di Fakultas Teknologi Industri, jurusan Informatika, Universitas Gunadarma, Jakarta tahun 1999-2003.

Saat ini penulis bekerja sebagai Pegawai Negeri Sipil (PNS) pada Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat (PUPR). Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. Yang kemudian pada tahun 2018 di tugaskan untuk menempuh pendidikan Strata 2 (S2) oleh Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia (BPSDM) PUPR di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) bidang studi Hidroinformatika, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan dengan NRP 03111850097005 masa studi tahun 2018-2020. Korespondensi dapat dilakukan melalui alamat email [oscar.gessang@gmail.com](mailto:oscar.gessang@gmail.com)