

SKRIPSI

STUDI PERENCANAAN TAMPUNGAN WADUK BENDUNGAN

PONRE- PONRE KABUPATEN BONE



NURFAUSIAH MAJID

GUSMIARNI

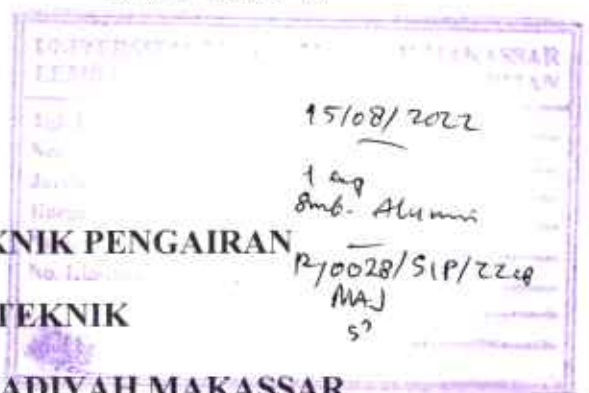
105 81 11161 17

105 81 11175 17

PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR



2022



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website : www.unismuh.ac.id, e-mail : unismuh@gmail.com

Website : <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Nurfausiah Majid** dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 11161 17 dan **Gusmiarni** dengan nomor induk mahasiswa 105 81 11175 17, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 429/05/A.4-II/V/43/2022, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu tanggal 04 Juni 2022

Panitia Ujian :

Makassar, 04 Zulkaidah 1443 H
04 Juni 2022 M

1. Pengawas Umum

- a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar
Prof. Dr. H. Ambo Asse, M.Ag
- b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, ST., MT

2. Penguji :

- a. Ketua : Dr. Ir. Hj. Sukmasari Antaria, M.Sc
- b. Sekretaris : Dr. Fithriyah Arief Wangsa, ST., MT

3. Anggota : 1. Dr. Ir. Nenny T Karim, ST., MT., IPM

2. Ir. Hamzah Al Imran, ST., MT., IPM

3. Muh Amir Zainuddin, ST., MT., IPM

Mengetahui:

Pembimbing I

Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, ST., MT., IPM

Pembimbing II

Fausiah Latif, ST., MT



Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. H. Nurpawaty, ST., MT., IPM

NBM : 759 108



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Aiauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website : www.unismuh.ac.id, e-mail : unismuh@gmail.com

Website : <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas akhir ini di ajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **STUDI PERENCANAAN TAMPUNGAN WADUK BENDUNGAN PONRE-PONRE KABUPATEN BONE**

Nama : **NURFAUSIAH MAJID**
GUSMIARNI

No. Stambuk : **105 81 11161 17**
105 81 11175 17

Makassar, 4 Juni 2022

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. H.Abd Rakhim Nanda,MT.,IPM

Fausiah Latif, ST., MT

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Pengairan

M.Agusalim, ST., MT
NBM :947 993

Studi Perencanaan Tampungan Waduk Bendungan Ponre-Ponre Kabupaten Bone

Gusmiarni¹ | Nurfausiah Majid² | Abd.Rakhim Nanda³ | Fausiah Latif⁴

Pengairan, Fakultas Teknik,
as Muhammadiyah Makassar,
A. gusmiarni98@gmail.com
Pengairan, Fakultas Teknik,
as Muhammadiyah Makassar,
h211299@gmail.com
Pengairan, Fakultas Teknik,
as Muhammadiyah Makassar,
- rahimnanda@yahoo.co.id
Pengairan, Fakultas Teknik,
as Muhammadiyah Makassar,
- fauziahlatif574@gmail.com

ABSTRAK : Waduk merupakan salah satu alternatif yang bisa digunakan untuk menunjang irigasi. Salah satu daerah yang memanfaatkan waduk adalah kabupaten Bone. Waduk Ponre-Ponre merupakan salah satu waduk yang berada di Kabupaten Bone. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk melakukan pengamatan data yang diduga menjadi penyebab sebagai pembanding guna mengetahui, memahami dan menganalisis secara intensif latar belakang keadaan sekarang dan interaksi lingkungan suatu objek. Penelitian ini menggunakan analisa hidrologi seperti curah hujan wilayah, curah hujan rencana, uji kesesuaian, dan debit banjir rencana. Hasil dari penelitian volume tampungan, dimana volume tampungan mati adalah 2575,50 m³, volume tampungan efektif pada elevasi muka air normal +205,65 m dengan volume tampungan 14.515.432,28 m³, analisa tampungan banjir berada pada elevasi +214,94 m dengan volume tampungan 31.562.609,27 m³.

Kata kunci: Analisa hidrologi, tampungan waduk, waduk Ponre-Ponre.

ABSTRACT : Reservoir is one alternative that can be used to support irrigation. One of the areas that utilize the reservoir is Bone regency. Ponre-Ponre reservoir is one of the reservoirs located in Bone. Reservoir according to the general sense is a place on the surface of the ground that is intended to store / accommodate water when there is an excess of water / rainy season, then the abundant water is used for agricultural purposes and various other purposes during the dry season. The research was conducted with the aim of observing the data suspected to be the cause as a comparison in order to know understand and analyze intensively the background of the current state and environmental interactions of a unit object. This research uses hydrological analysis such as regional rainfall analysis, planned rainfall, suitability test and planned flood discharge. The results of the analysis of the reservoir volume research where the dead storage volume is 2575.50 m³, the effective storage volume at a normal water level elevation is +205.65 m with a storage volume of 14.515.432.28 m³, the flood storage analysis is at an elevation of +214.94 m with a storage volume of 31.562.609.27 m³.

Keywords: hydrological analysis, reservoir basi, Ponre-Ponre reservoir.

ensi :

gusmiarni98@gmail.com

KATA PENGANTAR



Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nyalah sehingga dapat menyusun tugas akhir ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka menyelesaikan program studi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir kami adalah **“Studi Perencanaan Tampungan Waduk Bendungan Ponre-Ponre Kabupaten Bone”**. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa didalam penulisan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan-kekurangan, hal ini disebabkan karena penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan baik itu ditinjau dari segi teknis penulisan maupun dari perhitungan-perhitungan. Oleh karena itu, penulis menerima dengan sangat ikhlas dan juga dengan sangat senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Tugas akhir ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan

segala kerendahan hati penulis ucapkan terimakasih kepada :

1. Prof. Dr. H. Ambo Asse, M.Ag. sebagai Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Ibu Dr. Ir. Hj. Nurnawaty, ST., MT., IPM. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak Ir. M. Agusalm, ST., MT. sebagai Ketua Prodi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Dr. H. Abd. Rakhim Nanda, ST., MT, IPM selaku Pembimbing I dan Ibu Fausiah Latif, ST., MT selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktu dalam membimbing kami.
5. Bapak dan Ibu dosen serta para staf pegawai di Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
6. Bapak, Mama dan Saudara yang tercinta terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala kasih sayang, dukungan, nasehat, doa serta pengorbanan mampu memotivasi kami untuk maju dan bersemangat dalam menyelesaikan kuliah kami.
7. Anggota Penelitian Team Bendungan, Uci, Erni, Riska, Hikmah, Alim, Anto, Taufik, Anca, Ali dan Acos, atas *support*, bantuan

dan kerja samanya hingga hasil penelitian sebagai tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

8. Sahabat Erni, Uci, Alma, Ina Dan Putri yang banyak menghibur di saat kesusahan memberi dorongan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi, serta rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik terkhusus angkatan AKURASI 2017.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan Seminar Hasil tugas akhir yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara. Amin.

"Billahi Fii Sabill Haq Fastabiqul Khaerat"

Makassar, Agustus 2022

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
DAFTAR NOTASI SINGKATAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Tujuan Penelitian.....	2
D. Manfaat Penelitian.....	2
E. Batasan Penelitian.....	2
F. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. Bendungan	5
1. Pengertian Bendungan	5
2. Klasifikasi Bendungan	5
B. Analisis Hidrologi.....	8
1. Analisis Curah Hujan Wilayah	9
2. Analisis Curah Hujan Rencana.....	11
3. Analisis Uji Kesesuaian	14

C. Debit Banjir Rencana	16
D. Debit Andalan	17
E. Analisa sedimen	24
F. Waduk	33
G. Kapasitas Waduk	35
H. Usia Guna Waduk	42
I. Operasi Waduk	44
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	47
A. Lokasi Penelitian	47
B. Jenis Penelitian dan Sumber Data	49
C. Variabel Penelitian	50
1. Variabel Penelitian	50
2. Definisi Operasional Variabel	50
D. Teknik Analisa Data	51
E. Prosedur Penelitian	51
F. Bagan Alir	53
BAB IV PEMBAHASAN	54
A. Analisa Hidrologi	54
1. Analisa Curah Hujan Wilayah	54
2. Analisa Curah Hujan Rencana	55
3. Uji Kesesuaian Distribusi Chi Square	57
4. Analisa Debit Banjir Rancangan	59

5. Analisis Ketersediaan Air Irigasi dengan Metode F.J. Mock	69
6. Debit Andalan	77
7. Analisa Sedimen	79
B. Waduk	83
1. Analisa Tampungang Mati	89
2. Analisa Tampungang efektif	99
3. Analisa Tampungang Banjir	102
C. Penelusuran Banjir (<i>Flood Roating</i>)	102
D. Perhitungan Usia guna waduk	105
E. Operasi Waduk	106
BAB V PENUTUP	110
A. Kesimpulan	110
B. Saran	111
DAFTAR PUSTAKA	112

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Klasifikasi Umum Bendungan Urugan	8
Gambar 2 Siklus Hidrologi	9
Gambar 3 Idealisasi masalah kapasitas dan kemampuan waduk.....	34
Gambar 4 Lay out dari waduk (Soedibyo, 1993).....	36
Gambar 5 Penampang memanjang waduk (Soedibyo, 1993).	36
Gambar 6 Grafik hubungan antara elevasi, luas & volume waduk.....	38
Gambar 7 Pembagian daerah (<i>zone</i>) tampungan pada waduk.....	40
Gambar 8 Peta Lokasi Penelitian dan Stasiun Curah Hujan.....	47
Gambar 9 Peta Aliran Daerah Sungai Ponre-Ponre.....	48
Gambar 10 Grafik Hidrograf Banjir Metode HSS Nakayasu.....	64
Gambar 11 Grafik Rekapitulasi Hidrograf Banjir Metode HSS Nakayasu	66
Gambar 12 Grafik Debit Andalan dengan Curah Hujan	78
Gambar 13 Penampang Memanjang Waduk	87
Gambar 14 Grafik Hubungan Antara Elevasi, Luas Dan Volume Waduk Muka Air Normal.....	100

Gambar 15 Grafik Hubungan Elevasi, Luas Genangan dan Volume Genangan Tampungan Banjir	102
Gambar 16 Grafik hubungan antara inflow (I) dan outflow (D)	105
Gambar 17 Debit Inflow 15 Harian Hubungan Antara Q Inflow dan Periode Bulanan	107
Gambar 18 Debit Akumulasi Inflow 15 Harian Hubungan Antara Q Inflow Dan Periode Bulanan	107
Gambar 19 simulasi Operasi Waduk Hubungan antara Tampungan Waduk dan Periode Bulanan	109



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Nilai Kritis untuk distribusi Chi-Square (Soewarno, 1995)	15
Tabel 2 Nilai M untuk beberapa klas tekstur tanah	27
Tabel 3 Nilai M untuk beberapa klas tekstur tanah	27
Tabel 4 Berat jenis tanah	28
Tabel 5 Nilai faktor CP berbagai jenis penggunaan lahan	31
Tabel 6 Rekapitulasi Hujan Maksimum Harian Rata-rata Metode Aljabar	54
Tabel 7 Analisa Curah Hujan Rencana dengan Metode Log Pearson Type III	56
Tabel 8 Rekapitulasi Analisis Curah Hujan Rencana untuk Periode Ulang	57
Tabel 9 uji Chi – Square untuk Log Person Type II	58
Tabel 10 Rekapitulasi Perhitungan Curah Hujan Efektif	60
Tabel 11 Ordinat Hidrograf Satuan Sintetik dengan Metode Nakayasu	62
Tabel 12 Rekapitulasi Debit Banjir Rencana Metode HSS Nakayasu	67
Tabel 13 Perhitungan Evaporasi Potensial (ETO) Metode Penman Modifikasi Bulan Juli – Desember	72

Tabel 14 Rekap Hitungan Debit Aliran Sungai walannae-cenranae	76
Tabel 15 Debit Andalan Curah Hujan Bulan Oktober – Maret	77
Tabel 16 Debit Andalan Curah Hujan Bulan April – September	78
Tabel 17 Perhitungan indeks erosivitas hujan (EI30) pada stasiun camming	79
Tabel 18 Perhitungan indeks erosivitas hujan (EI30) pada stasiun maradda.....	80
Tabel 19 Perhitungan erosivitas hujan (EI30) pada stasiun Bancee	80
Tabel 20 elevasi, beda tinggi, dan luas area	83
Tabel 21 Perhitungan Volume Tampungan Waduk.....	88
Tabel 22 Analisa Tampungan Mati	89
Tabel 23 Hubungan elevasi, Luas Genangan dan Volume Genangan Waduk	99
Tabel 24 Analisa Tampungan Efektif waduk.....	101
Tabel 25 Penelusuran banjir	104
Tabel 26 Debit Inflow 15 Harian ($m^3/detik.hari$)	106
Tabel 27 Simulasi Operasi Waduk Bendungan Ponre-Ponre.....	108

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 HSS Nakayasu
- Lampiran 2 Tabel Penman I Hubungan Suhu (t) Dengan $E\gamma$, w , dan $f(t)$
- Lampiran 3 Tabel Penman Nilai Angka Koefisien Bulanan (C) untuk Rumusan Penman
- Lampiran 4 Besaran Nilai Angot (R_a) dalam Evaporasi Ekvivalen Dalam Hubungannya dengan Letak Lintang (mm/hari) (untuk daerah Indonesia, antara 50 LU sampai 100 LS)
- Lampiran 5 Simulasi Mock
- Lampiran 6 Data Klimatologi
- Lampiran 7 Jumlah hujan setengah bulanan
- Lampiran 8 Curah Hujan Dengan Probabilitas 80%

DAFTAR NOTASI SINGKATAN



DAS	= Daerah Aliran Sungai
CH	= Curah Hujan
$\bar{X}$	= Rerata hujan tahunan
$\sum X_i$	= Total hujan tahunan
n	= Jumlah data
Sk	= Standar Kumulatif
Q	= Debit
R	= Curah hujan rata-rata wilayah
R _n	= Curah hujan pada stasiun n
R _e	= Curah Hujan Efektif
E _a	= Evapotranspirasi actual (mm/hari)
E _t	= Evapotranspirasi terbatas (mm/hari)
E _{to}	= Evaporasi potensial metode Penman (mm/hari)
M	= Persentasi lahan yang tidak tertutup tanaman
W	= Faktor yang berhubungan dengan suhu dan elevasi daerah
R _s	= Radiasi gelombang pendek (mm/hari)
R _γ	= Radiasi gelombang pendek
R _{n1}	= Radiasi bersih gelombang panjang (mm/hari),
f(t)	= Fungsi suhu
f(εd)	= Fungsi tekanan uap

ε_d	= Tekanan uap yang sebenarnya
ε_γ	= Tekanan uap jenuh
$f(\frac{p}{N})$	= Fungsi kecerahan matahari
$f(U)$	= Fungsi kecepatan angin pada ketinggian 2.00
RH	= Kelembaban relative (%)
C	= Angka koreksi
ΔS	= Keseimbangan air dipermukaan tanah
WS	= Water surplus
D	= Devisit
I	= Infiltrasi
V_n	= Volume simpanan air tanah periode n (m^3)
K	= Faktor resensi aliran tanah
q_t	= Aliran tanah pada waktu awal t
q_o	= Aliran tanah pada awal
BF	= Aliran dasar ($m^3/dtk/km$)
ΔV_n	= Perubahan volume aliran tanah (m^3)
Dro	= Limpasan langsung (mm)

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bendungan merupakan bangunan dam yang didesain untuk menampung volume air yang dapat dimanfaatkan untuk penanggulangan banjir, air irigasi, tempat wisata dan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dan kebutuhan lainnya, oleh penduduk disuatu wilayah.

Bendungan Ponre-Ponre yang dibangun pada tahun 2006 bertipe Concrete Face Rockfill Dam yang terletak di Kabupaten Bone dengan kapasitas Elevasi muka air normal berdasarkan pada +216,00 dengan volume 32,219,650 m³ dan luas genangan sebesar 185,32 ha, sedangkan tampungan mati berada pada elevasi +194,00 dengan volume tampungan mati sebesar 4.304.200 m³, dengan demikian volume tampungan efektif 29.523.850 m³.

Berdasarkan kegiatan operasi dan pemeliharaan Bendungan Ponre-Ponre pada tahun 2020 dan 2021, terjadi limpasan pada bagian hilir bendungan sebelum mencapai keadaan debit puncak sehingga dilakukan peninjauan terhadap kapasitas tampungan waduk. Volume sedimen yang mengendap pada tiap-tiap elevasi ditandai dengan berkurangnya luas permukaan elevasi dan volume tampungannya. Dan diketahui waduk ponre-ponre mengalami peningkatan sedimen disetiap tahunnya. Pada masa

pengoprasian waduk akan mengalami perubahan / berkurang seiring dengan sedimentasi yang terjadi di dasar waduk. Kenaikan persentasi sedimen ini mengakibatkan daya tampung waduk tidak efektif dan dibangun sedimen sepanjang sungai yang tiap waktu meningkat pesat sehingga menimbulkan pendangkalan waduk dan berpengaruh terhadap kapasitas waduk serta umur layanan waduk. Sehingga fungsi utama sebagai penunjang kebutuhan irigasi untuk daerah Kecamatan Libureng dan sekitarnya dapat terpenuhi.

Berdasarkan permasalahan di atas, kami akan melakukan penelitian dengan judul **“STUDI PERENCANAAN TAMPUNGAN WADUK BENDUNGAN PONRE-PONRE KABUPATEN BONE”**.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Berapa kapasitas volume tampungan waduk ?
2. Berapa volume tampungan mati, efektif dan banjir yang masuk pada waduk ?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk menganalisis kapasitas volume tampungan waduk.
2. Untuk menganalisis volume tampungan mati, efektif, dan banjir yang masuk pada waduk.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini, yaitu:

1. Agar mengetahui kapasitas volume tampungan waduk
2. Agar mengetahui volume tampungan mati, efektif, dan banjir waduk

E. Batasan Penelitian

Agar memudahkan dalam memberikan penjelasan permasalahan maka diberikan batasan penelitian pada penulisan tugas akhir ini, yaitu :

1. Penelitian ini dilakukan di Bendungan Ponre - Ponre Kabupaten Bone.
2. Data curah hujan yang digunakan 3 stasiun, yaitu Stasiun Bancee, Stasiun Camming, Stasiun Maradda
3. Data curah hujan yang digunakan adalah data efektif 20 tahun terakhir

F. Sistematika Penulisan

Secara umum sistematika penulisan proposal ini dapat diuraikan sebagai berikut ;

BAB I PENDAHULUAN, berisi tentang penjelasan umum mengenai materi pembahasan yaitu latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II KAJIAN PUSTAKA, berisi tentang teori-teori yang bersumber dari berbagai literatur yang berhubungan dengan permasalahan yang akan diteliti dalam penelitian ini, meliputi teori tentang curah hujan, debit banjir, kapasitas tampungan dan waduk pada bendungan Ponre-Ponre.

BAB III METODE PENELITIAN, berisi tentang metode penelitian yang terdiri atas lokasi dan waktu penelitian, jenis penelitian dan sumber data, prosedur penelitian, variabel penelitian, analisis data, dan bagan alur penelitian (*flow chart*).



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Bendungan

1. Pengertian Bendungan

Bendungan merupakan bangunan penahan/buatan yang terbuat dari urugan atau beton sehingga dapat menampung air baik secara alamiah maupun buatan. Bendungan urugan terdiri dari bendungan urugan serba sama (*homogenous*), bendungan urugan batu dengan lapisan kedap air di dalam tubuh bendungan (*claycore rockfill dam, zone dam*) dan bendung.

Bendungan urugan batu dengan lapisan kedap air di muka (*concrete face rockfill dam*) (Andrijanto dan Wulan Pamungkas, 2011). Air yang ditampung akibat dibangunnya bendungan biasanya digunakan untuk irigasi, pasok air baku untuk air minum, industri dan perkotaan, perikanan serta pembangkitan listrik. Manfaat lain bendungan adalah untuk pengendalian banjir dan pariwisata.

Disamping untuk menampung air, bendungan juga dibangun untuk menampung material lain, seperti buangan/limbah pertambangan dan lahan ingin. Bendungan untuk menahan lahar dingin disebut juga bendungan sabo (*sabo dam*).

2. Klasifikasi Bendungan

a. Klasifikasi Bendungan Type Urugan

Sehubungan dengan fungsinya sebagai pengempang air atau pengangkat permukaan air di dalam suatu waduk, maka secara garis besarnya tubuh bendungan merupakan penahan rembesan air ke arah hilir serta penyangga tondolan air tersebut. Ditinjau dari penempatan serta susunan bahan yang membentuk tubuh bendungan untuk dapat memenuhi fungsinya dengan baik, maka bendungan urugan dapat digolongkan dalam 3 type utama yaitu:

1). Bendungan urugan homogen (bendungan homogen)

Suatu bendungan urugan digolongkan dalam type homogen, apabila bahan yang membentuk tubuh bendungan tersebut terdiri dari tanah yang hampir sejenis dan gradasinya (susunan ukuran butirnya) hampir seragam. Tubuh bendungan secara keseluruhannya berfungsi ganda, yaitu sebagai bangunan penyangga dan sekaligus sebagai penahan rembesan air.

