

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KAPASITAS TAMPUNGAN DAN
KEANDALAN EMBUNG WUKIRSARI 1
(ANALYSIS OF WUKIRSARI 1 SMALL DAM STORAGE
CAPACITY AND RELIABILITY)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Al Hadi
14511313**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL – PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2021**

TUGAS AKHIR

ANALISIS KAPASITAS TAMPUNGAN DAN KEANDALAN EMBUNG WUKIRSARI 1 (ANALYSIS OF WUKIRSARI 1 SMALL DAM STORAGE CAPACITY AND RELIABILITY)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil

Disusun oleh

Al Hadi
14511313

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal

23 Desember 2021

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Penguji I

Penguji II

Sri Amini Yuni Astuti, Dr.

Ir.,M.T.

NIK : 135111101

Dinia Anggraheni, S.T.,

M.Eng M.T

NIK : 165110105

D. A. Wahyu Wulan P., S.T.,

NIK : 155111301

Mengesahkan.

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Sri Amini Yuni Astuti, Dr. Ir.,M.T.

NIK : 135111101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas dan sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 7 Desember 2021

Yang membuat pernyataan,

A handwritten signature in black ink is written over a rectangular adhesive stamp. The stamp is yellow and red, featuring the Garuda Pancasila emblem and the text '10000', 'SEPULUH RIBU RUPIAH', and 'METERAI TEMPEL'. A serial number '5/242D9AJX288558877' is printed at the bottom of the stamp.

Al Hadi

14511313

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Kapasitas Tampung dan Keandalan Embung Wukirsari I*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak halangan dan hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, dan dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Sri Amini Yuni Astuti, Dr., Ir., M.T. selaku Dosen Pembimbing,
2. Bapak Nasir dan ibu Refnita, S. Pd., S.D selaku orang tua penulis yang telah memberikan doa, dukungan, dan pengorbanan yang tidak terhitung baik secara moral maupun material hingga selesainya Tugas Akhir ini,
3. Kakak Nora Despita Sari yang telah memberikan dukungan dan doa kepada penulis,
4. Teman – teman dekat yang telah memberikan bantuan dalam bentuk apapun selama proses pengerjaan Tugas Akhir hingga selesainya Tugas Akhir ini,
5. Teman – teman Teknik Sipil FTSP UII angkatan 2014 yang senantiasa berbagi dan membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, baik dari segi penulisan, maupun isi laporan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Penulis berharap agar Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 7 Desember 2021

Penulis

Al Hadi

14511313



DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
ABSTRAK	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tinjauan Umum	4
2.2 Penelitian Terdahulu	4
2.2.1 Evaluasi Kapasitas Embung Hadudu Daerah Irigasi Hutabagasan Kabupaten Humbang Hasundutan	4

2.2.2	Analisis Kapasitas Tampung Embung Bulakan untuk Memenuhi Kekurangan Kebutuhan Air Irigasi di Kecamatan Payakumbuh Selatan	5
2.2.3	Evaluasi Kapasitas Tampung Embung Bisok Bokah	6
2.2.4	Analisis Keandalan Embung Sendangtirto Dalam Memenuhi Kebutuhan Air Baku dan Irigasi Daerah Berbah Sleman	8
2.3	Perbedaan Penelitian yang Dilakukan	10
2.4	Keaslian Penelitian	20
BAB III	LANDASAN TEORI	21
3.1	Tinjauan Umum	21
3.1.1	Analisis Hidrologi	21
3.1.2	Daerah Aliran Sungai	21
3.1.3	Hujan atau Presipitasi	22
3.1.4	Hujan Kawasan	22
3.1.5	Parameter DAS Metode F.J Mock	24
3.1.6	Analisis Debit Andalan	26
3.2	Analisis Kebutuhan Air Baku	30
3.2.1	Proyeksi Kebutuhan Air Bersih	31
3.3	Perhitungan Volume Tampung Embung	32
3.3.1	Kapasitas Embung Berdasar Kebutuhan Air (V_n)	33
3.3.2	Kapasitas Embung Berdasar Ketersediaan Air (V_h)	35
3.3.3	Kapasitas Embung Berdasar Kondisi Topografi (V_p)	35
3.3.4	Penentuan Kapasitas Tampung Embung	36
3.4	Neraca Air	36
3.5	Tingkat Keandalan	37
BAB IV	METODE PENELITIAN	39