2). Bendungan urugan zonal (bendungan zonal)

Bendungan urugan digolongkan dalam type zonal, apabila timbunan yang membentuk tubuh bendungan terdiri dari batuan dengan gradasi (susunan ukuran butiran) yang berbeda-beda dalam urutan -urutan pelapisan tertentu. Pada bendungan type ini sebagai penyangga terutama dibebankan kepada timbunan yang kedap air (zone kedap air).

Berdasarkan letak dan kedudukan dari zone kedap airnya, maka type ini masih dapat dibedakan menjadi 3 yaitu:

- a) Bendungan urugan zonal dengan tirai kedap air atau “bendungan tirai” (*front core fill type dam*), ialah bendungan zonal dengan zone kedap air yang membentuk lereng udik bendungan tersebut.
 - b) Bendungan urugan zonal dengan inti kedap air miring atau “bendungan inti miring” (*inclined-core fill type dam*), ialah bendungan zonal yang zone kedap airnya terletak di dalam tubuh bendungan dan berkedudukan miring ke arah hilir.
 - c) Bendungan urugan zonal dengan inti kedap air tegak atau “bendungan inti tegak” (*central-core fill type dam*), ialah bendungan zonal yang zone kedap airnya terletak di bidang tengah dari tubuh bendungan.
- 3). Bendungan urugan bersekat (bendungan sekat).

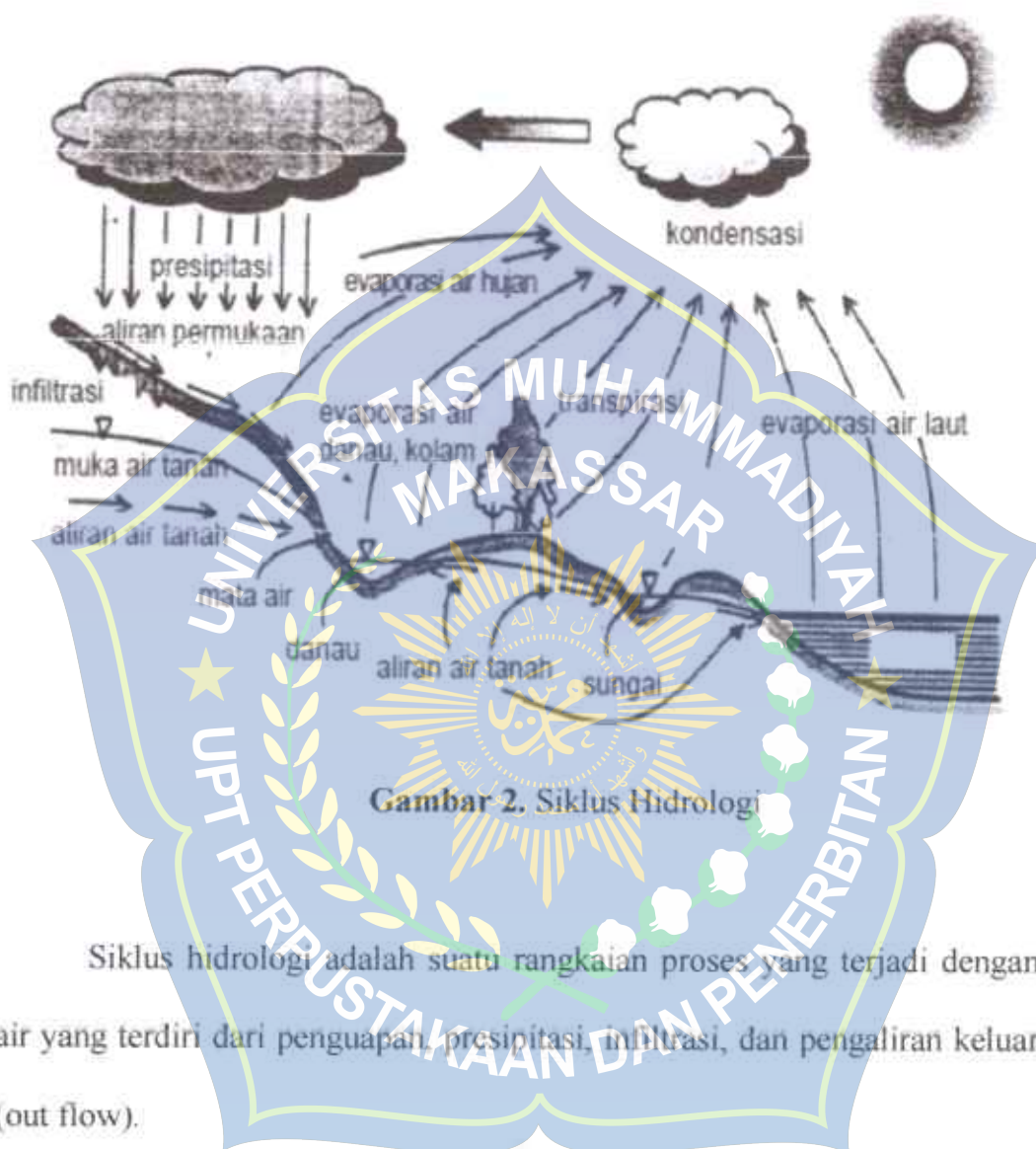
Bendungan urugan digolongkan dalam type sekat (*facing*), apabila di lereng udik tubuh bendungan dilapisi dengan sekat tidak lulus air (dengan kekedapan yang tinggi) seperti lembaran baja tahan karat, beton aspal, lembaran beton bertulang, hamparan plastic, susunan beton blok, dan lain-lain. Untuk lebih jelasnya terkait dengan klasifikasi bendungan urugan dapat dilihat pada gambar 1 (dari buku “*Bendungan Type Urugan karya Dr. Suyono Sasrodarsono* hl.12)

Type	Skema umum	Keterangan
Bendungan urugan homogen		Apabila 80% dari seluruh bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang bergradasi sama dan bersifat kedap air.
Bendungan urugan Zonal		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, tetapi dilengkapi dengan tirai kedap air di udiknya.
Inti miring		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan miring ke hilir.
Inti vertikal		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan vertikal.
Bendungan urugan batu dengan membran		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, tetapi dilengkapi dengan membran kedap air di lereng udiknya, yang biasanya terbuat dari lembaran baja tahan karat, lembaran beton bertulang, aspal beton, lembaran plastik, dan lain-lainnya.

Gambar 1. Klasifikasi Umum Bendungan Urugan.

B. Analisis Hidrologi

Secara umum hidrologi adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang kehadiran dan gerakan air di alam. Secara khusus hidrologi didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari sistem kejadian air di atas permukaan dan di dalam tanah seperti yang dapat dilihat pada gambar di bawah.



Siklus hidrologi adalah suatu rangkaian proses yang terjadi dengan air yang terdiri dari penguapan, presipitasi, infiltrasi, dan pengaliran keluar (out flow).

1. Analisis Curah Hujan Wilayah

Curah hujan wilayah atau curah hujan daerah adalah curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pengendalian banjir yang merupakan curah hujan rata-rata diseluruh daerah yang bersangkutan, yang dinyatakan dalam satuan millimeter (Sosrodarsono, 1983:27). Dalam analisa hidrologi, menentukan curah hujan rerata daerah dapat dilakukan dengan tiga metode yaitu, metode rerata eritmatika (aljabar),

metode polygon thiessen, dan metode isohyet (Bambang Triatmodjo, 2006).

a. Metode Rata - Rata Aritmatik (Aljabar)

Metode ini merupakan metode yang paling sederhana yaitu hanya dengan membagi rata semua tinggi hujan pada masing-masing stasiun hujan dengan jumlah stasiun yang digunakan.

Untuk menentukan hujan rerata pada suatu daerah digunakan metode - metode khusus karena stasiun pencatat hujan hanya memberikan kedalaman hujan dititik stasiun tersebut berada. Metode yang digunakan dipilih dengan mempertimbangkan hal - hal berikut:

- Apabila stasiun pencatat hujan berjarak kurang dari 10 km dari lokasi maka data hujan pada stasiun tersebut dapat digunakan dalam perhitungan.
- Apabila tidak ada stasiun pencatat hujan dengan jarak kurang dari 10 km, maka digunakan stasiun pencatat hujan dengan jarak 10-20 km dengan syarat minimal 2 stasiun pencatat hujan. Dalam kasus ini, hujan rerata kawasan dapat dicari dengan metode Aritmatik (Aljabar). Dengan rumus sebagai berikut :

$$R = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_n}{n}$$

$$R = \frac{1}{n} . \Sigma (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_n) \dots \dots \dots (1)$$

Dengan :

R = Curah hujan rata - rata wilayah

R_n = Curah hujan pada stasiun n

n = Jumlah stasiun penakar hujan

2. Analisis Curah Hujan Rencana

Penentuan curah hujan harian maksimum ini digunakan dalam perhitungan curah hujan rencana dengan analisis frekuensi untuk perhitungan debit banjir dengan kala ulang. Curah hujan harian maksimum rerata daerah mengacu pada curah hujan harian maksimum stasiun terpilih atau yang mewakili pada daerah aliran sungai tersebut.

Untuk menganalisa curah hujan rencana data hidrologi yang ada dari suatu kejadian, terdiri dari beberapa teori yang mengemukakan persamaan distribusi curah hujan rencana dalam perencanaan teknis diantaranya:

A. Distribusi Gumbel

Metode Gumbel menggunakan teori harga ekstrim untuk menunjukkan bahwa deret harga-harga ekstrim $X_1, X_2, \dots, X_n$, dimana sampel-sampelnya sama besar dan X merupakan variabel berdistribusi eksponensial. Rumus perhitungan yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

$$X = X + S_x (0.78y - 0.45) \dots \dots \dots (2)$$

$$S_x = \sqrt{\sum \frac{(X_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \dots \dots \dots (3)$$

$$Y_t = -\ln\left[-\ln\frac{T_r-1}{T_r}\right] \dots\dots\dots (4)$$

Dengan :

$\bar{X}$ = $\bar{X}$ rata-rata tahunan

S_x = Simpanan baku

Y = Perubahan reduksi

N = Jumlah data

X_i = Seri data maksimum setiap tahun

T = Kala ulang dalam tahun

Dalam bentuk rumus lain dapat dituliskan sebagai berikut :

$$X_t = \bar{X}_r + S_d \cdot K \dots\dots\dots (5)$$

$$K = \frac{(y_t - y_n)}{s_n} \dots\dots\dots (6)$$

Dengan :

X_t = Besarnya curah hujan rencana untuk periode ulang t

$\bar{X}_r$ = Harga rata-rata dari data curah hujan maksimum

F = Faktor reduksi

Y_n = Reduce mean sebagai fungsi dari banyak data (n)

S_n = Reduce standard deviasi sebagai fungsi dari
banyaknya data (n)

Y_t = Reduce variate

t = Kala ulang

B. Distribusi Log Person Type III

Persamaan-persamaan yang akan digunakan dalam distribusi Log Pearson Tipe III yaitu :

a. Menghitung nilai rata-rata :

$$\overline{\log X} = \frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i)}{n} \quad (7)$$

b. Menghitung Standar Deviasi

$$S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^2}{n-1} \quad (8)$$

c. Menghitung Koefisien Kepencengan

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^3}{(n-1)(n-2)(S_x)^3} \quad (9)$$

d. Menghitung Curah Hujan Rencana

$$\log X = \overline{\log X} + G + S_x \quad (10)$$

$$X = \text{Anti Log } X \quad (11)$$

Dengan :

$\log X$ = Logaritma curah hujan yang dicari

$\overline{\log X}$ = Logaritma rerata curah hujan

$\log X_i$ = Logaritma curah hujan tahun ke i

G = Konstanta Log Pearson Type III berdasarkan koefisien kepengcengan

S_x = Simpangan baku

C_s = Koefisien kepengcengan (skewness)

n = Jumlah data

Untuk harga G pada distribusi Loh Person Tipe III untuk koefisien kepengcengan positif dan negative.

3. Uji Keselarasan

Untuk menentukan pola distribusi data curah hujan rata - rata yang paling sesuai dari beberapa metoda distribusi statistik yang telah dilakukan maka dilakukan uji keselarasan. Ada dua jenis uji keselarasan (*Goodness of fit test*), yaitu uji keselarasan *Chi Square* dan *Smirnov Kolmogorof*.

3.1 Uji Keselarasan *chi square*

Uji keselarasan *chi square* menggunakan rumus (Soewarno, 1995):

$$X^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (12)$$

Dengan :

X^2 = harga *chi square* terhitung

O_i = jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke-1

E_i = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-1

N = jumlah data

Suatu distrisbusi dikatakan selaras jika nilai X^2 hitung < dari X^2 kritis. Nilai X^2 kritis dapat dilihat di Tabel 2-6. Dari hasil pengamatan

yang didapat dicari penyimpangannya dengan *chi square* kritis paling kecil. Derajat kebebasan ini secara umum dihitung dengan rumus sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

$Dk = n - 3 \dots\dots\dots (13)$

Dengan :

Dk = derajat kebebasan

n = banyaknya data

Tabel 1. Nilai kritis untuk distribusi Chi-Square (Soewarno, 1995)

dk	α Derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
1	3,9E-05	0,00016	0,00098	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,01	0,0701	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,21	10,597
3	0,0712	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,86
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,07	12,832	15,086	16,75
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,69	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,18	2,733	15,507	17,535	20,09	21,955
9	1,735	2,088	2,7	3,328	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,94	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,92	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,3
13	3,565	4,107	5,009	5,891	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,66	5,629	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	31	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,39	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,26	9,591	10,851	31,41	34,17	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,26	10,196	11,689	13,091	35,172	38,076	41,683	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,98	45,558
25	10,52	11,524	13,12	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,16	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,29
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,773	46,979	50,892	53,672

C. Debit Banjir Rencana

Banjir rencana adalah debit maksimum di sungai atau saluran alamiah dengan periode ulang (rata - rata) yang sudah ditentukan yang dapat dialirkan tanpa membahayakan stabilitas bangunan.

Berdasarkan analisis curah hujan rencana dari data curah hujan harian maksimum dapat dihitung besarnya debit banjir rencana dengan kala ulang 5, 10, 25, 50, 100, dan 200.

Perhitungan debit banjir rencana dihitung dengan metode - metode berikut:

1. Metode Hidrograf Satuan Sintetik *Nakayasu*

Perhitungan debit banjir rencana Bendungan Ponre-Ponre ditentukan berdasarkan hasil perhitungan hujan rencana dan pendekatan secara teoritis dengan persamaan - persamaan dan besaran - besaran yang lazim digunakan dalam perhitungan hidrologi.

Oleh karena itu data yang tersedia berupa data hujan historis maka perhitungan debit banjir berdasarkan data yang tersedia. Metode perhitungan debit banjir rencana dengan metode hidrograf satuan sintetik (HSS) *Nakayasu*, merupakan suatu cara untuk mendapatkan hidrograf banjir rencana dalam suatu Das. Untuk membuat suatu hidrograf banjir pada sungai, perlu dicari karakteristik atau parameter daerah pengaliran tersebut.

Adapun persamaan Hidrograf Satuan Sintetik *Nakayasu* yaitu :

$$Q_p = \frac{A \cdot R_0}{3,6 (0,3 t_p + T_{0,3})} \dots \dots \dots (14)$$

Dengan :

Q_p = Debit Puncak Banjir (m^3/s)

R_0 = Hujan satuan (mm)

t_p = Jeda waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

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

A = Luas DAS (km^2)

D. Debit Andalan

Curah hujan andalan adalah curah hujan daerah minimum untuk kemungkinan terpenuhi yang sudah ditentukan dan dapat dipakai untuk keperluan irigasi.

Rumus dalam melakukan perhitungan curah hujan andalan adalah sebagai berikut :

$$R = \frac{n}{5} + 1 \text{ (Untuk keandalan sebesar 80\%)} \dots \dots \dots (15)$$

$$R = \frac{n}{2} + 1 \text{ (Untuk keandalan sebesar 50\%)} \dots \dots \dots (16)$$

Dengan :

R_{80} = Curah hujan andalan tanaman padi

R_{50} = Curah hujan andalan tanaman palawija

n = banyaknya data curah hujan

Curah hujan andalan dapat pula diartikan besarnya curah hujan yang dapat diharapkan ada (dapat diandalkan) pada periode tertentu disuatu lahan, dimana resiko kegagalan telah diperhitungkan dengan sebaik - baiknya. Besarnya curah hujan yang diandalkan tersedia beberapa tahun sekali sesuai dengan periode (kala ulang) yang diambil / ditentukan.

1. Data Curah Hujan

R_{20} = curah hujan bulanan

N = jumlah hari hujan

2. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah perpaduan dua proses yaitu evaporasi dan transpirasi. Pendapat Subarkah, 1980 menyatakan bahwa apa yang disebut dengan evaporasi adalah proses penguapan atau hilangnya air dari permukaan tanah, sedangkan transpirasi adalah proses keluarnya air dari tanaman akibat proses respirasi dan fotosintesis. Proses hilangnya air akibat evapotranspirasi ini merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam hidrologi. Besarnya nilai evapotranspirasi sangat dibutuhkan untuk tujuan perencanaan irigasi, konservasi air, serta proses irigasi itu sendiri.

Evapotranspirasi aktual (E_a) dihitung dari evapotranspirasi potensial (E_{To}) metode penman. Hubungan antar E_a dan E_{To} dihitung dengan rumus (Hidrologi praktis, 2010):

$$E_a = E_{To} - \Delta E \rightarrow (E_a = E_t) \dots\dots\dots (17)$$

$$\Delta E = E_{To} \times (m / 20) \times (18 - n) \rightarrow (E = \Delta E) \dots\dots\dots (18)$$

Dengan:

E_a = Evapotranspirasi aktual (mm / hari)

E_t = Evapotranspirasi terbatas (mm / hari)

E_{To} = Evaporasi potensial metode Penman (mm / hari)

M = Persentasi lahan yang tidak tertutup tanaman, ditaksir pada peta tata guna lahan.

m = 0 untuk lahan dengan hutan lebat

m = 0 untuk lahan dengan hutan sekunder pada akhir musim hujan dan bertambah 10% setiap bulan kering berikutnya.

m = 10 - 40% untuk lahan tererosi

m = 30 - 50% untuk lahan pertanian yang diolah (misal: sawah dan ladang pada musim kemarau m harus dibesarkan sekitar 10% dari musim hujan.

n = Jumlah hari dalam sebulan

Berdasarkan hasil empiris, pendekatan konsep keseimbangan energi radiasi matahari dan rekomendasi dari Badan Pangan serta Pertanian 1977.

Evapotranspirasi potensial dirumuskan dengan:

$$E_{to} = C \cdot ET^* \dots\dots\dots (19)$$

$$ET^* = w (0.75 R_s - R_{nl}) + (1 - w) f(U) (\epsilon \gamma - \epsilon_d) \dots\dots\dots (20)$$

Dengan:

w	= Faktor yang berhubungan dengan suhu dan elevasi daerah (Lampiran)
R _s	= Radiasi gelombang pendek (mm / hari)
R _s	= $(0.25 + 0.54 \frac{n}{N}) R_y$ dimana: n = Persentase penyiaran N = 100
R _y	= Radiasi gelombang pendek yang memenuhi batas luar atmosfer (angka angkot), berhubungan dengan lokasi lintang daerah (lampiran)
R _n	= Radiasi bersih gelombang panjang (mm/hari), $R_n = (0.75 \times R_s) - R_{nl}$
R _{nl}	= $f(t) \cdot f(\epsilon_d) \cdot f(\frac{n}{N})$
f(t)	= Fungsi suhu: $\sigma \cdot T_a^4$ (lampiran)
f(ε _d)	= Fungsi tekanan uap = $0.34 - 0.44 \sqrt{\epsilon_d}$
ε _d	= $\epsilon \gamma^* RH$
$f(\frac{n}{N})$	= Fungsi kecerahan matahari: $0.1 - 0.9 \frac{n}{N}$
f(U)	= Fungsi kecepatan angin pada ketinggian 2.00
f(U)	= $0.27^* (1 + 0.864 U)$; dimana U = Kecepatan Angin
(εγ - ε _d)	= Perbedaan tekanan uap jenuh dengan tekanan uap yang sebenarnya
RH	= Kelembaban Relative (%)
C	= Angka Koreksi (lampiran)

3. Keseimbangan Air pada Permukaan Tanah

Permukaan air pada permukaan tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a) Curah hujan yang mencapai permukaan tanah

$$\Delta s = P - E_t \dots \dots \dots (21)$$

Dengan:

Δs = Air hujan mencapai permukaan tanah (mm/hari)

P = Curah hujan (mm/hari)

E_t = Evapotranspirasi terbatas (mm/hari)

Akan berharga positif bila $P > E_t$, air masuk ke dalam tanah.

Akan berharga negative bila $P < E_t$, sebagian air tanah akan keluar dan terjadi kekurangan (defisit).

- b) Perubahan kandungan air tanah (*soil storage*) tergantung dari nilai Δs .

Bila nilai Δs negatif maka kapasitas kelembaban tanah akan berkurang dan apabila nilai Δs positif akan menambah kekurangan kapasitas kelembaban tanah bulan sebelumnya.

- c) Kapasitas kelembaban tanah (*soil moisture capacity*) ditaksir

berdasarkan porositas lapisan tanah atas cactmen area. Nilai kelembaban tanah biasanya ditaksir antara 50 - 200 mm yaitu kapasitas kandungan air dalam tanah parameter bujur sangkar, jika porositas tanah lapisan makin besar, maka soil nilai kelembaban tanah makin besar juga di dalam perhitungan debit bulanan nilai kapasitas kelembaban tanah di taksir sebesar 100 mm.