4.1	Lokasi dan Waktu Pelaksanaan	39
4.1.1	Lokasi	39
4.1.2	Waktu Pelaksanaan	39
4.2	Tahapan Penelitian	40
4.3	Pengumpulan Data	40
4.4	Analisis	40
4.4.1	Kapasitas tampungan berdasarkan kebutuhan air	40
4.4.2	Kapasitas tampungan berdasarkan ketersediaan air	41
4.4.3	Kapasitas tampungan berdasarkan topografi	41
4.4.4	Penentuan kapasitas embung	41
4.4.5	Simulasi neraca air	41
4.4.6	Tingkat keandalan pelayanan	41
4.5	Bagan Alir	42
BAB V	ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	43
5.1	Analisis Data Hujan	43
5.1.1	Hujan Bulanan DAS Celeng	44
5.1.2	Hujan Andalan	46
5.2	Analisis Ketersediaan Air Metode F.J Mock	49
5.2.1	Evapotranspirasi	49
5.2.2	Parameter DAS Metode F.J Mock	50
5.2.3	Debit Bulanan Parameter Awal	51
5.2.4	Debit Bulanan Parameter Optimal	59
5.2.5	Debit Andalan	67
5.3	Analisis Kebutuhan Air Baku	69
5.3.1	Proyeksi Jumlah Penduduk	69

5.3.2	Kebutuhan Air Baku Total	69
5.4	Analisis Karakteristik Embung	71
5.4.1	Hubungan Elevasi dengan Luas Tampang	71
5.4.2	Hubungan Elevasi dengan Volume	71
5.5	Kapasitas Tampung Embung Berdasar Ketersediaan Air (V_h)	73
5.6	Kapasitas Tampung Berdasar Kebutuhan Air (V_n)	74
5.7	Kapasitas Tampung Berdasar Topografi (V_p)	76
5.8	Penentuan Kapasitas Embung	76
5.9	Neraca Air dan Keandalan Embung	77
5.10	Neraca Air dan Tingkat Keandalan Embung Untuk Optimasi	83
5.10.1	Kondisi pertama jumlah Penduduk 20.000 jiwa	83
5.10.2	Kondisi kedua jumlah Penduduk 19.000 jiwa	92
5.11	Pembahasan	100
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	102
6.1	Kesimpulan	102
6.2	Saran	103
DAFTAR PUSTAKA		104
LAMPIRAN		105

DAFTAR TABEL

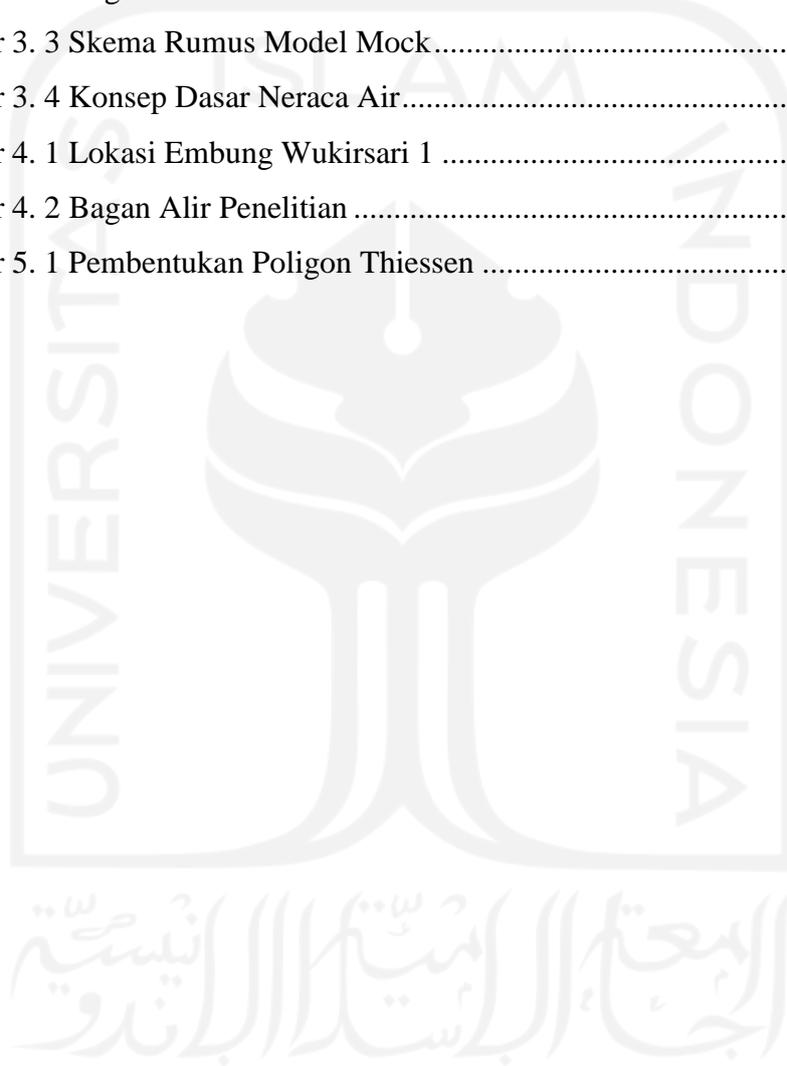
Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian yang Dilakukan.....	10
Tabel 3. 1 Parameter Kendala Model F.J Mock	24
Tabel 3. 2 Kriteria Penentuan Kebutuhan Air.....	31
Tabel 5. 1 Bobot Stasiun Hujan	44
Tabel 5. 2 Data Curah Hujan Bulanan	45
Tabel 5. 3 Hujan 90% (Januari-Juni)	47
Tabel 5. 4 Hujan 90% (Juli-Desember)	48
Tabel 5. 5 Rekapitulasi Nilai Et ₀	49
Tabel 5. 6 Parameter Kendala Model F.J Mock	50
Tabel 5. 7 Penentuan Nilai Awal Parameter Model F.J Mock.....	51
Tabel 5. 8 Perhitungan Debit Andalan dengan Nilai Awal Tahun 2001	54
Tabel 5. 9 Perhitungan Neraca Air Tahunan untuk Kalibrasi Parameter.....	57
Tabel 5. 10 Nilai Optimal Parameter	59
Tabel 5. 11 Perhitungan Neraca Air Tahunan untuk Kalibrasi Parameter.....	63
Tabel 5. 12 Analisis Debit Model F.J Mock dengan Nilai Optimum Tahun 2001	65
Tabel 5. 13 Rekapitulasi Debit Andalan F.J Mock 2001-2017 (m ³ /s).....	66
Tabel 5. 14 Debit Andalan 90%	68
Tabel 5. 15 Data Elevasi dan Luas Permukaan Embung	71
Tabel 5. 16 Volume Tampungan Embung	72
Tabel 5. 17 Rekapitulasi Kapasitas Tampungan Embung Berdasarkan Ketersediaan Air	74
Tabel 5. 18 Data Evaporasi	75
Tabel 5. 19 Data Ketersediaan Air.....	77
Tabel 5. 20 Data Evaporasi	77
Tabel 5. 21 Nilai Outflow	79
Tabel 5. 22 Neraca Air dan Tingkat Keandalan.....	82
Tabel 5. 23 Ketersediaan Air	86