4. Infiltrasi

Infiltrasi ditaksir berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan daerah pengaliran. Daya infiltrasi ditentukan oleh permukaan lapisan atas dari tanah. Misalnya kerikil mempunyai daya infiltrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah liat yang kedap air. Untuk lahan yang terjal dimana air sangat cepat menipis di atas permukaan tanah sehingga air tidak sempat berinfiltrasi adalah menyebabkan daya infiltrasi lebih kecil. Rumusan dari infiltrasi adalah sebagai berikut :

$$i = \text{koefisien infiltrasi} \times WS \quad (22)$$

Dengan :

i = Infiltrasi (koefisien infiltrasi, $(i) = 0$ s/d $2,0$)

WS = Kelebihan air

5. Limpasan (*run off*) dan tampungan air tanah (*ground water storage*)

$$V(n) = k.V(n-1) + 0,5(1-k).I(n) \quad (23)$$

$$dVn = V(n) - V(n-1) \quad (24)$$

Dengan :

$V(n)$ = volume air bulan ke- n

$V(n-1)$ = volume air tanah bulan ke- $(n-1)$

k = faktor resesi aliran air tanah diambil antara $0 - 0,1$

I = koefisien *infiltrasi* diambil antara 0 – 1,0

Harga k yang tinggi akan memberikan resesi lambat seperti kondisi geologi lapisan bawah yang lulus air. Koefisien *infiltrasi* ditaksir berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan lahan. Lahan porus mempunyai *infiltrasi* yang lebih tinggi dibandingkan tanah lempung berat. Lahan yang terjal menyebabkan air tidak sempat *berinfiltrasi* ke dalam tanah sehingga koefisien *infiltrasi* akan kecil.

6. Aliran Sungai

Aliran dasar = *infiltrasi* – perubahan volume air dalam tanah.

$$B(n) = I - dV(n) \quad (25)$$

Aliran permukaan = volume air lebih – *infiltrasi*.

$$D(ro) = WS - I \quad (26)$$

Aliran sungai = aliran permukaan + aliran dasar

$$Run\ off = D(ro) + B(n) \quad (27)$$

$$Debit = \frac{\text{aliran sungai}}{\text{satu bulan (dtk)}} \times \text{luas DAS}$$

$$Q_n = Ron \times A \quad (28)$$

Q_n = Banyaknya air yang tersedia dari sumbernya

A = Luas daerah tangkapan (catchmen tarea) km^2

E. Analisis Sedimen

Pendekatan terbaik untuk menghitung laju sedimentasi adalah dengan pengukuran sedimen transpor (*transport sediment*) di lokasi tapak bendungan. Namun karena pekerjaan tersebut belum pernah dilakukan, maka estimasi besarnya laju sedimentasi dilakukan dengan pendekatan secara empiris. Perkiraan laju sedimentasi dalam studi ini dimaksudkan untuk memperoleh angka sedimentasi dalam satuan $m^3/tahun$, guna memberikan perkiraan angka yang lebih pasti untuk penentuan ruang sedimen.

1. Laju Erosi dan *Sediment Yield* Metode USLE

Untuk memperkirakan laju sedimentasi digunakan metode Wischmeier dan Smith. Metode ini akan menghasilkan perkiraan besarnya erosi gross. Untuk menetapkan besarnya sedimen yang sampai di lokasi bendungan, erosi gross akan dikalikan dengan *ratio* pelepasan sedimen (*sediment delivery ratio*). Metode ini lebih dikenal dengan nama metode USLE (*universal soil losses equation*). Phitungan perkiraan laju sedimentasi meliputi :

2. Erosivitas Hujan

Penyebab utama erosi tanah adalah pengaruh pukulan air hujan pada tanah. Hujan menyebabkan erosi tanah melalui dua jalan, yaitu pelepasan butiran tanah oleh pukulan air hujan pada permukaan

tanah dan kontribusi hujan terhadap aliran. Pada metode *USLE*, prakiraan besarnya erosi dalam kurun waktu per tahun (tahunan), dan dengan demikian, angka rata-rata faktor *R* dihitung dari data curah hujan tahunan.

sebanyak mungkin dengan menggunakan persamaan :

$$R = \sum_{i=1}^n EI / 100 X \quad (19) \quad (29)$$

Dengan :

R = hujan rata-rata tahunan

n = jumlah kejadian hujan dalam kurun waktu satu tahun (musim hujan)

X = jumlah tahun atau musim hujan yang digunakan sebagai dasar perhitungan.

Besarnya *EI* proporsional dengan curah hujan total untuk kejadian hujan dikalikan dengan intensitas hujan maksimum 30 menit. Faktor *erosivitas* hujan didefinisikan sebagai jumlah satuan indeks erosi hujan dalam setahun. Nilai *R* yang merupakan daya rusak hujan dapat ditentukan dengan persamaan yang dilaporkan *Bols* (1978) dengan menggunakan data curah hujan bulanan di 3 stasiun.

Persamaannya sebagai berikut (*Asdak, 2002*) :

$$EI_{30} = E \times I_{30} \times 10^{-2} \dots\dots\dots(30)$$

$$E = 14,374 R^{1,075} \dots\dots\dots(31)$$

$$I_{30} = \frac{R}{77,1781,01 R} \dots\dots\dots(32)$$

Dengan :

EI_{30} = indeks erosivitas hujan (ton cm/ha.jam)

E = energi kinetik curah hujan (ton m/ha.cm)

R = curah hujan bulanan (mm)

I_{30} = Intensitas hujan maksimum selama 30 menit

3. Erodibilitas Tanah (K)

Faktor *erodibilitas* tanah (K) merupakan tingkat rembesan suatu tanah yang tererosi akibat curah hujan. Tanah yang mudah tererosi pada saat dipukul oleh butir-butir hujan mempunyai *erodibilitas* tinggi dan dapat dipelajari hanya kalau terjadi erosi.

Persamaannya sebagai berikut (Asdak, 2004) :

$$K = \{2.713 \times 10^{-4} - (12 - OM)M^{1,14} + 3,25 (S-2) + 2,5 (P-3)/100\}$$

Dengan :

K = Erodibilitas tanah

OM = % Unsur organik

S = Kode klasifikasi struktur tanah

P = Permeabilitas tanah

M = % ukuran partikel ($\% \text{ debu} + \text{pasir sangat halus}$) $\times$ ($100 - \% \text{ liat}$)

Nilai M untuk beberapa klas tekstur tanah yang telah ditentukan dapat dilihat pada tabel 2. Beberapa nilai K menurut jenis tanah dan bahan induk penyusunnya dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Nilai M untuk beberapa klas tekstur tanah.

Kelas tekstur tanah	Nilai M	Kelas tekstur tanah	Nilai M
Lempung berat	210	Pasir geluhan	1245
Lempung sedang	750	Geluh berlempung	3770
Lempung pasir	1213	Geluh pasir	4005
Lempung ringan	1685	Geluh	4390
Geluh Lempung	2160	Geluh debu	6330
Pasir lempung debu	2830	Debu	8245
Geluh lempungan	2830	Campuran merata	400
pasir	3035		

Sumber: RLKT DAS Citarum (1987) dalam Asdak (2004)

Tabel 3. Besarnya nilai K untuk jenis tanah di Indonesia.

Jenis klasifikasi tanah	Nilai K rata-rata (metrik)	Jenis klasifikasi tanah	Nilai K rata-rata (metrik)
Latosol merah	0,12	Gley humic	0,26
Latosol	0,31	Gley humic	0,20
Regosol	0,12-0,16	Lithosol	0,16
Regosol	0,29	Lithosol	0,29
Regosol	0,31	Grumosol	0,21

Sumber: Asdak (2004), Hidrologi dan pengelolaan Daerah Aliran sungai, hal. 365.

Tabel 4. Berat jenis tanah.

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 – 2,68
Lempung Organik	2,58 – 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

(Sumber: Hardiyatmo, 1992)

Erodibilitas dari berbagai macam tanah hanya dapat diukur dan dibandingkan pada saat terjadi hujan. Besarnya *erodibilitas* tergantung pada topografi, kemiringan lereng, kemiringan permukaan tanah, kecepatan penggerusan (*scour velocity*), besarnya gangguan oleh manusia dan juga ditentukan oleh karakteristik tanah seperti tekstur tanah, stabilitas agregat tanah, kapasitas *infiltrasi*, dan kandungan organik dan kimia tanah. Tanah yang mempunyai erodibilitas tinggi akan tererosi lebih cepat dibandingkan dengan tanah yang mempunyai *erodibilitas* rendah, dengan intensitas hujan yang sama. Juga tanah yang mudah dipisahkan (*dispersive*) akan tererosi lebih cepat daripada tanah yang terikat (*flocculated*). *Erodibilitas* tanah dapat dinilai berdasarkan sifat-sifat fisik tanah sebagai berikut :

- a. Tekstur tanah yang meliputi :

fraksi debu (ukuran $2 - 50 \mu m$)

fraksi pasir sangat halus ($50 - 100 \mu m$)

fraksi pasir ($100 - 2.000 \mu m$)

b. Kadar bahan organik yang dinyatakan dalam %

c. Permeabilitas yang dinyatakan sebagai berikut:

sangat lambat ($< 0,12 \text{ cm/jam}$)

lambat ($0,125 - 0,5 \text{ cm/jam}$)

agak lambat ($0,5 - 2,0 \text{ cm/jam}$)

sedang ($2,0 - 6,25 \text{ cm/jam}$)

agak cepat ($6,25 - 12,25 \text{ cm/jam}$)

cepat ($> 12,5 \text{ cm/jam}$)

d. Struktur dinyatakan sebagai berikut:

granular sangat halus : tanah liat berdebu

granular halus : tanah liat berpasir

granular sedang : lempung berdebu

granular kasar : lempung berpasir

4. Faktor Kemiringan Lereng (LS)

Prakiraan erosi menggunakan persamaan yang diusulkan oleh Smith

dan Wischemeir (1978) sebagai berikut:

$$LS = (L)^{0,5}(0,00138 S^2 + 0,00965 S + 0,0138)$$

5. Pendugaan Laju Erosi Potensial (E-Pot)

Erosi potensial adalah erosi maksimum yang mungkin terjadi di suatu tempat dengan keadaan permukaan tanah gundul sempurna, sehingga terjadinya proses erosi hanya disebabkan oleh faktor alam (tanpa keterlibatan manusia, tumbuhan, dan sebagainya), yaitu iklim, khususnya curah hujan, sifat-sifat internal tanah dan keadaan topografi tanah. Pendugaan erosi potensial dapat dihitung dengan pendekatan rumus berikut:

$$E-Pot = R \times K \times LS \times A \quad (33)$$

6. Pendugaan Laju Erosi Aktual (E-Akt)

Erosi aktual terjadi karena adanya campur tangan manusia dalam kegiatannya sehari-hari, misalnya pengolahan tanah untuk pertanian dan adanya unsur-unsur penutup tanah. Penutupan permukaan tanah gundul dengan tanaman akan memperkecil terjadinya erosi, sehingga dapat dikatakan bahwa laju erosi aktual selalu lebih kecil dari pada laju erosi potensial. Ini berarti bahwa adanya keterlibatan manusia akan memperkecil laju erosi potensial. Dapat dikatakan bahwa erosi aktual adalah hasil ganda antara erosi potensial dengan pola

penggunaan lahan tertentu, sehingga dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$E-Akt = E - Pot \times C \times P \quad (34)$$

Dimana :

E-Akt = erosi aktual di DAS (ton/ha/tahun)

E-Pot = erosi potensial (ton/ha/th)

C = faktor penutup lahan

P = faktor konservasi tanah

Tabel 5. Nilai faktor CP berbagai jenis penggunaan lahan.

Konservasi dan Pengelolaan Tanaman	Nilai CP
Hutan:	
a. tak terganggu	0.01
b. tanpa tumbuhan bawah, disertai seresah	0.05
c. tanpa tumbuhan bawah, tanpa seresah	0.50
Semak:	
a. tak terganggu	0.01
b. sebagian berumput	0.10
Kebun:	
a. kebun-talun	0.02
b. kebun-pekarangan	0.20
Perkebunan:	
a. penutupan tanah sempurna	0.01
a. penutupan tanah sebagian	0.07
Perumputan:	
a. penutupan tanah sempurna	0.01
b. penutupan tanah sebagian; ditumbuhi alang-alang	0.02
c. alang-alang; pembakaran sekali setahun	0.06
d. serai wangi	0.65
Tanaman Pertanian:	
a. umbi-umbian	0.51
b. biji-bijian	0.51
c. kacang-kacanga	0.36
d. campuran	0.43
e. padi irigasi	0.02
Perladangan:	
a. 1 tahun tanam-1 tahun bero	0.28
b. 1 tahun tanam-2 tahun bero	0.19
Pertanian dengan konservasi:	
a. mulsa	0.14
b. teras bangku	0.04
c. contour cropping	0.14

Sumber: Asdak (2004). Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, hal. 376.

7. Pendugaan Laju Sedimentasi Potensial

Sedimentasi potensial adalah proses pengangkutan sedimen hasil dari proses erosi potensial untuk diendapkan di jaringan irigasi dan lahan persawahan atau tempat-tempat tertentu. Tidak semua sedimen yang dihasilkan erosi aktual menjadi sedimen, hanya sebagian kecil material sedimen yang tererosi di lahan (DAS) mencapai *outlet* basin tersebut atau sungai atau saluran terdekat. Perbandingan antara sedimen yang terukur di *outlet* dan erosi di lahan biasa disebut nisbah pengangkutan sedimen atau *Sedimen Delivery Ratio* (SDR). Sedimen yang dihasilkan erosi aktual pun tidak semuanya menjadi sedimen, hal ini tergantung dari perbandingan antara volume sedimen hasil erosi aktual yang mampu mencapai aliran sungai dengan volume sedimen yang bisa diendapkan dari lahan di atasnya (SDR). Nilai SDR tergantung dari luas DAS, yang erat hubungannya dengan pola penggunaan lahan.

Nilai SDR dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$SDR = \frac{S(1 - 0,8683 A^{-0,2018})}{2 - (S + 50, n)} + 0,8683 \times A^{-0,2018} \dots \dots \dots (35)$$

Dimana :

SDR = rasio pelepasan sedimen, nilainya $0 < SDR < 1$

A = luas DAS (ha)

S = kemiringan lereng rata-rata permukaan DAS (%)

n = koefisien kekasaran *Manning*

Pendugaan laju sedimentasi potensial yang terjadi di suatu DAS dihitung dengan persamaan *Weischmeier dan Smith*, 1958 sebagai berikut:

$$S-Pot = E-Akt \times SDR \quad (36)$$

Dimana :

SDR = *Sedimen Delivery Ratio*

S-Pot = sedimentasi potensial

E-Akt = erosi aktual (erosi yang terjadi)

F. Waduk

1. Pengertian Waduk

Waduk menurut pengertian umum tempat pada permukaan tanah yang dimaksudkan untuk menyimpan / menampung air saat terjadi kelebihan air / musim penghujan, kemudian air yang melimpah tersebut dimanfaatkan untuk keperluan pertanian dan berbagai keperluan lainnya pada saat musim kemarau.

Dalam pengelolaan sumber daya air waduk sering dijumpai permasalahan-permasalahan yang menyangkut aspek perencanaan.

sedimentasi adalah permasalahan umum yang menjadi permasalahan utama di waduk selama ini. Fungsi utama dari waduk adalah untuk menyediakan tampungan sumber air agar bisa digunakan saat dibutuhkan.

Tampungan yang dibutuhkan di suatu sungai untuk memenuhi permintaan tertentu tergantung tiga faktor, yaitu:

1. Variabilitas aliran sungai.
2. Ukuran permintaan.
3. Tingkat keandalan dari pemenuhan permintaan.

Dalam bentuk yang paling sederhana, masalah waduk dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3. Idealisasi masalah kapasitas dan kemampuan waduk.

Rangkaian aliran di sungai $Q(t)$ akan dimanfaatkan untuk memenuhi permintaan air dengan kebutuhan yang tertentu $D(t)$. Dengan demikian pertanyaan yang muncul dapat berupa, berapa besar kapasitas waduk (C) yang harus disediakan bagi suatu pelepasan yang terkendali (*release*) dengan tingkat keandalan yang dapat diterima.

Mungkin ada variasi lain dari pertanyaan ini, misalnya menentukan pelepasan bagi suatu kapasitas tertentu, tetapi masalah dasarnya tetap sama yaitu hubungan antara karakteristik aliran masuk (*inflow*), kapasitas waduk, pelepasan yang terkendali (*release*) dan keandalan yang ditemukan.

G. Kapasitas tampungan waduk

Perhitungan hubungan luas terhadap volume waduk didasarkan pada data peta topografi dengan skala 1:1.000 dan beda tinggi kontur 1m. Cari luas permukaan waduk yang dibatasi garis kontur, kemudian dicari volume yang dibatasi oleh 2 garis kontur yang berurutan dengan menggunakan rumus pendekatan volume sebagai berikut (Bangunan Utama KP-02, 1986)

$$V_x = \frac{1}{3} \times Z \times (f_y + f_x + \sqrt{f_y \times f_x}) \dots\dots\dots (37)$$

Dengan :

$$V_x = \text{volume pada kontur } X \text{ (m}^3\text{)}.$$

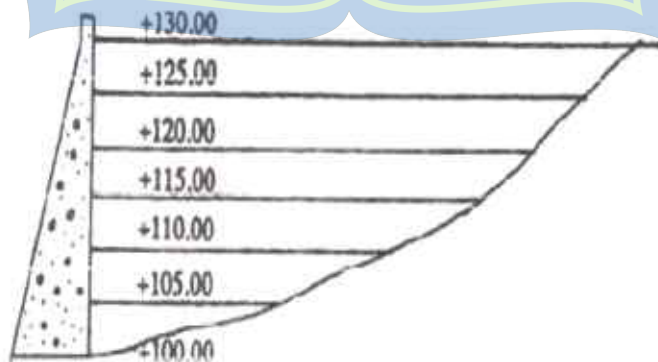
Z = beda tinggi antar kontur (m).

F_y = luas pada kontur Y (km^2).

F_x = luas pada kontur X (km^2).

Akan diambil suatu contoh seperti terlihat pada Gambar 5. Misalkan elevasi dasar sungai yang akan menjadi dasar waduk adalah +100,00 meter sedangkan elevasi permukaan waduk penuh air adalah +130,00 meter (Soedibyo, 1993).

Gambar 4 . Lay out dari waduk (Soedibyo, 1993).



Gambar 5 . Penampang memanjang waduk (Soedibyo, 1993).

Luas waduk pada masing-masing dicari, yaitu :

F_{100} untuk elevasi +100,00

F105 untuk elevasi +105,00

F110 untuk elevasi +110,00

F115 untuk elevasi +115,00

F120 untuk elevasi +120,00

F125 untuk elevasi +125,00

F130 untuk elevasi +130,00

Masing-masing beda tinggi antara 2 kontur yang berurutan adalah 5 meter, kecuali yang paling atas atau dasar waduk misalnya + 133,00 (berarti 3 meter). Volume antara 2 kontur yang berurutan dapat dicari yaitu :

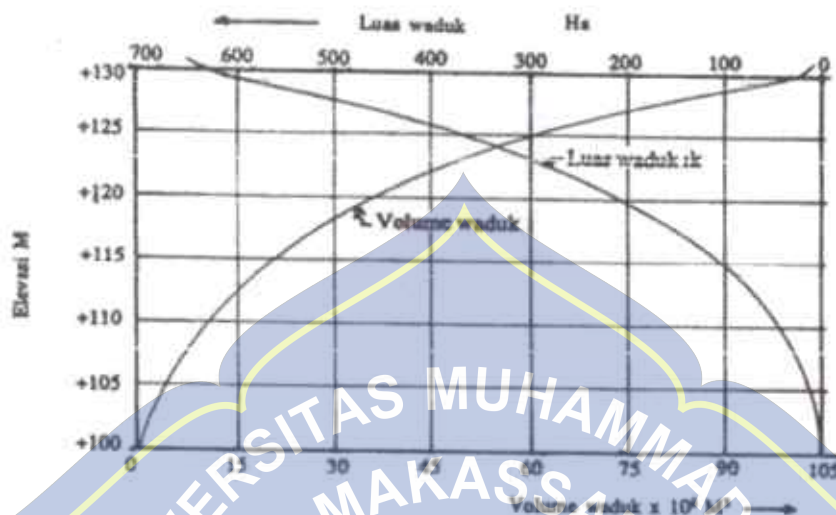
$V_{105} = \frac{L}{3} \cdot 5 (F_{100} + F_{105} + \sqrt{F_{100} \cdot F_{105}})$, sedangkan 5 adalah beda tinggi antara 2 kontur.

Dengan rumus yang sama dapat dicari:

$V_{110} = \frac{L}{3} \cdot 5 (F_{105} + F_{110} + \sqrt{F_{105} \cdot F_{110}})$. Demikian seterusnya dapat dicari

V_{120} , V_{125} dan V_{130} .

Sesudah semua luas dan volume masing-masing diketahui lalu digambarkan pada sebuah grafik hubungan antara elevasi, luas dan volume waduk (Soedibyo, 1993).



Gambar 6. Grafik hubungan antara elevasi, luas & volume waduk. Dari Gambar 6 tersebut dengan mudah dapat dicari luas dan volume setiap elevasi tertentu dari waduk. Dengan demikian, luas dan volume total waduk dapat ditentukan.

a. Struktur Tampungan Waduk

Terkait dengan fungsinya maka tampungan waduk dapat dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu,

1. Tampungan mati (*dead storage*),
2. Tampungan efektif (*effective storage*), dan
3. Tampungan tambahan yang biasanya dimanfaatkan untuk pengendalian banjir (*flood storage*).

1. Tampungan Mati

Tampungan mati merupakan bagian dari waduk yang disediakan untuk menampung sedimen. Kapasitas tampungan mati ini akan sangat ditentukan oleh kadar sedimen dalam aliran sungai dan usia guna waduk

yang ditetapkan. Suatu waduk dikatakan telah habis usia gunanya bila sedimen yang tertangkap sudah melebihi kapasitas tampungan mati yang telah ditetapkan. Dalam struktur waduk tampungan mati terletak pada bagian paling bawah dan dibatasi oleh dasar waduk dengan muka air rendah dalam waduk (*low water level*), dimana pada elevasi tersebut merupakan kedudukan dari dasar intake.