Tabel 5. 24 Data Evaporasi	86
Tabel 5. 25 Nilai Outflow	88
Tabel 5. 26 Neraca Air dan Tingkat Keandalan Optimasi.....	91
Tabel 5. 27 Ketersediaan Air	94
Tabel 5. 28 Data Evaporasi	95
Tabel 5. 29 Nilai Outflow	96
Tabel 5. 30 Neraca Air dan Tingkat Keandalan Optimasi.....	99



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Poligon Thiessen	24
Gambar 3. 2 Bagan Alir Model rain fall-run off	26
Gambar 3. 3 Skema Rumus Model Mock	27
Gambar 3. 4 Konsep Dasar Neraca Air	37
Gambar 4. 1 Lokasi Embung Wukirsari 1	39
Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian	42
Gambar 5. 1 Pembentukan Poligon Thiessen	43



DAFTAR LAMPIRAN

Tabel L 1. 1 Debit Andalan tahun 2001	107
Tabel L 1. 2 Debit Andalan tahun 2002	108
Tabel L 1. 3 Debit Andalan tahun 2003	109
Tabel L 1. 4 Debit Andalan tahun 2004	110
Tabel L 1. 5 Debit Andalan tahun 2005	111
Tabel L 1. 6 Debit Andalan tahun 2006	112
Tabel L 1. 7 Debit Andalan tahun 2007	113
Tabel L 1. 8 Debit Andalan tahun 2008	114
Tabel L 1. 9 Debit Andalan tahun 2009	115
Tabel L 1. 10 Debit Andalan tahun 2010	116
Tabel L 1. 11 Debit Andalan tahun 2011	117
Tabel L 1. 12 Debit Andalan tahun 2012	118
Tabel L 1. 13 Debit Andalan tahun 2013	119
Tabel L 1. 14 Debit Andalan tahun 2014	120
Tabel L 1. 15 Debit Andalan tahun 2015	121
Tabel L 1. 16 Debit Andalan tahun 2016	122
Tabel L 1. 17 Debit Andalan tahun 2017	123

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

m	= peringkat
n	= jumlah tahun
P _n	= jumlah penduduk pada tahun ke-n
P ₀	= jumlah penduduk pada awal tahun
r	= laju pertumbuhan penduduk
t	= jangka waktu
P _t	= jumlah penduduk pada tahun ke-t
\bar{P}	= hujan rerata kawasan
P	= hujan
AET	= evapotranspirasi aktual
ER	= <i>excess rainfall</i>
Δ SM	= perubahan lengas tanah
SMC	= <i>soil moisture capacity</i>
ISM	= <i>initial soil moisture</i>
WS	= kelebihan air
I	= infiltrasi
GWS	= <i>ground water storage</i>
S	= kandungan air tanah
Δ S	= perubahan tampungan
R _{BAS}	= aliran dasar

- R_{DRO} = aliran langsung
 R_{TOT} = total aliran
 A = luas DAS
 Q_{RO} = debit aliran
 E_{tl} = evapotranspirasi terbatas
 IS = tampungan awal / *soil storage*
 V_n = volume tampungan berdasarkan kebutuhan air
 V_u = volume tampungan hidup untuk melayani berbagai kebutuhan air
 V_e = jumlah penguapan yang terjadi sepanjang tahun
 V_i = jumlah resapan melalui dasar dinding dan tubuh embung yang terjadi sepanjang tahun
 V_s = ruangan yang disediakan untuk sedimen
 J_h = jumlah hari selama musim kemarau
 J_p = jumlah penduduk yang dilayani
 Q_u = kebutuhan air baku
 a_0 = elevasi 0
 a_1 = elevasi 1
 A_0 = luas permukaan untuk elevasi a_0
 A_1 = luas permukaan untuk elevasi a_1
 S_n = Volume tampungan awal periode ke-n
 S_{n+1} = Volume tampungan awal periode ke n+1

I_n = Volume air yang masuk embung terdiri dari mata air dan air hujan yang jatuh pada embung dikurangi dengan penguapan dan rembesan periode ke-
n

O_n = Volume air yang keluar embung periode ke n (pelayanan untuk air baku dan irigasi)

TK = Tingkat keandalan



ABSTRAK

Penelitian analisis kapasitas tampungan dan keandalan Embung Wukirsari 1 di latar belakang oleh kebutuhan masyarakat dalam pemenuhan kebutuhan air baku. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya kapasitas embung yang dapat dibangun, serta tingkat keandalan embung setelah nanti di pergunakan.

Kapasitas tampung embung didapatkan dari analisis kapasitas berdasar ketersediaan air, berdasar kebutuhan air, dan berdasar topografi. Ketersediaan air pada penelitian ini dihitung dengan metode F.J Mock. Keandalan embung dilakukan dengan simulasi neraca air embung dan tingkat keandalan embung dalam memenuhi kebutuhan air masyarakat.

Kapasitas tampungan embung didapatkan sebesar 32.407,25 m³ dengan tampungan hidup sebesar 28.506,62 m³ dan tampungan mati sebesar 3.900,63 m³. Proyeksi jumlah penduduk 15 tahun adalah 68.384 jiwa dengan total kebutuhan air baku sebesar 953.956,8 m³. Tingkat keandalan dibagi menjadi 3 kondisi, pertama dengan jumlah penduduk 68.384 jiwa, tingkat keandalan sebesar 31,50 % dan terendah 24,07 %. Kedua dengan jumlah penduduk 20.000 jiwa, tingkat keandalan sebesar 100% pada bulan Februari dan menurun pada bulan selanjutnya. Ketiga dengan jumlah penduduk 19.000 jiwa, tingkat keandalan sebesar 100% setiap bulan dan dapat memenuhi *outflow* yang ada.

Kata kunci : embung, ketersediaan air, F.J Mock, neraca air, tingkat keandalan

ABSTRACT

The research on the analysis of the storage capacity and reliability of the Wukirsari 1 Small Dam is motivated by the needs of the community in meeting the needs of raw water. This study aims to determine the amount of reservoir capacity that can be built, as well as the level of reliability of the reservoir after it is used.

The reservoir capacity is obtained from a capacity analysis based on water availability, based on water demand, and based on topography. The availability of water in this study was calculated by the F.J Mock method. The reliability of the reservoir is carried out by simulating the reservoir water balance and the reliability level of the reservoir in meeting the community's water needs.

The reservoir capacity of the reservoir is 32.407,25 m³ with a live reservoir of 28.506,62 m³ and a dead reservoir of 3.900,63 m³. The projected population for 15 years is 68.384 people with a total raw water requirement of 953.956,8 m³. The reliability level is divided into 3 conditions, the first with a population of 68.384 people, the reliability level is 31,50% and the lowest is 24,07%. Second, with a population of 20.000 people, the reliability level was 100% in February and decreased the following month. Third, with a population of 19.000 people, the level of reliability is 100% every month and can meet existing outflows.

Keywords: *reservoir, water availability, F.J Mock, water balance, reliability level*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan mendasar makhluk hidup. Semua makhluk hidup membutuhkan air untuk bisa bertahan hidup. Air yang tersedia di bumi mempunyai volume yang tetap, dan memiliki bentuk yang beragam, seperti bentuk padat, cair, maupun gas. Volume air yang tetap ini terjadi akibat siklus hidrologi, akan tetapi pendistribusian air tidak sama rata dikarenakan faktor lokasi dan musimnya. Distribusi air yang tidak merata ini bisa menyebabkan erosi maupun banjir ketika volumenya berlebihan, dan kekeringan ketika volumenya berkurang.