Dalam perancangan suatu bendungan usia guna biasa ditetapkan sebesar 50 tahun, sedangkan kadar sedimen dalam aliran sungai diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan atau dari analisis berdasarkan metode empirik yang relevan, misalnya Metode USLE. Volume tampungan mati setidaknya sebesar 5% dari total tampungan waduk.

2. Tampungan Efektif

Tampungan efektif (*effective storage*) adalah tampungan yang berada diantara genangan minimum dan genangan normal. Tampungan mati (*dead storage*) adalah tampungan yang berada dibawah genangan minimum yang berfungsi untuk menampung sedimen, dan apabila volume sedimen yang ditampung lebih besar dari kapasitas yang dicadangkan berarti usia guna waduk tersebut telah berakhir



Gambar 7. Pembagian daerah (zone) tampungan pada waduk.

1. Permukaan genangan normal (*normal water level*) adalah elevasi maksimum yang dicapai oleh kenaikan permukaan waduk pada kondisi operasi biasa. Pada kebanyakan waduk genangan normal ditentukan oleh elevasi mercu pelimpah atau puncak pintu-pintu pelimpah.
2. Permukaan genangan minimum (*low water level*) adalah elevasi terendah yang diperoleh bila genangan dilepaskan pada kondisi normal. Permukaan ini dapat ditentukan oleh elevasi dari bangunan pelepasan (*intake*) terendah di dalam bendungan atau pada elevasi minimum yang disyaratkan untuk operasi turbine-turbinenya (pada waduk yang dioperasikan untuk pembangkit listrik).
3. Tampungan pada daerah yang terletak antara permukaan genangan minimum dan normal disebut tampungan efektif (*effective storage*)

dan daerah di bawah genangan minimum disebut tampungan mati (*dead storage*).

4. Tampungan mati merupakan tampungan yang dicadangkan untuk menangkap sedimen, dan bila volume sedimen yang tertangkap lebih besar dari kapasitas yang dicadangkan berarti usia guna waduk tersebut telah berakhir.

3. Tampungan Banjir

Tampungan banjir merupakan bagian dari waduk yang dapat berfungsi untuk mereduksi debit banjir yang terjadi. Dalam struktur waduk tampungan banjir ini terletak paling atas dan dibatasi oleh muka air normal (*normal water level*) dengan muka air tinggi (*high water level*). Dalam perancangan suatu bendungan.

Besarnya tampungan banjir ini akan sangat dipengaruhi oleh dimensi pelimpah banjir (*spill way*) dari waduk untuk pembuangan kelebihan airnya saat musim banjir, sehingga secara teknis ketinggiannya harus ditentukan secara bersama-sama dengan penentuan dimensi pelimpah banjir.

Penentuan besarnya tampungan banjir ini (menyangkut volume dan tingginya) biasa dikaitkan dengan aspek ekonomi, disamping keamanan konstruksi. Secara teknis penetapannya dilakukan melalui teknik optimasi dengan fungsi sasaran biaya konstruksi pelimpah dan tubuh bendungan yang minimum.

Bangunan pelimpah yang sesuai untuk waduk yang berfungsi sebagai penyedia air adalah berupa ambang overflow/freeflow atau pelimpah bebas. Kelebihan mendasar dari tipe pelimpah tersebut adalah murah biaya konstruksi, mudahnya biaya operasional serta ringannya biaya pemeliharaan karena tidak dilengkapi sarana mekanis.

H. Usia Guna Waduk

Usia guna waduk adalah masa manfaat waduk dalam menjalankan fungsinya, sampai terisi penuh oleh sedimen kapasitas tampungan matinya. Dalam penjelasan ini untuk memprediksikan usia guna waduk berdasarkan pada dua cara, yaitu:

1. Perkiraan Usia Guna Berdasarkan Tampungan Mati (*Dead Storage*)

Perhitungan ini berdasarkan pada berapa waktu yang dibutuhkan oleh sedimen untuk mengisi kapasitas tampungan mati. Dengan diketahui besarnya kapasitas tampungan mati dan besarnya kecepatan laju sedimen yang mengendap, maka akan diketahui waktu yang dibutuhkan sedimen untuk mengisi pada daerah tampungan mati. Semakin bertambah umur maka semakin berkurang kapasitas tampungan matinya, yang kemudian akan mengganggu pelaksanaan operasional waduk. Sehingga hal ini merupakan acuan untuk memprediksikan kapan kapasitas tampungan mati tersebut akan penuh.

2. Perkiraan Usia Guna

Berdasarkan Besarnya Distribusi Sedimen yang Mengendap Di Tampungan dengan Menggunakan *The Empirical Area Reduction Method*. Metode ini pertama kali diusulkan oleh Lane dan Koezler (1935), yang kemudian dikembangkan oleh Borland Miller (1958, dalam USBR, 1973) dan Iara (1965, dalam USBR, 1973). Dengan metode ini dapat diprediksikan bagaimana sedimen terdistribusi di dalam waduk pada masa – masa yang akan datang. Dalam perhitungan ini sebagai acuan untuk menentukan usia guna waduk berdasar pada hubungan fungsi antara luas genangan dengan elevasi genangan dan kapasitas tampungan.

Sebagai patokan elevasi pintu pengambilan akan dicapai oleh elevasi endapan sedimen, maka kegiatan oprasional waduk akan terganggu, yang pada akhirnya secara teknis akan mengakibatkan tidak berfungsinya waduk.

3. Perhitungan Usia Guna Waduk

Kapasitas tampungan waduk yang berkurang karena proses sedimentasi, tergantung dari jumlah sedimen yang masuk prosentase dari jumlah sedimen yang mengendap. Bila jumlah sedimen yang masuk lebih besar dibandingkan kapasitas waduknya, maka usia guna waduk tersebut akan berkurang dari usia guna yang telah direncanakan. Pada umumnya umur waduk ditentukan dengan cara menghitung berapa lama tampungan mati terisi penuh sedimen. Adapun perhitungan umur waduk dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$T = V / v_s \quad (38)$$

Dengan :

T = Usia guna waduk (tahun)

V = Volume Sedimen di tahun n (m^3)

v_s = Laju sedimentasi (m^3 /tahun)

I. Operasi Waduk

Pola Operasi waduk adalah patokan operasional bulanan suatu waduk dimana debit air yang dikeluarkan oleh waduk harus sesuai dengan ketentuan agar elevasinya terjaga sesuai dengan rencana. Pola operasi waduk disepakati bersama oleh para pemanfaat air dan pengelola melalui Panitia Tata Pengaturan Air (PTPA).

Tujuan dari disusunnya pola operasi waduk adalah untuk memanfaatkan air secara optimal demi tercapainya kemampuan maksimal waduk dengan cara mengalokasikan secara proporsional sehingga tidak terjadi konflik antar kepentingan. Pengoperasian waduk secara efisien dan optimal merupakan permasalahan yang kompleks karena melibatkan beberapa faktor seperti:

- a. Operasional *policy*, pola kebijakan pengoperasian waduk.
- b. Debit *inflow* yang akan masuk ke waduk yang tergantung dari ketepatan perencanaan debit yang akan masuk ke waduk tersebut.
- c. *Demand*, kebutuhan air untuk irigasi dan PLTA.

- d. Ketepatan peralatan akan besarnya debit banjir yang akan terjadi.
- e. Keandalan peralatan monitoring tinggi muka waduk, debit aliran dan curah hujan.
- f. Koordinasi antara instansi yang terkait.
- g. Kemampuan operasional. Koordinasi pengoprasian jangka pendek, menengah, dan jangka panjang serta pengoperasian real time.

1. Perkiraan Air Masuk

Daerah aliran sungai (DAS) waduk bendungan Ponre-Ponre adalah 78 km². Stasion pengukur Ponre Ponre, dengan aliran yang terukur dari tahun 1987 sampai 2017 terletak 1 km dihilir bendungan Ponre Ponre. Setelah konstruksi waduk selesai, aliran masuk dapat dihitung berdasarkan muka air waduk dan volume harian.

Menurut rumus dibawah ini, aliran masuk waduk Ponre Ponre Reservoir (Q_i) dihitung berdasarkan variasi elevasi permukaan waduk dan alat pengukur muka air waduk :

$$Q_i = \frac{\Delta s}{\Delta t} + Q_{out}$$

Δt = Interval waktu antara dua pengukuran, detik.

Δs = Perubahan volume waduk, dapat dihitung berdasarkan hasil pengukuran bathimetri terkini/terakhir

Q_{out} = Rata rata volume yang keluar dari waduk dengan Δt , m³/d.

- 1) Selama kondisi normal, elevasi muka air waduk harus diukur satu kali per hari dengan alat ukur muka air.

- 2) Jika aliran masuk waduk lebih dari 100 m³/d, maka elevasi muka air waduk harus diukur satu kali setiap jam dengan alat ukur. Jika perlu waktu interval pengukuran dapat dipersingkat.
- 3) Jika alat ukur muka air tidak dapat mengukur, maka papan duga harus digunakan untuk mengukur.

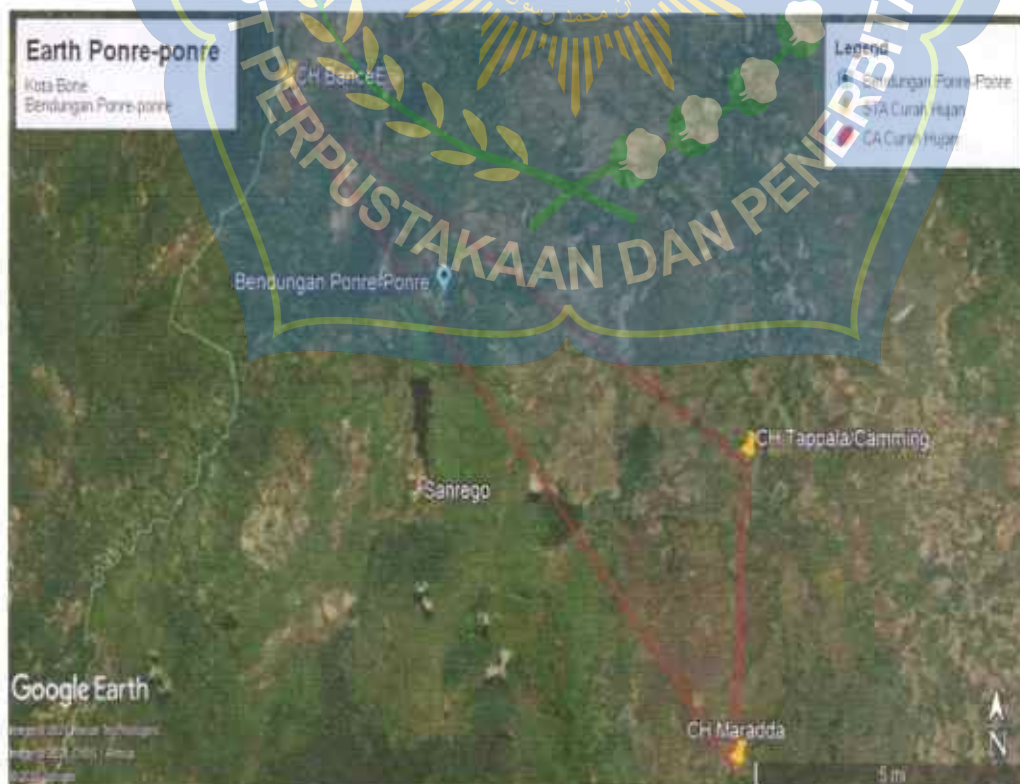


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di daerah aliran sungai (DAS) Libureng yang merupakan salah satu sungai Tinco, anak sungai walanae, yang secara administratif berada di Kecamatan Kahu dan Libureng, Kabupaten Bone. DAS Libureng secara geografis terletak pada koordinat $119^{\circ} 59' 19,69''$ BT dan $3^{\circ} 51' 49''$ LS. Untuk lebih jelasnya terkait lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 8 dan gambar 9.



Gambar 8. Peta Lokasi Penelitian dan Stasiun Curah Hujan



Gambar 9. Peta Daerah Aliran Sungai Ponre-ponre

B. Jenis Penelitian dan Sumber Data

1. Jenis Penelitian

Berdasarkan sifat-sifat masalahnya metode penelitian yang kami lakukan yaitu :

a. Penelitian Kasus / Lapangan

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mempelajari, menganalisis dan memahami secara intensif latar belakang keadaan sekarang dan interaksi lingkungan suatu unit objek permasalahan penelitian.

b. Penelitian Kasual - Komparatif

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki kemungkinan hubungan sebab akibat, tapi tidak dengan jalan eksperimen tetapi dilakukan dengan pengamatan terhadap data faktor yang diduga menjadi penyebab, sebagai pembandingan.

2. Sumber Data

Adapun data-data yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya sebagai berikut :

- a. Data Geometri, berupa data peta kontur / topografi Bendungan Ponre - Ponre
- b. Data Hidrologi, berupa data curah hujan sungai Cenranae – Walanae
- c. Data teknis Bendungan Ponre-Ponre Kabupaten Bone

C. Variabel Penelitian

Variabel adalah suatu kualitas dimana penelitian seorang peneliti mempelajari dan menarik sebuah kesimpulan dari proses penelitian yang dilakukan. (kidder 1981), variabel penelitian dapat berupa apapun juga yang variasinya perlu kita perhatikan agar dapat mengambil kesimpulan mengenai fenomena yang terjadi.

1. Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah curah hujan dan klimatologi, debit banjir rencana, dan data teknis Bendungan Ponre - Ponre.

2. Definisi Operasional Variabel

Berdasarkan variabel di atas maka gambaran mengenai definisi operasional variabel dalam penelitian ini yaitu :

- a. Curah hujan dapat diartikan sebagai ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap dan tidak mengalir.
- b. Debit banjir rencana merupakan debit yang dihitung menggunakan Metode Gumbel, Metode Log Normal, Metode Log Person III.
- c. Data teknis merupakan data - data yang dibutuhkan dalam perencanaan tampungan waduk yang meliputi dimensi hidraulik Bendungan Ponre - Ponre.

D. Teknik Analisa Data

1. Analisis Hidrologi

- a. Perhitungan Uji validasi data curah hujan menggunakan Metode Kurva Massa Ganda dan Metode Raps.
- b. Perhitungan Curah Hujan Wilayah Metode Curah hujan rata-rata , Metode Poligon Thiessen, Metode Isohyet
- c. Perhitungan Curah Hujan Rencana dengan Metode Gumbel, Metode Log Normal, Metode Log Person III.
- d. Perhitungan Uji Kesesuaian Distribusi digunakan Uji Chi Square dan Smirnov Kolmogrove.
- e. Perhitungan Debit Banjir Rencana digunakan Metode Mononobe, Metode Sherman, Metode Talbot, Metode Ishiguro.

2. Perencanaan Tampungn Waduk Bendungan

- a. Perhitungan analisis hidrologi tampungn mati
 1. Volume Sedimen
 2. Waktu terisinya tampungn mati
 3. Usia guna waduk
- b. Perhitungan analisis hidrologi tampungn efektif
- c. Perhitungan analisis hidrologi tampungn banjir

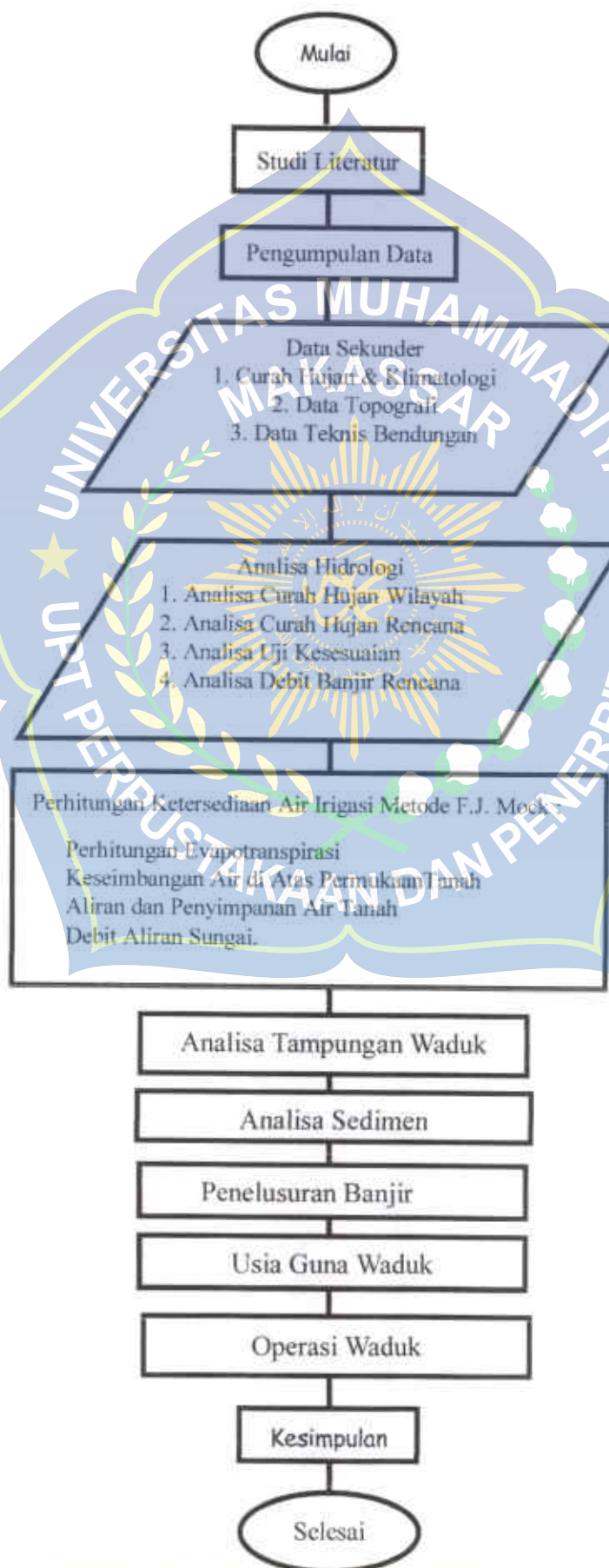
E. Prosedur Penelitian

1. Melakukan studi literatur dan survey lokasi untuk mengumpulkan informasi yang berkaitan dengan studi penelitian ini.
2. Melakukan pengambilan data yang sesuai dengan penelitian ini

3. Melakukan analisis hidrologi :

- a. Perhitungan Uji validasi data curah hujan menggunakan Metode Kurva Massa Ganda dan Metode Raps.
 - b. Perhitungan Curah Hujan Wilayah Metode Curah hujan rata – rata , Metode Poligon Thiessen, Metode Isohyet .
 - c. Perhitungan Curah Hujan Rancana dengan Metode Gumbel, Metode Log Normal, Metode Log Person III.
 - d. Perhitungan Uji Kesesuaian Distribusi digunakan Uji Chi Square dan Smirnov Kolmogrove.
 - e. Perhitungan Debit Banjir Rencana digunakan Metode Mononobe, Metode Sherman, Metode Talbot, Metode Ishiguro.
3. Perencanaan Tampung Waduk Bendungan
- a. Perhitungan analisis hidrologi tampungan mati
 1. Volume Sedimen
 2. Waktu terisinya tampungan mati
 3. Usia guna waduk
 - b. Perhitungan analisis hidrologi tampungan efektif
 - c. Perhitungan analisis hidrologi tampungan banjir

F. Bagan Alir



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Hidrologi

1. Analisa Curah Hujan Wilayah

Untuk rekapitulasi hasil perhitungan hujan maksimum harian rata-rata menggunakan metode *Aljabar*. Untuk nilai curah hujan wilayah dapat dilihat dapat dilihat pada tabel 6, sebagai berikut:

Tabel 6. Hujan Maksimum Harian Rata-Rata Metode Aljabar.

No	Tahun	Tanggal Kejadian	Nama Stasiun Rata				Max
			Camming	Bancee	Maradda	Aljabar	
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	2001	20-Jan	130	-	4	44.67	72.33
		18-Okt	-	105	-	35	
		04-Juni	76	66	75	72.33	
2	2002	06-Mei	101	150	121	124	124.00
		06-Mei	101	150	121	124	
		08-Mei	22	93	125	80	
3	2003	22-Apr	85	21	50	52	88.67
		23-Desember	28	123	15	55.33	
		09-Mei	50	2	214	88.67	
4	2004	12-Desember	37	5	3	15	53.33
		25-Apr	-	95	41	45.33	
		23-Apr	-	15	145	53.33	
5	2005	10-Juni	250	-	3	84.33	84.33
		13-Nop	57	57	-	38	
		29-Mei	-	5	105	36.67	
6	2006	20-Juni	155	91	-	82	82.00
		19- Juni	-	135	-	45	
		19-Juli	-	-	195	65	
7	2007	12-Juni	133	45	70	82.67	104.67
		12-Juni	133	111	70	104.67	
		16-Peb	-	3	110	37.67	

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
8	2008	20-Mei	100	-	51	50.33	79.33
		19-Nop	6	127	-	44.33	
		10-Juni	88	24	126	79.33	
9	2009	02-Juli	200	14	8	74	74.00
		24-Nop	-	61	145	68.67	
		24-Nop	-	61	145	68.67	
10	2010	26-Juni	200	11	-	70.33	70.33
		14-Juli	14	175	-	63.00	
		10-Jan	106	11	-	39.00	
11	2011	22-Okt	110	58	77	56.00	56.00
		18-Nop	-	95	15	36.67	
		10-Des	24	-	89	37.67	
12	2012	14-Des	118	-	-	39.33	70.67
		07-Juli	-	121	91	70.67	
		08-Juni	100	5	100	35.00	
13	2013	21-Mei	134	5	17	7.33	35.33
		12-Des	-	87	-	29	
		19-Apr	29	-	77	35.33	
14	2014	23-Mei	204	75	-	93	93.00
		13-Mei	-	117	-	39	
		24-Sep	-	-	150	50	
15	2015	03-Mei	85	-	-	28.33	31.67
		08-Juni	-	55	10	21.67	
		17-Juni	-	5	90	31.67	
16	2016	18-Peb	85	-	-	28.33	37.00
		19-Okt	24	80	-	34.67	
		29-Juni	0	-	111	37.00	
17	2017	19-Juni	178	-	-	59.33	68.67
		20-Juni	56	150	140	68.67	
		20-Juni	56	150	140	68.67	
18	2018	19-Mei	134	8	58	47.33	47.33
		21-Mei	53	18	46	23.67	
		14-Mei	45	10.5	175	18.5	
19	2019	08-Juni	153	-	-	51	51.00
		28-Des	-	29	25	18	
		04-Juni	33	28	215	20.33	
20	2020	05-Juni	84	6	68	30	30.00
		20-Des	5	38	7	14.33	
		8-Apr	29	8	90	12.33	

Sumber: hasil perhitungan

2. Analisa Curah Hujan Rancangan

Dari tabel 6 curah hujan maksimum harian rata-rata kemudian diurutkan dari yang terbesar ke terkecil dan dihitung dengan menggunakan analisa parameter statistik untuk mengetahui metode perhitungan curah hujan rencana yang dapat digunakan. Dan dapat dilihat pada tabel 7

Tabel 7. Analisa Curah dengan Metode *Log Pearson Type III*.

No	Kala Ulang (Tahun)	p (%)	X_i	$\text{Log } X_i$	$(\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})$	$(\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^2$	$(\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^2$
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	0.5	4.8	124.00	2.09	0.2943	0.0866	0.0255
2	0.10	9.5	104.67	2.02	0.2207	0.0487	0.0107
3	0.14	14.3	93.00	1.97	0.1694	0.0287	0.0049
4	0.19	19.0	88.67	1.95	0.1486	0.0221	0.0033
5	0.24	23.8	84.33	1.93	0.1269	0.0161	0.0020
6	0.29	28.6	82.00	1.91	0.1147	0.0132	0.0015
7	0.33	33.3	79.33	1.90	0.1003	0.0101	0.0010
8	0.38	38.1	74.00	1.87	0.0701	0.0049	0.0003
9	0.43	42.9	72.33	1.86	0.0602	0.0036	0.0002
10	0.48	47.6	70.67	1.85	0.0501	0.0025	0.0001
11	0.52	52.4	70.33	1.85	0.0480	0.0023	0.0001
12	0.57	57.1	68.67	1.84	0.0367	0.0014	0.0001
13	0.62	61.9	56.00	1.75	-0.0509	0.0026	-0.0001
14	0.67	66.7	53.33	1.73	-0.0721	0.0052	-0.0004
15	0.71	71.4	51.00	1.71	-0.0916	0.0084	-0.0008
16	0.76	76.2	47.33	1.68	-0.1240	0.0154	-0.0019
17	0.76	81.0	37.00	1.57	-0.2309	0.0533	-0.0123
18	0.86	85.7	35.33	1.55	-0.2509	0.0630	-0.0158
19	0.90	90.5	31.67	1.50	-0.2985	0.0891	-0.0266
20	0.95	95.2	30.00	1.48	-0.3220	0.1037	-0.0334
Σ	9.95	1000.0	1353.67	35.98	0.0000	0.5808	-0.0415

Sumber : hasil perhitungan

Untuk langkah perhitungan dihitung dengan persamaan berikut.

Adapun hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 7 di atas

a. Analisa Curah Hujan Rancangan Metode *Log Pearson Type III*

Adapun langkah perhitungannya sebagai berikut;

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata (Log } X_i) &= \frac{\sum \log x}{n} \\ &= \frac{35,9820}{20} \\ &= 1,7990\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Standar deviasi (Sx)} &= \sqrt{\frac{\sum (\log X_i - \log X_{rt})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{0,5808}{20}} \\ &= 0,175\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Koefisien skewnes (Cs)} &= \frac{n \sum (\log x - \log x)^3}{(n-1)(n-2)(S \log x)^3} \\ &= \frac{20(33,7 - 1,700)}{(20-1)(20-1)0,29^3} \\ &= -0,45\end{aligned}$$

Hitung curah hujan rencana untuk kala ulang 5 tahun:

$$\begin{aligned}\text{Log } X_t &= \text{Log } X_i + G.S_x \\ &= 1,75 + (0,8120).(0,175) = 1,94\end{aligned}$$

$$X = \text{antilog } X$$

$$X_t = 10^{\text{Log } X_t}$$

$$= 10^{1,94}$$

$$= 87,30 \text{ mm}$$

Tabel 8. Rekapitulasi Analisis Curah Hujan untuk Periode Ulang Tahun (t) dengan distribusi Log Pearson Type III

No	Periode ulang	P (%)	G	Lox	(Sx.G)	Log Xt	Xt (mm)
1	5	20	0.812	1.799	0.142	1.941	87.30
2	10	10	1.320	1.799	0.231	2.030	107.14
3	25	4	1.896	1.799	0.332	2.131	135.10
4	50	2	2.288	1.799	0.400	2.199	158.18
5	100	1	2.653	1.799	0.464	2.263	183.25
6	200	1	2.999	1.799	0.524	2.323	210.58

Sumber : Hasil Perhitungan.

(Catatan: Nilai G diperoleh dari tabel 7 frekuensi harga G metode Log Pearson Type III)

Dari tabel 8, dapat dinyatakan bahwa hasil perhitungan curah hujan rencana untuk periode ulang 5 tahun = 87.30 mm, 10 tahun = 107.14 mm, 25 tahun = 135.10 mm, 50 tahun = 158.18 mm, 100 tahun = 183.25 mm, 200 tahun = 210.58 mm.

3. Uji Kesesuaian Distribusi Chi Square

a. Metode Log Person Type III

$$\text{Jumlah data} = 20$$

$$\text{Rerata} = 1,799$$

$$\text{Standar deviasi} = 0,174$$

$$Y_n = 0,523$$

Jumlah kelas

$$K = 1 + (3,322 \times \text{Log } n)$$

$$= 1 + (3,322 \times \log 20) = 5,3220 = 5$$

Jumlah kelas dibagi menjadi 5 kelas, $100/5 = 20$

Interval dari 20 adalah : 20. ; 40. ; 60. ; 80

Dimana diketahui $C_s = -0,4540$

$$80 \rightarrow G = -0,8555$$

$$\begin{aligned} \log X &= \log x + G \cdot S \\ &= 1,7991 + ((1,4200) \times 0,1748) \\ &= 2,1307 \end{aligned}$$

$$X = 10^{\log X}$$

$$= 10^{2,1307}$$

$$= 135,100 \text{ mm}$$

Tabel 9. Uji Chi – Square untuk Log Person Type III.

No	Nilai Batas Sub Kelas	Jumlah Data		$(OF-EF)^2$	$(OF-EF)^2/EF$
		OF	EF		
1	$X < 44.621$	4.000	4.000	0.000	0.000
2	$44.621 < X < 61.091$	4.000	4.000	0.000	0.000
3	$61.091 < X < 107.141$	2.000	4.000	4.000	1.000
4	$107.141 < X < 135.100$	0.000	4.000	16.000	4.000
5	$X < 135.100$	0.000	4.000	16.000	4.000
Jumlah		10.000	20.000	36.000	9.000

Sumber : Hasil Perhitungan.

$$EJ = \frac{20}{5} = 4$$

Banyak data (n) = 20

Taraf signifikan (α) = 5%

Derajat kebebasan (Dk) = $K - (P + 1)$

$$= 5 - (2 + 1)$$

$$= 2$$

X^2 standar = 5,991

$$X^2 \text{ hitung} = \frac{\sum (EJ - OJ)^2}{EJ} = \frac{9}{4} = 2,25$$

Karena X^2 hitung < X^2 standar, maka pengujian Chi Square pada distribusi Log Person Type III diterima.

4. Analisa Debit Banjir Rancana

a. Curah Hujan Efektif

Untuk mencari curah hujan rancangan efektif jam-jaman dalam periode ulang tertentu, data yang diperlukan:

Untuk prosedur perhitungannya dapat dilihat sebagai berikut:

$$T_r = 5 \text{ tahun}$$

$$R_{maks} = 87.30$$

$$C = 0,75 \text{ (koefisien pengaliran untuk pengunungan tersier)}$$

$$R_n = c \cdot R_{maks}$$

$$= 0,75 \times 87.30$$

$$= 65.4787 \text{ mm/hari}$$

$$\text{Jadi, curah hujan efektif} = 58,480\% \times R_n$$

$$= 58,480\% \times 65,4787$$

$$= 38,2922 \text{ mm/hari}$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dihitung dengan cara yang sama.

Untuk melihat rekapitulasi hasil perhitungan curah hujan efektif dapat dilihat pada Tabel. 10

Tabel 10. Rekapitulasi Perhitungan Curah Hujan Efektif.

Waktu (jam)	Ratio (%)	Curah Hujan Rencana (mm)						PMF
		5 Tahun	10 Tahun	25 Tahun	50 Tahun	100 Tahun	200 Tahun	
1	58.48	38.29	46.99	59.25	69.37	80.37	92.36	215.30
2	15.20	9.95	12.21	15.40	18.03	20.89	24.00	55.96
3	10.66	6.98	8.56	10.80	12.64	14.65	16.83	39.25
4	8.49	5.55	6.82	8.60	10.07	11.66	13.40	31.25
5	7.17	4.69	5.76	7.26	8.50	9.85	11.32	26.39
Hujan Efektif		65.47	80.35	101.32	118.63	137.43	157.93	368.16
Koefisien Pengaliran		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Probabilitas Hujan Maximum		87.30	107.14	135.10	158.18	183.25	210.58	490.89

Sumber : Hasil Perhitungan.

Dari tabel 10 di atas, maka diperoleh curah hujan efektif untuk periode ulang 5 tahun 65.4787 mm/hari, 10 tahun = 80.3557 mm/hari, 25 tahun = 101.3252 mm/hari, 50 tahun = 118.6368 mm/hari, 100 tahun = 137.4343 mm/hari, 200 tahun = 157.9334 mm/hari, QPMF 368,1671 mm/hari.

b. Analisa Debit Banjir Metode HSS Nakayasu

Untuk menganalisa debit banjir rancangan, terlebih dahulu harus dibuat hidrograf banjir pada sungai yang bersangkutan. Adapun data-data diketahui sebagai berikut:

$$\text{Luas DAS (A)} = 77,87 \text{ km}^2$$

$$\text{Panjang sungai utama (L)} = 60,00 \text{ km}$$

$$\text{Koefisien Pengaliran (c)} = 0,75$$

$$\text{Parameter alfa } (\alpha) = 2,00$$

$$\text{Hujan satuan (Ro)} = 1,00$$

Waktu antara hujan sampai debit puncak banjir (T_g)

$$T_g = 0,4 + (0,058 \times L)$$

$$= 0,4 + (0,058 \times 60)$$

$$= 3,88 \text{ jam}$$

Waktu hujan (T_r)

$$T_r = 0,5 \times T_g$$

$$= 0,5 \times 3,88$$

$$= 1,94 \text{ jam}$$

Waktu mencapai puncak (T_p)

$$T_p = T_g + (0,8 T_r)$$

$$= 3,88 + (0,8 \times 1,94)$$

$$= 5,432 \text{ jam}$$

$$T_{0,3} = \bar{\alpha} \times T_g$$

$$= 2 \times 3,88$$

$$= 7,76 \text{ jam}$$

$$T_p + T_{0,3} = 5,432 + 7,76$$

$$= 13,19 \text{ jam}$$

$$1,5T_{0,3} = 1,5 \times 7,76 = 11,64$$

$$2T_{0,3} = 2 \times 8$$

$$= 15,52 \text{ jam}$$

$$P + 1,5T_{0,3} = 5,432 + 11,64$$

$$= 17,07 \text{ jam}$$

$$T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3} = 5,432 + 7,76 + 11,64$$

$$= 24,83 \text{ jam}$$

$$Q_p = \frac{C \times R_o \times A}{3,6 (0,3 \times T_p + T_{0,3})}$$

$$= \frac{0,75 \times 1 \times 77,87}{3,6 (0,3 \times 5,432 + 7,76)}$$

$$= \frac{58,40}{33,80}$$

$$= 1,7278 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

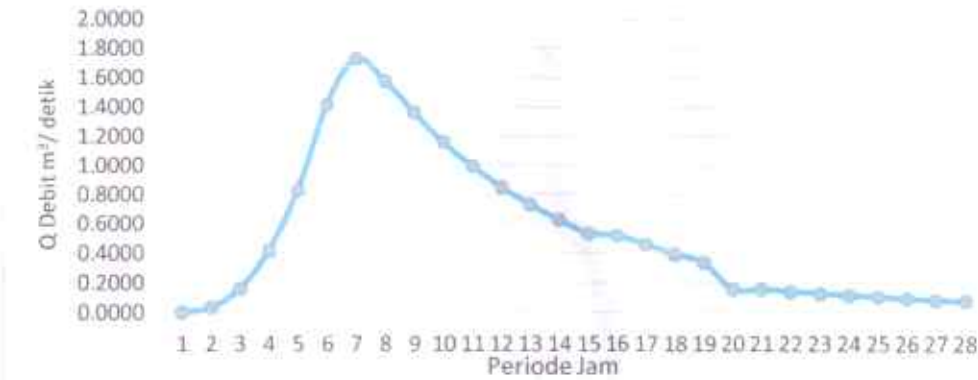
Tabel 11. Ordinat Hidrograf Satuan Sintetik dengan Metode Nakayasu.

t (jam)	Q (m ³ /dtk)	Keterangan
I	II	III
0	0.0000	Q Naik
1	0.0298	
2	0.1571	
3	0.4156	
4	0.8289	
5	1.4161	Q Puncak
5.432	1.7278	
6	1.5820	Q Turun 1
7	1.3656	
8	1.1600	

I	II	III
9	0.9933	Q Turun 2 Q Turun 3
10	0.8505	
11	0.7283	
12	0.6236	
13	0.5340	
13.192	0.5183	
14	0.4573	
15	0.3915	
16	0.3353	
17	0.1567	
17.072	0.1555	
18	0.1413	
19	0.1274	
20	0.1149	
21	0.1036	
22	0.0934	
23	0.0842	
24	0.0759	

Sumber : Hasil Perhitungan.

Berdasarkan tabel 11, diperoleh grafik hidrograf rancangan dengan metode HSS Nakayasu, yang dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Grafik Hidrograf Rancangan HSS Nakayasu.

Hidrograf banjir dengan metode HSS Nakayasu Q_{puncak} sebesar $1,727\text{m}^3/\text{dtk}$ dan berada pada waktu 5.432 jam.

Untuk hasil perhitungan masing-masing pada periode ulang 5, 10, 25, 50, 100, 200, Q_{PMF} tahun dapat dilihat pada lampiran 2.

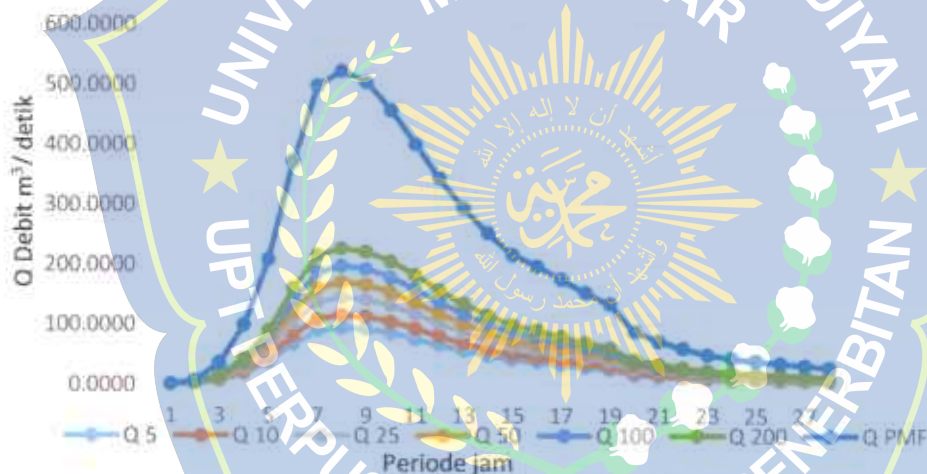
Adapun rekapitulasi hasil perhitungan debit banjir rencana dengan menggunakan metode HSS Nakayasu, dapat dilihat pada tabel 12

Tabel 12. Rekapitulasi Debit Banjir Rencana Metode HSS Nakayasu.

t (jam)	Q Total						
	5 Tahun	10 Tahun	25 Tahun	50 tahun	100 Tahun	200 Tahun	PMF
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	1.1394	1.3983	1.7632	2.0645	2.3916	2.7483	6.4067
2	6.3101	7.7438	9.7646	11.4329	13.2444	15.2199	35.4799
3	17.6849	21.7030	27.3666	32.0422	37.1191	42.6557	99.4370
4	37.1402	45.5785	57.4726	67.2919	77.9541	89.5813	208.8280
5	66.3917	81.4761	102.7379	120.2909	139.3505	160.1354	372.8521
5.432	89.0888	109.3301	137.8606	161.4144	186.9898	214.8804	498.5527
6	94.2200	115.6272	145.8010	170.7114	197.7599	227.2569	523.5080
7	91.8631	112.734	142.1538	166.4410	192.8129	221.5721	504.0267
8	85.3050	104.6866	132.0054	154.5588	179.0480	205.7540	458.3032
9	76.0164	93.2877	117.6318	137.7295	159.5521	183.3502	401.3805
10	65.5686	80.4660	101.4642	118.7996	137.6229	158.1501	344.8315
11	56.1447	68.9010	86.8813	101.7251	117.8430	135.4200	295.1049
12	48.0318	58.9448	74.3269	87.0259	100.8147	115.8518	252.5877
13	41.1290	50.4736	63.6451	74.5190	86.3262	99.2023	216.2873
13.19	37.5567	46.0897	58.1171	68.0466	78.8283	90.5860	198.3525
14	33.2810	40.8425	51.5007	60.2997	69.8539	80.2730	176.1536
15	29.0580	35.6600	44.9658	52.6483	60.9902	70.0873	153.9862
16	25.3151	31.0667	39.1738	45.8668	53.1342	61.0594	134.2916
17	17.0438	20.9162	26.3745	30.8806	35.7735	41.1093	88.0210
17.07	14.1768	17.3978	21.9379	25.6861	29.7559	34.1942	72.8212
18	11.7521	14.4222	18.1858	21.2928	24.6666	28.3458	60.1778
19	9.8139	12.0436	15.1865	17.7812	20.5985	23.6709	50.1280
20	8.2522	10.1272	12.7700	14.9517	17.3208	19.9043	44.0390
21	7.5140	9.2212	11.6275	13.6141	15.7712	18.1235	39.9054
22	6.7805	8.3211	10.4925	12.2852	14.2318	16.3545	35.9960
23	6.1142	7.5034	9.4615	11.0780	12.8333	14.7474	32.4589
24	5.5134	6.7661	8.5318	9.9894	11.5722	13.2983	29.2693

Sumber : Hasil Perhitungan.

Dari tabel 12, rekapitulasi hasil perhitungan debit banjir rencana metode HSS Nakayasu dapat dinyatakan bahwa debit banjir rencana maksimum periode ulang 5 tahun = $94,220 \text{ m}^3/\text{dtk}$, 10 tahun = $115,627 \text{ m}^3/\text{dtk}$, 25 tahun = $145,801 \text{ m}^3/\text{dtk}$, 50 tahun = $170,711 \text{ m}^3/\text{dtk}$, 100 tahun = $197,759 \text{ m}^3/\text{dtk}$, 200 tahun = $227,256 \text{ m}^3/\text{dt}$. Untuk grafik hidrograf banjir HSS Nakayasu dapat dilihat pada gambar 11 berikut:



Gambar 11. Grafik Rekapitulasi Hidrograf Banjir Rancangan Metode HSS Nakayasu.

Dari gambar 11, dapat dinyatakan bahwa debit puncak pada perhitungan hidrograf banjir dengan metode HSS Nakayasu pada periode ulang 200 tahun sebesar $120,3671 \text{ m}^3/\text{dtk}$ dan Q_{PMF} tahun sebesar $499,6127 \text{ m}^3/\text{dtk}$ pada waktu 5.432 jam.