Hal ini sejalan dengan pertambahan jumlah penduduk yang meningkat setiap tahunnya. Seiring dengan pertambahan jumlah tersebut, kebutuhan akan air bersih juga meningkat. Pertambahan jumlah penduduk ini akan mempengaruhi keseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan air. Hal tersebut perlu dipertimbangkan agar kebutuhan air tetap terpenuhi seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk.

Begitu juga yang terjadi di daerah Wukirsari, Manggung, Imogiri, Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta. Daerah ini terletak pada ketinggian 50 m dari permukaan laut. Daerah ini menghadapi ancaman kekeringan pada saat musim kemarau, dan banjir pada saat musim hujan. Disamping itu, jumlah penduduk yang meningkat setiap tahunnya juga akan mempengaruhi kebutuhan air bersih, yang akan berdampak kepada ketidakseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan air. Daerah Wukirsari juga sering mengalami bencana banjir. Hal ini disebabkan oleh debit sungai di hulu yang melebihi kapasitas sungai tersebut, serta berkurangnya daerah resapan.

Salah satu alternatif pemecahan masalah tersebut adalah dengan pembangunan embung. Embung bisa berfungsi sebagai penyimpanan air tanah dan

air hujan. Embung juga berfungsi untuk mengisi ulang air tanah sebagai upaya konservasi sumber daya air. Pembangunan embung juga diharapkan bisa dimanfaatkan secara langsung dalam jangka pendek untuk memenuhi kebutuhan air baku, menaikkan muka air tanah dan sebagai sarana wisata.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Berapa kapasitas tampungan Embung Wukirsari 1 yang memungkinkan untuk dibangun?
2. Bagaimana keandalan Embung Wukirsari 1 dalam memenuhi kebutuhan air baku di daerah Wukirsari, Manggung, Imogiri, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui kapasitas Embung Wukirsari 1 yang memungkinkan untuk dibangun
2. Mengetahui keandalan Embung Wukirsari 1 dalam memenuhi kebutuhan air baku di daerah Wukirsari, Manggung, Imogiri, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta

1.4 Manfaat

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk menjadi pertimbangan bagi pemerintah daerah di Wukirsari, Imogiri, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta dalam pengembangan pengelolaan sumber daya air.

1.5 Batasan

1. Lokasi embung terdapat di daerah Wukirsari, Imogiri, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta
2. Data hujan dari stasiun hujan terdekat DAS Celeng, yaitu Stasiun Barongan, Stasiun Siluk, Stasiun Bedungan, Stasiun Pundong, dan Stasiun Terong.

3. Menggunakan data curah hujan antara tahun 2001 sampai dengan 2017
4. Kebutuhan air baku digunakan sampai dengan tahun 2035
5. Tidak dilakukan perancangan teknis bangunan embung



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Sebagai bahan pertimbangan dan bahan referensi untuk penelitian, maka pada BAB II ini akan dijelaskan mengenai hasil penelitian sejenis dan penelitian terdahulu. Hal ini untuk menghindari duplikasi pada penelitian serta untuk mengetahui posisi penelitian yang akan dilakukan.

2.2 Penelitian Terdahulu

2.2.1 Evaluasi Kapasitas Embung Hadudu Daerah Irigasi Hutabagasan Kabupaten Humbang Hasundutan

(Simbolon, 2016) melakukan penelitian tentang pengelolaan sumber air di Daerah Kabupaten Hasundutan yang masih kurang maksimal. Pada musim hujan banyak terdapat air di sungai-sungai, namun pada musim kemarau menjadi berkurang dan sebagian kawasan terkadang menjadi kering. Oleh karena itu untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan dibangunnya embung atau cekungan penampung air sehingga nantinya kebutuhan air akan irigasi pertanian maupun kebutuhan lainnya dapat terpenuhi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui dan mendapatkan gambaran berapa besar kapasitas volume tampungan air pada Embung Hadudu dan besar debit andalan yang dibutuhkan serta berapa besar kebutuhan ketersediaan air di irigasi tersebut.