5. Analisis Ketersediaan Air Irigasi dengan Metode F.J. Mock

a. Perhitungan Evapotranspirasi Terbatas (Et)

Evapotranspirasi terbatas (Et) dihitung dengan rumus berikut :

$E_{a=}$ $E_{to} - \Delta E$ dan $E_a = E_t$ Pada rumus 17 pada bab II

Pada rumus 19 pada bab II $E_{to} = C \cdot ET^*$ dihitung dengan rumus berikut :

Pada rumus 20 pada bab II, ET^* dihitung dengan rumus berikut :

$$ET^* = w (0,75 R_s - R_{n1}) + (1-w) f(U) (\epsilon_{\gamma} - \epsilon_d)$$

Berikut contoh perhitungan E_{to} pada bulan januari 1, berdasarkan data klimatologi pada lampiran 7 diperoleh nilai temperatur (t) = $33,7^{\circ}\text{C}$, maka untuk mendapatkan nilai w , ϵ_{γ} , $f(t)$ dilakukan interpolasi berdasarkan lampiran 3.

$$w = 0,81 + (33,7 - 33) \times ((0,82 - 0,81) / (34 - 33))$$

$$= 0,81 + 0,7 \times 0,01$$

$$= 0,817 \approx 0,82$$

$$\epsilon_{\gamma} = 53,20 + (33,7 - 33) \times ((53,20 - 50,40) / (34 - 33))$$

$$= 53,20 + 0,7 \times 2,8$$

$$= 52,2 \text{ mbar}$$

$$f(t) = 17,45 + (33,7 - 33) \times ((17,70 - 17,45) / (34 - 33))$$

$$= 17,45 + 0,7 \times 0,25$$

$$= 17,61 \approx 17,6$$

Selanjutnya menghitung nilai R_s .

$$R_s = (0,25 + 0,54 \frac{n}{N}) R_{\gamma}$$

Berdasarkan lampiran 4 dengan posisi lintang 3°LS diperoleh nilai

$$R_{\gamma} = 15,5$$

$$R_s = (0,25 + 0,54 \frac{28,7}{100}) 15,5 = 6,28$$

$$Rn_1 = f(t) \cdot f(\epsilon_d) \cdot f(\frac{n}{N})$$

$$f(t) = 17,6$$

$$\epsilon_d = \epsilon_y \times \text{Kelembaban udara}$$

$$= 52,2 \times (86,1 / 100)$$

$$= 52,2 \times 0,861$$

$$= 45,0 \text{ mbar}$$

$$f(\epsilon_d) = 0,34 - 0,44 \sqrt{\epsilon_d}$$

$$f(\epsilon_d) = 0,34 - 0,44 \sqrt{45,0}$$

$$= -2,61 \text{ mbar}$$

$$f(\frac{n}{N}) = 0,1 - 0,9 \frac{n}{N}$$

dengan penyinaran matahari (n) merupakan data klimatologi yang dapat dilihat pada lampiran 7.

$$= 0,1 - 0,9 \frac{28,7}{100} = 0,36$$

$$\text{jadi, } Rn_1 = 17,6 \times (-2,61) \times 0,36 = -16,5 \text{ mm (per setengah bulan)}$$

$$f(U) = 0,27^* (1 + 0,864 U)$$

$$= 0,27^* (1 + 0,864 \times 0,4)$$

$$= 0,36 \text{ m / detik}$$

$$E_{To} = C \cdot W (0,75 R_s - Rn_1) + (1-w) f(U) (\epsilon_y - \epsilon_d)$$

Berdasarkan lampiran 5 diperoleh $C = 1,1$ pada bulan januari.

$$\begin{aligned}\text{Jadi, } E_{To} &= 1,1 \times 0,82 (0,75 \times 6,28 - (-16,5) + (1 - 0,82) 0,36 \\ &\quad (52,2 - 45,0))\end{aligned}$$

$$E_{To} = 19,6 \text{ mm (per bulan)}$$



Tabel 13. Perhitungan Evaporasi Potensial (ET_O) Metode Penman Modifikasi Bulan Juli – Desember.

NO	URAIAN	SATUAN	BULAN												
			JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOV	DES	
1	DATA														
1	Temperatur (t)	C	33.7	33.8	34.2	33.5	33.9	33.2	30.1	32.2	30.6	28.2	31.4	27.0	
2	Kecelakaan Angin (U)	m/det	0.4	0.4	0.4	0.4	24.5	25.4	32.0	25.5	25.6	0.4	25.8	0.3	
3	Kelambapan Udara (RH)	%	86.1	78.5	86.8	86.1	77.4	87.3	87.4	86.6	86.4	80.3	86.2	80.3	
4	Penyinaran Matahari (n/N)	%	28.7	34.1	20.8	29.3	27.2	22.8	27.4	30.3	29.3	43.6	36.6	22.2	
11	ANALISA DATA														
1	ey	mbat	52.2	52.7	53.8	51.8	52.8	50.8	42.8	48.2	44.0	38.2	46.0	35.7	
2	w		0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.79	0.81	0.80	0.78	0.80	0.77	
3	(1-w)		0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.21	0.19	0.20	0.22	0.20	0.23	
4	F(T)		17.6	17.7	17.7	17.6	17.7	17.5	16.7	17.3	16.9	16.3	17.0	16.1	
5	ed = ey . RH		45.0	41.4	46.7	44.6	40.9	44.4	37.4	41.8	38.0	30.7	39.6	28.7	
6	(ey - ed)														
7	Ry	mm/hari	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4	
8	Rs = (0.25+(0.54 x n/N)) x Ry	mm/hari	6.28	6.86	5.65	6.09	5.48	4.92	5.33	5.92	6.17	7.57	6.94	5.70	
9	f(ed) = 0.34 - 0.44 ved	mbat	-2.61	-2.49	-2.67	-2.60	-2.47	-2.59	-2.35	-2.50	-2.37	-2.10	-2.43	-2.02	
10	f(n/N) = 0.1+(0.9 x (n/N))		0.36	0.41	0.29	0.36	0.34	0.30	0.35	0.37	0.36	0.49	0.43	0.30	
11	f(u) = 0.27 x (1+(0.864 x U))	m/detik	0.36	0.35	0.36	0.36	5.99	6.20	7.74	6.21	6.23	0.36	6.29	0.34	
12	Rn1 = f(t) x f(ed) x f(n/N)	mm/hari	-16.5	-17.9	-13.6	-16.6	-15.1	-13.8	-13.6	-16.1	-14.6	-16.9	-17.8	-9.7	
13	Rn = (0.75 x Rs) -Rn1	mm/hari	21.2	23.0	17.8	21.2	19.2	17.5	17.6	20.6	19.2	22.5	23.0	14.0	
14	Koefisien Bulanan Penman (C)		1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	1	1.1	1.1	1.1	1.1	
15	Evaporasi Potensi penman (Eto)														
	Eto = C x ((w x Rn) + (1-w)x (u)x(ey-ed))	mm/hari	19.6	21.6	15.1	16.0	25.8	19.5	20.4	24.3	25.2	20.0	28.9	12.5	

Setelah diperoleh besar evaporasi potensial (ETo) kemudian menghitung nilai evapotranspirasi terbatas (Et) pada bulan Januari I di tahun 2006 sesuai dengan persamaan 17 halaman 20 bab II yaitu :

$$E_a = ETo - \Delta E \text{ dan } E_a = Et$$

Dengan :

$$\begin{aligned}\Delta E &= ETo \times (m/20) \times (18-n)/100 \\ &= 19,6 \times (30/20) \times (18-7) \\ &= 3,23 \text{ mm (per bulan)}\end{aligned}$$

Jadi, $E_a = 4,18 - 0,69 = 3,49$ untuk perhitungan periode berikutnya dapat dilihat pada lampiran 8.

b. Keseimbangan Air di Atas Permukaan Tanah

Nilai ΔS pada bulan Januari diperoleh dengan rumus 21 pada bab II yaitu :

$$\begin{aligned}\Delta S &= P - E_a \\ &= 97 - 33,41 = 63 \text{ mm (per bulan)}\end{aligned}$$

Menghitung kelebihan air tanah (*Water Surplus*) dapat dihitung menggunakan rumus 22 pada bab II yaitu :

$$Ws = \Delta S - \text{Tampungan Tanah}$$

$$\begin{aligned}Ws &= 63 - 0 \text{ (dianggap 0 karena pada musim kemarau tidak ada air)} \\ &= 63 \text{ mm (per bulan)}\end{aligned}$$

Untuk perhitungan periode berikutnya dapat dilihat pada lampiran 8.

c. Aliran dan Penyimpanan Air Tanah (*Run off dan Groundwater Storage*)

a. Infiltrasi

Nilai infiltrasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus 22 pada bab II yaitu :

$$\begin{aligned} (I) &= WS \times i \\ &= 63 \times 0,20 \text{ (diasumsikan)} \\ &= 12,65 \text{ mm (per bulan)} \end{aligned}$$

Volume penyimpanan (V_n) berdasarkan rumus 23 pada bab II yaitu :

$$\begin{aligned} V_{(n)} &= k \cdot V_{(n-1)} + 0,5 \cdot (1-k) \cdot I_{(n)} \\ &= (0,5 \times 50) + (0,5 \times (1+0,5) \times 9,49) \\ &= 34,49 \text{ mm (per bulan)} \end{aligned}$$

Perubahan volume aliran air tanah (ΔV_n) berdasarkan rumus 24 pada bab II yaitu :

$$\begin{aligned} \Delta V_{(n)} &= V_{(n)} - V_{(n-1)} \\ &= 34,49 - 50 \text{ mm} \\ &= -15,51 \text{ mm (per bulan)} \end{aligned}$$

b. Limpasan (*Run Off*)

Aliran dasar dihitung berdasarkan rumus 25 pada bab II yaitu :

$$\begin{aligned} BF &= \text{Infiltrasi} - \text{perubahan volume air dalam tanah} \\ &= 12,65 - (-15,51) \end{aligned}$$

$$= 28,16 \text{ mm (per bulan)}$$

Aliran langsung dapat di hitung dengan menggunakan rumus 26 pada bab II yaitu :

$$\text{Dro} = \text{WS} - \text{I}$$

$$= 63 - 12,65$$

$$= 50,60 \text{ mm (per bulan)}$$

Limpasan dapat dihitung dengan menggunakan rumus 27 pada bab II yaitu :

$$\text{Ron} = \text{BF} + \text{Dro}$$

$$= 28,16 + 50,60$$

$$= 78,76 \text{ mm (per bulan)}$$

d. Debit aliran sungai

Debit aliran sungai dihitung menggunakan rumus sesuai dengan yang ada pada persamaan 28 pada Bab II

$$\text{Qn} = \text{A} \times \text{Ron}$$

$$= 15,91 \text{ km}^2 \times 201,10 \text{ mm (per bulan)}$$

$$= 6133391 \text{ m}^3 \text{ (per bulan)}$$

$$= 6133391 / (15 \times 24 \times 60 \times 60)$$

$$= 4,73 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Untuk perhitungan debit aliran sungai pada aliran sungai walannae-cenranae dapat dilihat pada tabel 14.

Tabel 14. Rekap hitungan debit aliran sungai Walannae-Centranae.

Tahun	Jan I	Jan II	Feb I	Feb II	Mar I	Mar II	Apr I	Apr II	Mei I	Mei II	Jun I	Jun II	Juli I	Juli II	Agustus I	Agustus II	Sep I	Sep II	Ok I	Ok II	Nov I	Nov II	Des I	Des II
2001	4.73	2.14	3.14	1.37	0.97	2.19	7.29	1.68	5.69	0.91	4.59	0.59	3.12	4.67	0.57	0.79	0.14	0.07	0.04	0.02	1.33	0.16	3.50	2.86
2002	4.69	11.02	3.29	1.76	1.44	2.86	1.41	3.75	7.45	2.69	8.35	1.29	4.66	1.68	7.59	3.10	0.61	0.30	0.15	0.08	0.04	0.02	0.01	0.57
2003	2.98	1.87	1.65	0.80	2.43	2.01	1.89	13.25	13.37	1.71	0.86	1.92	9.59	1.59	3.20	2.39	0.48	0.24	2.20	4.22	0.47	4.78	0.52	15.40
2004	1.50	0.75	0.38	3.61	5.48	0.65	4.51	2.85	4.74	0.61	0.31	0.15	1.18	0.14	0.42	2.35	0.23	0.12	0.06	0.03	0.01	0.01	3.57	5.14
2005	1.50	0.75	0.38	4.18	4.71	0.64	13.37	9.47	7.15	1.20	10.93	6.96	1.60	4.59	11.24	5.19	0.98	0.49	0.25	0.12	3.43	1.54	4.24	3.69
2006	1.50	0.75	0.38	2.35	0.30	0.73	0.86	0.28	3.94	0.38	0.19	1.93	1.27	3.75	4.34	2.67	0.48	0.24	0.12	0.06	0.03	0.02	0.01	2.83
2007	2.04	3.31	3.31	2.34	0.55	3.04	0.55	6.43	2.16	0.47	16.44	1.55	5.26	7.46	22.55	6.37	1.55	0.77	0.39	0.19	0.19	4.86	0.45	3.00
2008	2.50	2.89	2.28	5.06	6.02	2.26	9.05	5.42	5.69	4.39	13.22	5.46	8.22	1.17	8.03	3.15	2.84	0.53	0.85	4.78	1.50	4.85	5.64	1.37
2009	2.24	3.95	2.25	4.58	6.31	3.87	0.53	0.58	0.23	0.11	0.06	0.03	0.01	2.99	4.71	0.53	0.26	0.13	0.07	0.03	0.98	4.17	1.44	1.40
2010	2.77	0.95	2.23	5.12	2.45	1.34	2.05	0.86	7.00	0.70	4.67	4.45	7.00	8.92	10.61	3.23	1.85	4.04	2.95	8.30	5.64	2.62	3.18	5.00
2011	1.50	0.75	0.38	0.19	0.09	0.05	4.54	0.41	2.70	0.32	0.16	0.08	0.04	4.31	0.39	0.19	0.10	0.05	0.02	5.28	5.00	3.87	4.95	3.83
2012	1.50	0.75	0.38	5.65	0.71	3.64	2.50	6.29	5.73	0.81	0.40	0.20	9.71	3.81	0.86	3.14	0.46	0.23	5.07	0.49	0.86	2.11	3.25	1.26
2013	6.79	2.31	2.04	1.77	0.52	1.38	2.97	4.37	8.94	1.01	2.25	0.41	14.42	1.36	7.59	5.66	0.89	4.46	0.58	0.29	1.95	0.44	5.19	1.12
2014	6.40	2.16	0.99	5.05	1.90	3.24	2.02	1.09	8.04	1.10	3.10	1.58	1.72	3.57	8.19	3.81	0.72	0.36	3.05	2.30	2.31	3.60	0.46	1.56
2015	3.45	3.18	5.29	0.74	0.37	3.25	2.25	2.65	6.05	0.69	3.07	0.41	3.02	4.07	3.40	2.79	0.46	0.23	0.11	0.06	0.03	0.01	0.01	0.00
2016	3.78	3.44	3.11	4.86	2.84	2.32	4.53	3.94	1.39	0.36	0.18	0.09	3.97	4.09	2.60	2.88	0.44	0.22	3.17	3.48	5.31	0.65	0.32	3.01
2017	1.50	0.75	0.38	5.80	2.01	2.01	1.20	1.76	5.94	0.63	4.50	5.91	5.01	2.43	9.92	5.25	0.91	0.46	4.72	0.51	0.26	4.23	0.43	5.17
2018	1.89	0.92	1.65	4.62	1.57	1.94	4.74	2.08	8.35	5.42	0.87	3.73	0.55	6.76	1.85	2.73	0.43	0.21	4.15	0.41	0.21	3.56	0.36	5.17
2019	4.74	2.57	4.81	0.69	0.35	0.37	1.70	7.54	2.86	0.56	14.49	1.39	5.31	4.35	15.13	4.09	1.03	0.51	0.26	0.13	0.06	2.15	0.20	0.10
2020	2.29	6.39	3.13	2.65	4.65	0.62	3.31	0.42	1.56	0.22	4.39	0.43	5.06	0.57	9.82	3.91	0.75	4.97	0.59	0.76	5.25	0.54	0.27	0.94

6. Debit Andalan

Untuk menentukan debit andalan data diurutkan dari terbesar sampai terkecil lalu dihitung persentasi keandalannya dengan rumus : m / n . Sebelum penentuan debit andalan, terlebih dahulu mencari nilai probabilitas (%) menggunakan rumus 22 pada Bab II, sebagai contoh tabel 13

$$P\% = \frac{m}{n+1} \times 100\%$$

$$P\% = \frac{1}{15+1} \times 100\%$$

$$P\% = 6\%$$

- a. Perhitungan debit andalan dengan data curah hujan setengah bulanan

Tabel 15. Debit Andalan Curah Hujan Bulan Oktober – Maret.

rangking	p(%)	Ok I	Ok II	Nov I	Nov II	Des I	Des II	JAN I	JAN II	Feb I	Feb II	Mar I	Mar II
1	5%	5.07	4.30	5.64	4.86	5.84	5.40	6.79	11.02	5.99	5.80	6.31	5.87
2	10%	4.72	3.28	5.31	4.85	5.19	5.17	6.40	6.35	5.41	5.55	6.02	5.04
3	15%	4.45	4.78	5.25	4.78	4.99	5.17	4.74	3.95	5.31	5.12	5.48	3.64
4	20%	3.17	4.22	5.00	4.23	4.24	5.24	4.63	3.04	3.29	5.06	4.71	3.25
5	25%	3.05	3.96	3.43	4.17	3.57	5.00	3.78	3.31	3.13	5.05	4.65	3.24
6	30%	2.95	2.30	4.31	3.87	3.25	3.83	3.45	3.18	3.11	4.86	2.84	2.86
7	35%	2.20	0.76	1.95	3.60	3.08	3.69	2.98	2.89	2.28	4.62	2.45	2.32
8	40%	0.85	0.51	1.50	3.56	1.44	3.01	2.77	2.57	2.25	4.58	2.43	2.26
9	45%	0.59	0.49	0.58	2.62	0.52	3.00	2.50	2.31	2.23	4.18	2.01	2.01
10	50%	0.58	0.41	0.86	2.15	0.46	2.83	2.29	2.16	2.04	3.61	1.90	2.01
11	55%	0.39	0.29	0.47	2.11	0.45	1.56	2.24	1.87	1.65	2.65	1.57	1.94
12	60%	0.26	0.19	0.26	1.54	0.43	1.40	2.04	0.95	1.65	2.35	1.44	1.38
13	65%	0.25	0.13	0.21	0.65	0.36	1.37	1.89	0.92	0.99	2.34	0.95	1.34
14	70%	0.15	0.12	0.19	0.54	0.32	1.26	1.50	0.75	0.38	1.77	0.91	0.73
15	75%	0.12	0.08	0.06	0.44	0.27	1.12	1.50	0.75	0.38	1.76	0.52	0.65
16	80%	0.11	0.06	0.04	0.02	0.20	0.94	1.50	0.75	0.38	0.80	0.37	0.62
17	85%	0.07	0.06	0.03	0.02	0.01	0.57	1.50	0.75	0.38	0.74	0.35	0.60
18	90%	0.06	0.03	0.03	0.01	0.01	0.10	1.50	0.75	0.38	0.69	0.30	0.37
19	95%	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	1.50	0.75	0.38	0.19	0.09	0.05
Q	80%	0.11	0.06	0.04	0.20	0.20	0.94	1.50	0.75	0.38	0.80	0.37	0.62
	50%	0.58	0.41	0.86	2.15	0.46	2.83	2.29	2.16	2.04	3.61	1.90	2.01
	20%	3.17	4.22	5.00	4.23	4.24	5.14	4.63	3.44	3.29	5.06	4.71	3.25

Tabel 16. Debit Andalan Curah Hujan Bulan April – September.

ranking	p(%)	Apr I	Apr II	Mei I	Mei II	Jun I	Jun II	Juli I	Juli II	Agst I	Agst II	Sep I	Sep II
1	5%	13.37	13.25	28.45	5.42	16.44	6.96	14.42	8.92	22.55	6.37	2.84	4.97
2	10%	9.05	9.47	13.37	4.39	14.49	5.91	9.71	7.46	15.13	5.66	1.85	4.46
3	15%	4.74	7.54	8.94	7.69	13.22	5.46	9.59	6.76	11.24	5.25	1.55	4.04
4	20%	4.54	6.43	8.85	1.71	10.99	4.45	8.22	5.61	10.61	5.19	1.03	0.77
5	25%	4.53	6.29	8.04	1.20	8.35	3.73	7.00	4.93	9.92	4.09	0.98	0.93
6	30%	4.51	5.40	7.15	1.10	4.67	1.93	5.31	4.35	9.82	3.91	0.91	0.51
7	35%	3.31	4.37	7.00	1.01	4.50	1.92	5.26	4.31	8.19	3.91	0.89	0.49
8	40%	2.97	3.94	6.05	0.81	4.39	1.58	5.06	4.09	8.09	3.23	0.75	0.46
9	45%	2.50	3.73	5.94	0.70	3.10	1.55	5.01	4.07	7.39	3.15	0.72	0.36
10	50%	2.35	2.85	5.79	0.65	3.01	1.39	4.66	3.75	7.55	3.14	0.61	0.30
11	55%	2.05	2.63	5.65	0.63	2.25	1.29	3.97	3.51	4.71	3.10	0.48	0.24
12	60%	2.02	2.08	4.73	0.61	0.87	0.43	3.02	2.98	4.34	2.93	0.48	0.24
13	65%	1.89	1.99	3.94	0.56	0.46	0.41	2.72	2.43	3.41	2.88	0.46	0.23
14	70%	1.70	2.05	2.86	0.47	0.40	0.41	1.60	1.83	3.20	2.87	0.46	0.23
15	75%	1.40	0.86	2.70	0.38	0.31	0.20	1.27	1.36	2.60	2.79	0.44	0.22
16	80%	1.26	0.58	2.16	0.36	0.19	0.15	1.18	1.17	1.85	2.73	0.43	0.21
17	85%	0.86	0.42	1.56	0.32	0.18	0.09	0.35	0.68	0.86	2.31	0.26	0.13
18	90%	0.85	0.41	1.39	0.22	0.16	0.08	0.04	0.57	0.47	0.91	0.23	0.12
19	95%	0.55	0.38	0.23	0.11	0.04	0.01	0.01	0.14	0.39	0.19	0.10	0.05
Q	80%	1.20	0.58	2.16	0.36	0.19	0.15	1.18	1.17	1.85	2.73	0.43	0.21
	50%	2.35	2.85	5.79	0.65	3.07	1.39	4.66	3.75	7.55	3.14	0.61	0.30
	20%	4.54	6.43	8.85	1.71	10.99	4.45	8.22	5.61	10.61	5.19	1.03	0.77



Gambar 12. Grafik Debit Andalan dengan Curah Hujan.

Pada gambar 12 dapat kita lihat dari hasil memperoleh nilai-nilai debit andalan memiliki ketersediaan air pada bulan November 1, dimana kondisi basah

(Q20%)= 3,17 m³/dtk. Kondisi normal (Q50%) = 0,58% m³/dtk. Dan kondisi kering (Q80%) = 0,01 m³/dtk.

Untuk keperluan irigasi, debit minimum sungai untuk kemungkinan terpenuhi ditetapkan 80% agar mendapatkan perhitungan debit andalan yang baik, untuk itu diperlukan data pencatatan debit dengan jangka waktu panjang.

Berdasarkan tabel 15 dan 16 dapat dilihat Q80 rata-rata
= $(0,11+0,006+0,04+0,20+0,20+0,94+1,50+0,75+0,38+0,80+0,37+0,62+1,20+0,58+2,16+0,36+0,19+0,15+1,18+1,17+1,85+2,73+0,43+0,21) / 24$
= 0,76 m³/dtk

7. Analisa Sedimen

Perhitungan sedimen dengan menggunakan persamaan $A = R.K.L.S.C.P$

a) Erosivitas

Tabel 17. Perhitungan indeks erosivitas hujan (EI30) pada stasiun camming:

Bulan	R (mm)	E ton.m/ha.cm	I30	EL30 ton cm/ha.jam
1	2	3	4	5
januari	145.11	3029.74	0.64856962	19.64999574
februari	119.39	2456.48	0.60370358	14.82987851
maret	106.37	2169.71	0.57617876	12.50139706
april	235.58	5100.64	0.74760211	38.13246431
mei	359.13	8025.56	0.81639202	65.52001749
juni	438.03	9935.51	0.84303179	83.75954482
juli	249.34	5421.55	0.75784383	41.08684542
agustus	94.58	1912.40	0.54765147	10.47327744
september	76.50	1522.35	0.49532837	7.540617114
oktober	105.80	2157.25	0.57488752	12.40173981
november	138.82	2888.85	0.63859276	18.44800647
desember	130.39	2700.61	0.62425625	16.85870337
Re rata	183.25	3943.39	0.66	28.43
total tahunan	2199.04	47320.64	7.87	341.20

Tabel 18. Perhitungan indeks erosivitas hujan (EI30) pada stasiun maradda.

Bulan	R (mm)	E ton m/ha.cm	I30	EI30 ton cm/ha.jam
1	2	3	4	5
januari	92.90	1435.80	0.54325262	7.798366549
februari	104.11	1608.64	0.57098946	9.185163364
maret	99.10	1531.30	0.5590374	8.560529318
april	168.85	2609.08	0.68162597	17.78415765
mei	271.30	4192.14	0.7725141	32.38488168
juni	214.25	3318.33	0.73025465	24.23224246
juli	170.20	2629.94	0.6833146	17.97075648
agustus	17.75	737.84	0.3807648	2.80941743
september	63.10	975.02	0.44780674	4.366224783
oktober	68.10	1052.28	0.46656938	4.909637718
november	125.70	1942.32	0.61576898	11.96022052
desember	99.10	1531.30	0.5590374	8.560529318
Re rata	127.08	1963.64	0.58	12.54
total tahunan	1524.96	23563.68	7.01	150.52

Tabel 19. Perhitungan erosivitas hujan (EI30) pada stasiun Bancee.

Bulan	R (mm)	E ton m/ha.cm	I30	EI30 ton cm/ha.jam
1	2	3	4	5
januari	178.70	2761.28	0.69353618	19.15048511
februari	175.85	2717.24	0.6901857	18.75402269
maret	141.56	2187.34	0.64299989	14.06457211
april	177.88	2748.54	0.69257403	19.03562848
mei	262.24	4052.10	0.76669097	31.0670604
juni	249.80	3859.92	0.75817358	29.26490968
juli	193.76	2994.04	0.71007042	21.25977837
agustus	68.07	1051.80	0.46645622	4.906195957
september	81.84	1264.60	0.51202474	6.475074536
oktober	130.92	2023.02	0.62519764	12.64787101
november	115.52	1784.95	0.5959054	10.6366117
desember	177.01	2735.22	0.69156251	18.91575561
Re rata	162.76	2515.00	0.65	17.18
total tahunan	1953.14	30180.04	7.85	206.18

b) Erodibilitas

Erodibilitas dihitung menggunakan rumus sesuai dengan yang ada pada halaman 29 Bab II

$$\text{Persamaan : } K = \{ 2.713 \times 10^{-4} - (12-OM)M^{1.14} + 3,25 (S-2) + 2,5 (P-3)/100 \}$$

Dari data lapangan diperoleh :

Nilai :

OM = Persen unsur organik pada daerah ini diambil 0.05

S = kode klarifikasi struktur tanah antara lain :

very line line granular = 1

line granular = 2

med or coarse granular = 3

block plaly or massive = 4

p = permeabilitas tanah

= 5×10^{-14} (lempung pasir) = 0,001

m = presentasi ukuran partikel (% debu + pasir sangat halus) x
100- % liat

Maka diperoleh

$$K = \{ 2.713 \times 10^{-4} - (12-OM)M^{1.14} + 3.25 (S-2) + 2.5 (P-3)/100 \}$$

$$= \{ 2.713 \times 10^{-4} - (12-0.05) \times 1213^{1.14} + 3.25 (2-2) + 2.5 (0.01-3)/100 \}$$

$$= 0,031$$

c) Faktor Panjang Dan Kemiringan Lereng

Faktor panjang dan kemiringan lereng dihitung menggunakan rumus sesuai dengan yang ada pada halaman 33 Bab II

Persamaan

$$LS = (L / 100)^{0.5} (0.0139 \times S^2 + 0.0965 \times S + 0.0136)$$

Dengan panjang lereng $L = 200 \text{ m}$

$$\begin{aligned}
 LS &= (L / 100)^{0.5} (0.0139 \times S^2 + 0,0965 \times S + 0,0136) \\
 &= 200 / 100)^{0.5} (0.0139 \times 2^2 + 0,0965 \times 2 + 0,0136) \\
 &= 20 / 10 \ 0.0139 \times 4^2 + 0,0965 \times 2 + 0,0136 \\
 &= 1,2352
 \end{aligned}$$

d) Pendugaan Erosi Potensial Dan Erosi Aktual

Pendugaan erosi potensial dan erosi aktual dapat di hitung dengan menggunakan rumus 33 pada bab II yaitu :

$$\begin{aligned}
 E_{pot} &= EI_{30} \times K \times LS \times A \\
 &= 232,63 \times 0,031 \times 1,24 \times 77,78 \\
 &= 693,641186 \text{ ton/th} \\
 &= 0,006936 \text{ ton/ha/th}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{akt} &= E_{pot} \times CP \\
 &= 693,641186 \times 0,5 \\
 &= 346,820593 \text{ ton/th} \\
 &= 3,46821 \text{ ton/ha/th}
 \end{aligned}$$

e) Pendugaan laju sedimentasi

Pendugaan laju sedimen di hitung dengan menggunakan rumus 35 pada bab II yaitu :

$$SDR = \frac{s (1 - 0,8683 \times A^{-0,2018})}{2 (s + 50 \times n)} + 0,868 \times A^{-0,2018}$$

$$SDR = \frac{2 (1 - 0,8683 \times 77,78^{-0,2018})}{2 (2 + 50 \times 0,08)} - 0,868 \times 77,78^{-0,2018}$$

SDR = 0,369

Bj tanah = 1,25 ton/m³ (diambil pada tabel 4 berat jenis tanah Bab II)

laju sedimen = Eakt x SDR

= 3,46821 x 0,369

= 1,2824 /1,25

= 1,0260 m³/th

S = 10,851 x H^{3,126}

= 10,851 x 15^{3,126}

= 51,515 m³/th

B. Waduk

1. Perhitungan Volume Tampungan Waduk

Hasil perhitungan elevasi, beda tinggi dan luas waduk disajikan pada tabel 22

Tabel 20. elevasi, beda tinggi, dan luas area

No.	Titik Elevasi (m)	Beda Tinggi (m)	Luas Area (Ha)
0	El.0 +164	5.00	0.00
1	El.1 +169	5.00	0.00
2	El.2 +174	5.00	5400.00
3	El.3 +179	5.00	48100.00
4	El.4 +184	5.00	168400.00
5	El.5 +189	5.00	361000.00
6	El.6 +194	5.00	614200.00
7	El.7 +199	5.00	938400.00
8	El.8 +204	5.00	1321400.00
9	El.9 +209	5.00	1545166.67
10	El.10 +214	5.00	1765166.67
11	El.11 +219	5.00	1985166.67

Dengan menggunakan metode perhitungan topografi hasil pengukuran pada tahun 2016, perhitungan volume antar kontur dan perhitungan volume tampungan dapat dihitung dengan menggunakan rumus 37 pada bab II yaitu :

a) Perhitungan volume antar kontur

Volume pada elevasi kontur 1 (V1)

$$V1 = \frac{1}{3} \cdot \Delta x (F_{0,00} + F_{164} + \sqrt{F_{0,00} \cdot F_{164}})$$

$$V1 = \frac{1}{3} \times 5,0 (0 + 0,00 + \sqrt{0,0 \times 0,00})$$

$$V1 = 0,00 \text{ ha}$$

Volume pada elevasi kontur 2 (V2)

$$V2 = \frac{1}{3} \cdot \Delta x (F_{164} + F_{169} + \sqrt{F_{164} \cdot F_{169}})$$

$$V2 = \frac{1}{3} \times 5,0 (0 + 0,00 + \sqrt{0,0 \times 0,00})$$

$$V2 = 0,00 \text{ ha}$$

Volume pada elevasi kontur 3 (V3)

$$V3 = \frac{1}{3} \cdot \Delta x (F_{169} + F_{174} + \sqrt{F_{169} \cdot F_{174}})$$

$$V3 = \frac{1}{3} \times 5,0 (0,00 + ,5400,00 + \sqrt{0,00 \times 5400,00})$$

$$V3 = 9000,000 \text{ ha}$$

Volume pada elevasi kontur 4 (V4)

$$V3 = \frac{1}{3} \cdot \Delta x (F_{174} + F_{179} + \sqrt{F_{174} \cdot F_{179}})$$

$$V3 = \frac{1}{3} \times 5,0 (5400,00 + 168400,00 + \sqrt{5400,00 \times 48100,00})$$

$$V3 = 116027,42 \text{ ha}$$

Volume pada elevasi kontur 4 (V4)

$$V4 = \frac{1}{3} \cdot \Delta x (F_{179} + F_{184} + \sqrt{F_{179} \cdot F_{184}})$$

$$V4 = \frac{1}{3} \times 5,0 (48100,00 + 168400,00 + \sqrt{48100,00 \times 168400,00})$$

$$V4 = 510833,70 \text{ ha}$$

Volume pada elevasi kontur 5 (V5)

$$V5 = \frac{1}{3} \cdot \Delta x (F_{184} + F_{189} + \sqrt{F_{184} \cdot F_{189}})$$

$$V5 = \frac{1}{3} \times 5,0 (168400,00 + 361000,00 + \sqrt{168400,00 \times 361000,00})$$

$$V5 = 1293268,58 \text{ ha}$$

Volume pada elevasi kontur 6 (V6)

$$V6 = \frac{1}{3} \cdot \Delta x (F_{189} + F_{194} + \sqrt{F_{189} \cdot F_{194}})$$

$$V6 = \frac{1}{3} \times 5,0 (361000,00 + 614200,00 + \sqrt{361000,00 \times 614200,00})$$

$$V6 = 2410130,19 \text{ ha}$$

Volume pada elevasi kontur 7 (V7)

$$V7 = \frac{1}{3} \cdot \Delta x (F_{194} + F_{199} + \sqrt{F_{194} \cdot F_{199}})$$

$$V7 = \frac{1}{3} \times 5,0 (614200,00 + 938400,00 + \sqrt{614200,00 \times 938400,00})$$

$$V7 = 3852978,75 \text{ ha}$$

Volume pada elevasi kontur 8 (V8)

$$V8 = \frac{1}{3} \cdot \Delta x (F_{199} + F_{204} + \sqrt{F_{199} \cdot F_{204}})$$

$$V8 = \frac{1}{3} \times 5,0 (938400,00 + 1321400,00 + \sqrt{938400,00 \times 1321400,00})$$

$$V8 = 5622256,10 \text{ ha}$$

Volume pada elevasi kontur 9 (V9)

$$V9 = \frac{1}{3} \cdot \Delta x (F_{204} + F_{209} + \sqrt{F_{204} \cdot F_{209}})$$

$$V9 = \frac{1}{3} \times 5,0 (132400,00 + 1545166,67 + \sqrt{132400,00 \times 1545166,67})$$

$$V9 = 7159127,46 \text{ ha}$$

Volume pada elevasi kontur 10 (V10)

$$V10 = \frac{1}{3} \cdot \Delta x (F_{209} + F_{214} + \sqrt{F_{209} \cdot F_{214}})$$

$$V10 = \frac{1}{3} \times 5,0 (1545166,67 + 1765166,67$$

$$= \sqrt{1545166,67 \times 1765166,67})$$

$$V10 = 7159127,46 \text{ ha}$$

Volume pada elevasi kontur 11 (V11)

$$V11 = \frac{1}{3} \cdot \Delta x (F_{214} + F_{219} + \sqrt{F_{214} \cdot F_{219}})$$

$$V11 = \frac{1}{3} \times 5,0 (1765166,67 + 1985166,67$$

$$= \sqrt{1765166,67 \times 1985166,67})$$

$$V11 = 9375833,98 \text{ ha}$$

b). Perhitungan volume tampungan

$$V'1 = V_0 + V_1 = 0,00 + 0,00 = 0,00 \text{ m}^3$$

$$V'2 = V_1 + V_2 = 0,00 + 900,00 = 900,00 \text{ m}^3$$

$$V'3 = V_2 + V_3 = 900,00 + 116027,42 = 125027,42 \text{ m}^3$$

$$V'4 = V_3 + V_4 = 125027,42 + 510833,70 = 635861,12 \text{ m}^3$$

$$V'5 = V_4 + V_5 = 510833,70 + 1293268,58 = 1929129,70 \text{ m}^3$$

$$V'6 = V_5 + V_6 = 1293268,58 + 2410130,19 = 4339259,90 \text{ m}^3$$

$$V'7 = V_6 + V_7 = 2410130,19 + 3852978,75 = 8192238,65 \text{ m}^3$$

$$V'8 = V_7 + V_8 = 3852978,75 + 5622256,10 = 13814494,75 \text{ m}^3$$

$$V'9 = V_8 + V_9 = 5622256,10 + 7159127,46 = 20973622,21 \text{ m}^3$$

$$V'10 = V_9 + V_{10} = 7159127,46 + 8269734,56 = 29243356,76 \text{ m}^3$$

$$V'11 = V_{10} + V_{11} = 8269734,56 + 9375833,98 = 38799083,77 \text{ m}^3$$

Adapun penampang memanjang waduk sesuai dengan elevasi pada waduk dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 13. Penampang memanjang waduk.

Dari gambar 15, dapat dinyatakan bahwa elevasi dasar waduk adalah +164,00 dan elevasi tertinggi waduk di elevasi +219,00.

Hasil perhitungan volume antar kontur dan volume tampungan waduk hasil dari pengukuran pada tahun 2016 dapat dilihat pada tabel 21, sebagai berikut;

Tabel 21. Perhitungan Volume Tampungan Waduk

No.	Elevasi Kontur (m)	Beda Tinggi (m)	Luas Area (ha)	Volume Kontur (m ³)	Volume Tampungan (m ³)
0	El.0 +164	5.00	0.00	0	0
1	El.1 +169	5.00	0.00	0	0
2	El.2 +174	5.00	5400.00	9000	9000
3	El.3 +179	5.00	48100.00	116027.42	125027.42
4	El.4 +184	5.00	168400.00	510833.70	635861.12
5	El.5 +189	5.00	361000.00	1293268.58	1929129.70
6	El.6 +194	5.00	614200.00	2410130.19	4339259.90
7	El.7 +199	5.00	938400.00	3852978.75	8192238.65
8	El.8 +204	5.00	1321400.00	5622256.10	13814494.75
9	El.9 +209	5.00	1545166.67	7159127.46	20973622.21
10	El.10 +214	5.00	1765166.67	8269734.56	29243356.76
11	El.11 +219	5.00	1985166.67	9375833.98	38799083.77

Sumber : hasil perhitungan

2. Analisa tampungan mati

Tabel 22. Analisa Tampungan Mati

Elevasi	Luas		INT. vol.	Total vol	EL. Dead Storage
	Luas Genangan	Genangan rata - rata			
164	0.00	0.00	0.00	0.00	+ 169.95
169	0.00	0.00	0.00	0.00	
174	5400.00	2700.00	13500.00	13500.00	
179	48100.00	26750.00	133750.00	147250.00	
184	168400.00	108250.00	541250.00	688500.00	
189	361000.00	264700.00	1323500.00	2012000.00	
194	614200.00	487600.00	2438000.00	4450000.00	
199	938400.00	776300.00	3881500.00	8331500.00	
204	1321400.00	1129900.00	5649500.00	13981000.00	
209	1545166.67	1433283.33	7166416.67	21147416.67	
214	1765166.67	1655166.67	8275833.34	29423250.00	
219	1985166.67	1875166.67	9375833.34	38799083.34	

Elevasi Dasar Sungai = ± 164,00 m

Debit Sedimen Rerata / Tahunan = 51,51

Rencana Umur Efektif Waduk = 50 tahun

Volume Dead Storage = $51,51 \times 50,00 = 2575,50 \text{ m}^3$

Elevasi Dead Storage = ± 169,95

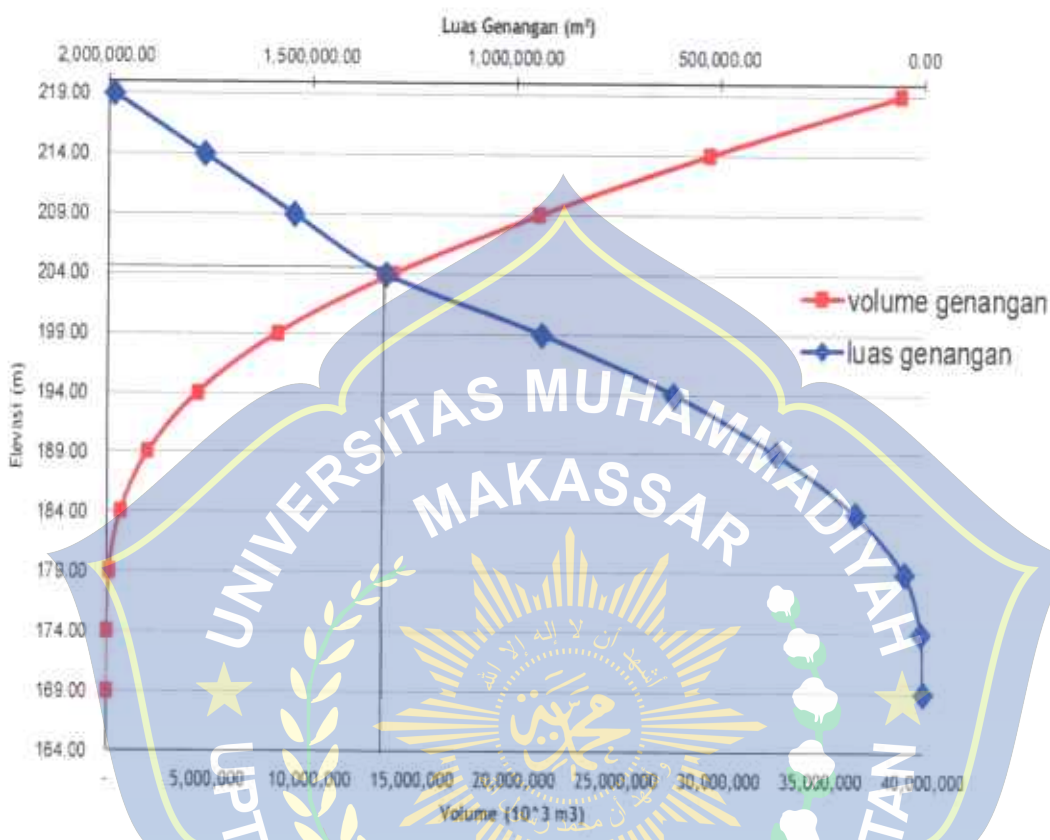
3. Analisa Tampungannya efektif

Dalam kapasitas tampungan tidak harus terpaku pada suatu desa atau lokasi waduk, namun juga Berdasarkan pengukuran peta topografi pada tahun 2016, luas permukaan genangan dan volume tampungan waduk dapat dilihat di bawah ini pada tabel 23:

Tabel 23. Hubungan elevasi, Luas Genangan dan Volume Genangan Waduk

Elevasi (m)	Luas Genangan (m ²)	Volume Genangan (m ³)	Kumulatif Volume Genangan (m ³)
164	0,00	-	-
169	0,00	-	-
174	5400,00	13,500	13,500
179	48100,00	133,750	147,250
184	168400,00	541,250	688,500
189	361000,00	1,323,500	2,012,000
194	614200,00	2,438,000	4,450,000
199	938400,00	3,881,500	8,331,500
204	1321400,00	5,649,500	13,981,000
209	1545166,67	7,166,417	21,147,417
214	1765166,67	8,275,833	29,423,250
219	1985166,67	9,375,833	38,799,083

Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 14. Grafik Hubungan Elevasi, Luas Genangan dan Volume Genangan

Dari gambar 14 hubungan elevasi, luas genangan, dan volume tampungan, didapatkan elevasi muka air normal adalah $\pm 205,65$ m dengan volume tampungan $14.515.432,28 \text{ m}^3$ dan luas genangan $1.311.645,54 \text{ m}^2$.
Tampungan air secara optimal pada musim hujan dan kemudian dioperasikan selama musim kemarau untuk melayani kebutuhan air irigasi. Daya tampung topografi untuk menampung air yaitu volume maksimum kolam tampungan yang terbentuk karena dibangun suatu Waduk

Tabel 24. Analisa Tampunguan Efektif waduk.

Bulan		Debit Andalan	Vol.Inflow m3/det	Kum.Inflow m3/det	Δ Volume m3/det
jan	3.36	1.13	3026.59	3026.59	3026.59
		2.23	5972.83	8999.42	8999.42
feb	3.42	0.59	1580.26	10579.68	10579.68
		2.83	7579.87	18159.55	18159.55
Mar	2.44	0.49	1312.42	19471.97	19471.97
		1.95	5222.88	24694.85	24694.85
Apr	3.49	0.89	2383.78	27078.62	27078.62
		2.6	6963.84	34042.46	34042.46
Mei	4.5	1.26	3374.78	37417.25	37417.25
		3.24	8678.02	46095.26	46095.26
jun	2.4	0.17	455.33	46550.59	46550.59
		2.23	5972.83	52523.42	52523.42
jul	5.38	1.17	3133.73	55657.15	55657.15
		4.21	11276.06	66933.22	66933.22
Agt	7.65	2.29	6133.54	73066.75	73066.75
		5.36	14356.22	87422.98	87422.98
Sep	0.77	0.32	857.09	88280.06	88280.06
		0.45	1205.28	89485.34	89485.34
Okt	0.58	0.09	241.06	89726.40	89726.40
		0.49	1312.42	91038.82	91038.82
Nov	6.11	1.5	4017.60	95056.42	95056.42
		4.61	12347.42	107403.84	107403.84
Des	2.22	0.57	1526.69	108930.53	108930.53
		1.65	4419.36	113349.89	113349.89
minimum					3026.59
maksimum					113349.89
Total Tampunguan efektif					110323.30

Keterangan :

1. Debit Inflow (Debit Andalan)

2. Vol. Inflow = inflow * detik * menit * jam * jumlah hari (bulan)

3. Kum. Vol. Inflow = Kum. Vo. Inflow + Vol. Inflow

4. Analisa Tampungan banjir

Muka air Banjir PMF (MAB) pada elevasi 214,94, dengan volume tampungan 31.562.609,27 m³ dan luas genangan 1.758.949,66 m² dapat di lihat pada lengkung elevasi luas genangan dan volume waduk.



Gambar 15. Grafik Hubungan Elevasi, Luas Genangan dan Volume Genangan

C. Penelusuran Banjir (Flood Roating)

Penelusuran banjir melalui pelimpah ini bertujuan mendapatkan hubungan antara pengeluaran (*outflow*) dan elevasi muka air waduk yang dimulai dari elevasi ambang pelimpah.

Diketahui :

$$K = 12.00$$

$$X = 0.1$$

$$\Delta t = 1$$

$$C_0 = \frac{k \cdot x - 0,5 \Delta t}{k - k \cdot x + 0,5 \Delta t}$$

$$C_0 = \frac{12,00 \times 0,1 - 0,5 \times 1}{12,00 - 12,00 \times 0,1 + 0,5 \times 1}$$

$$= 0,130$$

$$C_1 = \frac{k \cdot x + 0,5 \Delta t}{k - k \cdot x + 0,5 \Delta t}$$

$$C_1 = \frac{12,00 \times 0,1 + 0,5 \times 1}{12,00 - 12,00 \times 0,1 + 0,5 \times 1}$$

$$= 0,304$$

$$C_2 = \frac{k - k \cdot x - 0,5 \Delta t}{k - k \cdot x + 0,5 \Delta t}$$

$$C_2 = \frac{12,00 - 12,00 \times 0,1 + 0,5 \times 1}{12,00 - 12,00 \times 0,1 + 0,5 \times 1}$$

$$= 0,304$$

$$t = 6 = Q = 0,130 \times 6,41 + 0,304 \times 0,00 + 0,304 \times 0,00 = 0,833$$

$$t = 6 = Q = 0,130 \times 35,48 + 0,304 \times 6,41 + 0,304 \times 0,833 = 6,8144$$

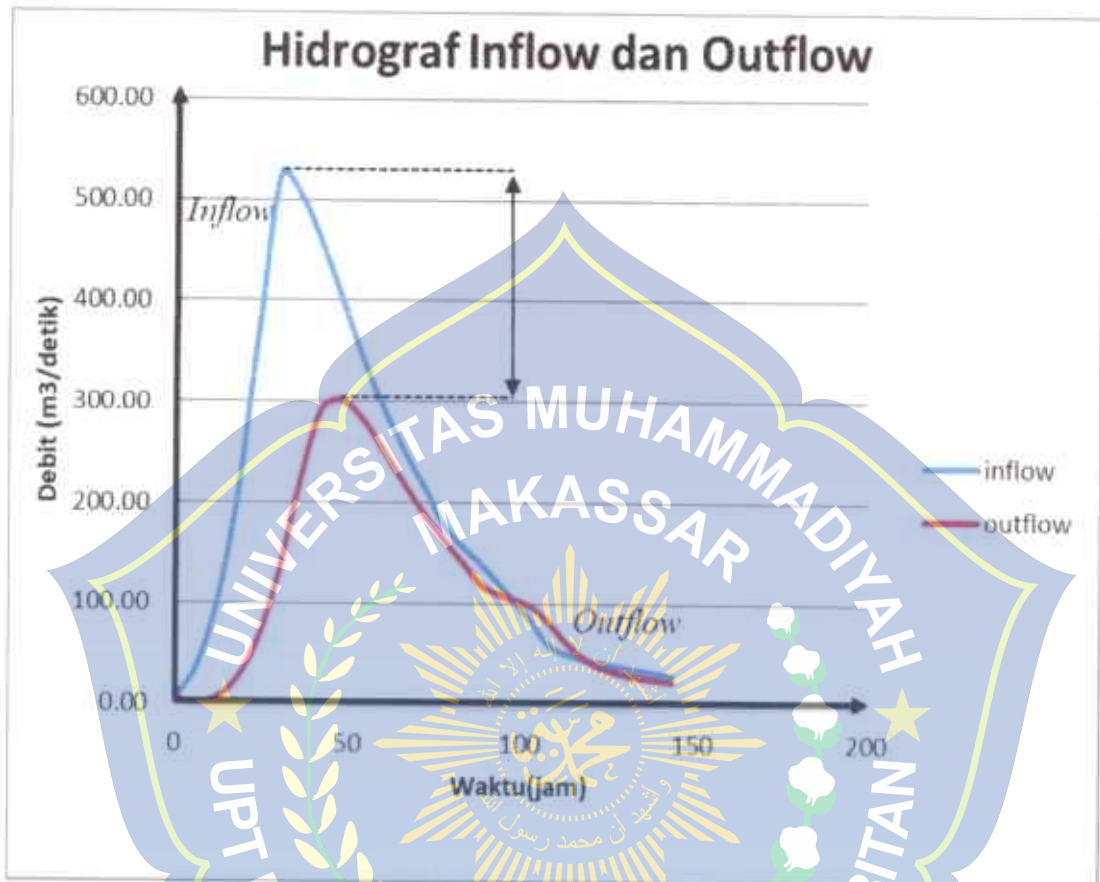
Adapun hasil perhitungan penelusuran banjir dapat dilihat pada tabel 25 berikut:

Tabel 25. Perhitungan penelusuran banjir QPMF

No	t (jam)	Inflow (m ³ /dtk)	C ₀ I ₂	C ₁ I ₁	C ₂ I ₁	Outflow (m ³ /dtk)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	6.41				6.41
2	6	35.48	20.94	-10.75	10.20	0.83
3	12	99.44	67.46	-32.02	35.43	6.81
4	18	208.83	154.13	-68.42	85.71	25.78
5	24	372.85	290.84	-122.99	167.85	65.21
6	30	523.51	448.18	-173.12	275.06	131.78
7	36	504.03	513.77	-166.64	347.13	221.46
8	42	458.30	481.16	-151.43	329.74	292.00
9	48	401.38	429.84	-132.49	297.36	301.57
10	54	344.83	373.11	-113.67	259.43	283.18
11	60	295.10	319.97	-97.13	222.84	252.93
12	66	252.59	273.85	-82.98	190.87	220.08
13	72	216.29	234.44	-70.90	163.53	189.45
14	78	176.15	196.22	-57.55	138.67	162.50
15	84	153.99	165.07	-50.17	114.90	138.05
16	90	134.29	144.14	-43.62	100.52	115.54
17	102	88.02	111.16	-28.23	82.93	99.39
18	108	60.18	74.10	-18.96	55.14	82.48
19	114	50.13	55.15	-15.62	39.53	59.66
20	120	44.04	47.08	-13.59	33.49	42.95
21	126	39.91	41.97	-12.22	29.75	34.02
22	132	36.00	37.95	-10.92	27.03	28.92
23	138	32.46	34.23	-9.74	24.49	25.60
24	144	29.27	30.86	-8.68	22.19	22.95

Sumber : Hasil Perhitungan.

Dari tabel 25 hasil perhitungan dapat dinyatakan bahwa $Q_{Outflow}$ maksimum sebesar 301,57 m³/dtk pada. Adapun grafik penelusuran banjir, dapat dilihat pada gambar 16, berikut:



Gambar 16. Grafik hubungan antara inflow (I) dan outflow (O).

Dari gambar 16, grafik penelusuran banjir dapat dinyatakan bahwa inflow sebesar $523,51 \text{ m}^3/\text{dtk}$ diperoleh outflow sebesar $301,57 \text{ m}^3/\text{dtk}$. Sehingga debit banjir terkendali sebesar $221,93 \text{ m}^3/\text{dtk}$.

D. Perhitungan Usia guna waduk

Perhitungan usia guna waduk dapat dihitung dengan menggunakan rumus 38 pada bab II yaitu :

usia guna waduk = vol tamp. Mati / laju sedimen

$$= 51,514 \text{ m}^3 / 1,026 \text{ ton/th}$$

$$= 50,2116 \text{ tahun}$$

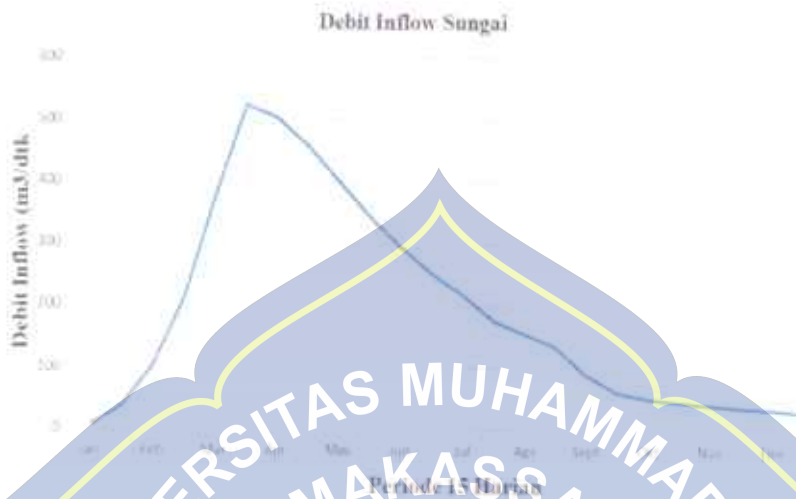
E. Operasi Waduk

Tabel 26 Debit Inflow 15 Harian (m³/detik.hari).

Bulan	Periode	Q Inflow	n hari	Q inflow Volume	Akumulasi Q inflow
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3) x	(6)
Jan	I	6.41	15	96.15	96.15
	II	35.48	16	567.68	663.83
Feb	I	99.44	15	1491.6	2155.43
	II	208.83	16	2714.79	4870.22
Mar	I	372.85	15	5592.75	10462.97
	II	523.51	16	8376.16	18839.13
Apr	I	504.03	15	7560.45	26399.58
	II	458.3	15	6874.5	33274.08
Mei	I	401.38	15	6020.7	39294.78
	II	344.83	16	5517.28	44812.06
Jun	I	295.1	15	4426.5	49238.56
	II	252.59	15	3788.85	53027.41
Jul	I	216.29	15	3244.35	56271.76
	II	176.15	16	2818.4	59090.16
Agust	I	153.99	15	2309.85	61400.01
	II	134.29	16	2148.64	63548.65
Sep	I	88.02	15	1320.3	64868.95
	II	60.18	15	902.7	65771.65
Okt	I	50.15	15	751.95	66523.6
	II	44.04	16	704.64	67228.24
Nop	I	39.91	15	598.65	67826.89
	II	36	15	540	68366.89
Des	I	32.46	15	486.9	68853.79
	II	29.27	16	468.32	69322.11
Total :					5989.430

Nilai total akumulasi Q inflow adalah 56.038 didapat dari total ak Q

$$\begin{aligned} \text{inflow} &= \text{max ak Q inflow} \times \frac{86400 \text{ dtk}}{1000000 \text{ m}^3} \\ &= 5989,430 \times 0,0864 \\ &= 517,487 \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$



Gambar 17. Debit Inflow 15 Harian Hubungan Antara Q Inflow dan Periode Bulanan.

pada gambar 17 dapat dinyatakan bahwa debit inflow terendah terjadi dibulan januari pada periode 1 sebesar 6,41 m³/dt.dan tertinggi terjadi dibulan maret periode 1 sebesar 523,51 m³/dt.



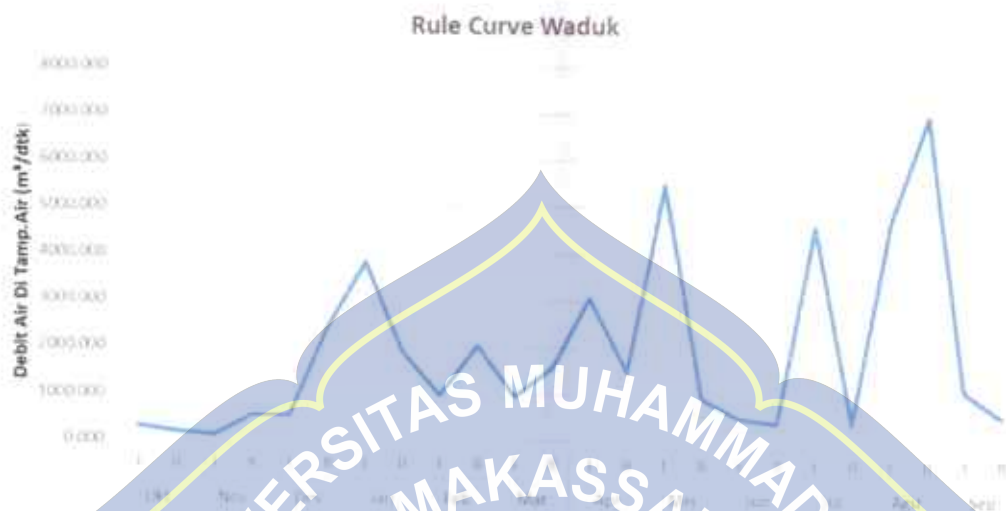
Gambar 18 .Debit akumulasi Inflow 15 Harian Periode Bulanan.

Pada gambar 18 akumulasi inflow 15 harian terendah dibulan januari sebesar 96,15 m³/dt. Dan tertinggi dibulan desember sebesar 69322,11 m³/dt.

Tampungan waduk aktif = 2524,8 m³/ dt. Hr

Tabel 27. Simulasi Operasi Waduk Bendungan Ponre-Ponre.

Bulan	Periode	n Hari	Tamp. Akhir Periode	
			Tamp. Waduk (m ³ /dtk.hr)	Tamp. Waduk (Juta.m ³)
			1	2
			280.367	24.224
Okt	I	15	152.928	13.213
	II	16	101.952	8.809
Nov	I	15	509.759	44.043
	II	15	509.759	44.043
Des	I	15	2395.867	207.003
	II	16	2548.795	220.216
Jan	I	15	3823.193	330.324
	II	16	1911.596	165.162
Feb	I	15	968.542	83.682
	II	13	2039.036	176.173
Mar	I	15	943.054	81.480
	II	16	1580.253	136.534
Apr	I	15	3058.554	264.259
	II	15	1478.301	127.725
Mei	I	15	3193.130	275.886
	II	16	917.566	79.278
Jun	I	15	484.271	41.841
	II	15	382.319	33.032
Jul	I	15	3007.578	259.855
	II	16	2982.090	257.653
Agst	I	15	4715.271	407.399
	II	16	6958.210	601.189
Sep	I	15	1095.982	94.693
	II	15	535.247	46.245



Gambar 19. simulasi Operasi Waduk Hubungan antara Tampungan Waduk dan Periode Bulanan.

Dari gambar 19 simulasi Operasi Waduk Debit air di tampungan waduk terkecil terjadi di bulan oktober sebesar $152.928 \text{ m}^3/\text{dtk}$. Sedangkan debit air tampungan terbesar terjadi di bulan agustus sebesar $6958.210 \text{ m}^3/\text{dtk}$

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan data dan pembahasan dalam perencanaan tampungan waduk di Bendungan Ponre-Ponre dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kapasitas volume tampungan waduk bendungan ponre-ponre sebesar $38.799.083 \text{ m}^3$
2. Pada analisa Tampungan mati didapatkan elevasi 169,95 m dengan volume dead storage $2575,50 \text{ m}^3$. Tampungan efektif didapatkan elevasi muka air normal adalah $\pm 205,65 \text{ m}$ dengan volume tampungan $14.515.432,28 \text{ m}^3$ dan luas genangan $1.311.645,54 \text{ m}^2$ dan analisa tampungan banjir Muka air Banjir PMF (MAB) pada elevasi 214,94, dengan volume tampungan $31.562.609,27 \text{ m}^3$ dan luas genangan $1.758.949,66 \text{ m}^2$.

B. Saran

Berikut ini data yang berkaitan studi perencanaan waduk

1. Diperlukan data yang memadai untuk perencanaan meliputi data tanah dan geologi, penampang sungai, peta geografis daerah genangan serta data penunjang lainnya.

2. Dalam perencanaan dan analisis hendaknya menggunakan referensi yang tepat dan lebih dari satu perbandingan. Perhitungan dilakukan dengan akurat sesuai dengan kondisi yang ada dan menggunakan banyak metode perhitungan untuk memperoleh hasil yang optimal.



DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, Chay. , 2002. Hidrologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Azhar, Taufiq. 2013. Studi Perencanaan Embung Kahabilangga Kecamatan Pahuga Lodu Kabupaten Sumba Timur. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya
- BBWS Pompengan Jeneberang 2013
- Departemen Pekerjaan Umum. 1986. Standar Perencanaan Irigasi KP-01. Direktorat Jenderal Pengairan. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
- Garsia, Dafit. 2014. Analisis Kapasitas Tampung Embung Bulakan Untuk Memenuhi Kekurangan Kebutuhan Air Irigasi Di Kecamatan Payakumbuh Selatan. Skripsi Jurusan Teknik Sipil S1. Pekanbaru : Universitas Riau
- Harto, Sri Br. 1993. Analisis Hidrologi. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama
- Irpan, Apdani. 2014. Analisa Kapasitas Embung Untuk Suplai Air Irigasi (Studi Kasus : Desa Sendayan, Kecamatan Kampar Utara). Skripsi Jurusan Teknik Sipil S1. Pekanbaru : Universitas Riau
- Kodoatie, Robert J., Syarief, Roestam. 2010. Tata Ruang Air. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Loebis, joesron., 1992, *Banjir Rencana Untuk Bnagunan Air*, Jakarta: Penerbit Pekerjaan Umum.
- Morris, G.L 2003. Reservoir Sedimentation Management : worldwide Status and Prospects Proceedings. The 3nd World Water Forum, Challengges to the

Sedimentation Management for Reservoir Sustainable. Otsu, Shinga
Jepang.ok

- Morris, G.L., Fan J. 1997. Reservoir Sedimentation Handbook, Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use, McGraw – Hill. Co. New York. USA.
- Nataniel Yunus Alik, Melly Lukman, Benyamin Tanan, 2020. *Tinjauan Perencanaan Spillway Bendungan Karalloe di kabupaten Gowa*. Pulus Civil Engineering Journal vol.2 No.1
- Pranowo, Janat. 2001. Kajian Pola Distribusi Sedimentasi Waduk dengan Referensi Beberapa Waduk di Jawa.
- Tesis. Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Diponegoro. Semarang
- Priyantoro, D. 1987. Teknik Pengangkutan Sedimen. Penerbit Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.
- Soedibyo. 1993. Teknik Bendungan. Jakarta : Pradnya Paramida. Soemarto, CD. 1995. Hidrologi Teknik. Jakarta : Erlangga.
- Soedibyo. 1993. Teknik Bendungan. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Soemarto. 1999. *Hidrologi Teknik*. Jakarta .
- Soewarno, 1991. Hidrologi, Pengukuran dan pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri). Penerbit Nova. Bandung.
- Soewarno. 1991. Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai. Yogyakarta: Sugama

- Soewarno. 1995. *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data*, Bandung: Nova
- Sosrodarsono, S., Tominaga, M., 1994. *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Sosrodarsono, Suyono & Takeda, 1980. *Hidrolog teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita
- Sosrodarsono, Suyono & Takeda, Kensaku 1977. *Bendungan Type Urugan*. Jakarta: Pradnya Paramita
- Sudjarwadi. 1979. *Pengantar Teknik Irigasi*. Yogyakarta : Universitas Gajah Mada.
- Sumi,T. Takemon,Y. Kantoush, S.A. 2011. Lighten the Load, International water Power and Dam Construction Magazine, hlm 38-45
- Suripin, 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi
- Triatmodjo, 2009. *Hidrologi Tarapan*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang. 2009. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta : Beta Offset.
- USBR. 1974. *Design Of Small Dams*. Oxford & IBH Publishing CO, New Delhi
- Wijaya, Mochamad Hasan. 2011. *Perencanaan Embung Kendo Kecamatan Rasanac Timur Kabupaten Bima NTB*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November
- Yoan Nabila Nurul, River Chandra Kusuma Wintio, 2017. *Redesain Spillway Bendungan Cacaban di kabupaten Tegal*. Tugas Akhir Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.