Data yang digunakan dalam penelitian evaluasi kapasitas Embung Hadudu ini adalah data teknis lapangan, yaitu bangunan-bangunan Embung Hadudu yang terdiri dari bangunan utama, bangunan pengelak dengan peredam energi, *spillway*, *intake*, dan bangunan sadap irigasi, serta data teknis Embung Hadudu yang meliputi data genangan, data bangunan utama embung dan data sadap irigasi. Tahapan penelitian ini pengumpulan data yang terdiri dari 2 data yaitu data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan dari survei lapangan dan wawancara. Data

sekunder didapatkan dari metode analisis. Analisis volume dan kapasitas embung digunakan metode aplikasi autocad 2007. Analisis debit andalan embung digunakan metode F.J. Mock. Analisis kebutuhan irigasi digunakan metode evapotranspirasi, curah hujan dengan metode *Arithmetic Mean* dan Metode Poligon *Thiessen*.

Hasil dari analisis dengan metode-metode diatas akan didapatkan kapasitas Embung Hadudu. Analisis curah hujan didapat curah hujan maksimum rerata terjadi di bulan November sebesar 200mm dan curah hujan minimum terjadi di bulan Juli sebesar 50mm. Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan 24 alternatif pola tanam didapat nilai NFR (*Net Farm Ratio*) yang terkecil sebesar 2,59 mm/hari dengan awal *Land Preparations* pada periode Oktober I. Nilai debit andalan dari hasil analisis dengan metode F.J. Mock didapat nilai debit maksimum andalan 6,85 m³/detik pada bulan Januari dan debit minimum andalan 0,96 m³/detik pada bulan Juli. Kapasitas volume tampungan pada Embung Hadudu sebesar 52.815,76 m³. Kesimpulannya adalah untuk meningkatkan luas areal irigasi Hadudu diperlukan pemanfaatan air dengan optimal sehingga debit air yang tersedia mampu memenuhi kebutuhan debit untuk peningkatan lahan.

2.2.2 Analisis Kapasitas Tampungan Embung Bulakan untuk Memenuhi Kekurangan Kebutuhan Air Irigasi di Kecamatan Payakumbuh Selatan

(Garsia et al., 2014) melakukan penelitian di Kecamatan Daerah Payakumbuh Selatan yang sebesar 11.404 jiwa atau sekitar 22,054% masyarakatnya bekerja di bidang pertanian. Pada musim hujan, petani tidak perlu khawatir dalam memperoleh air yang cukup bagi kebutuhan tanaman mereka. Tetapi pada musim kemarau, curah hujan yang turun hanya sedikit dan berakibat pada berkurangnya debit air dari sumber air irigasi, sehingga debit air yang tersedia tidak mencukupi kebutuhan air bagi tanaman petani. Sebagai salah satu alternatif pemecahan masalah dalam memenuhi kebutuhan air irigasi tersebut dan mengingat tersedianya sumber air baku berupa mata air bulakan di Kelurahan Limbukan Kecamatan Payakumbuh Selatan adalah dengan membangun embung yang berfungsi sebagai wadah penampung air, dan diharapkan embung ini bisa memenuhi kekurangan kebutuhan air irigasi tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung

ketersediaan air, menghitung kebutuhan air untuk irigasi, menganalisis kapasitas embung, menganalisis waktu operasi pintu air, menganalisis luas sawah yang bisa diairi, dan menghitung dimensi pelimpah dari embung tersebut.

Data yang digunakan dalam analisis kapasitas Embung Bulakan ini adalah data primer dan sekunder. Data primer didapatkan dari metode observasi, yaitu survei lapangan. Data sekunder diperoleh dari instansi-instansi terkait berupa data curah hujan, data klimatologi, dan data topografi rencana embung bulakan serta peta lokasi pembangunan Embung Bulakan. Analisis data menggunakan analisis frekuensi yaitu log Pearson III, lalu perhitungan ketersediaan air, kebutuhan air, evapotranspirasi menggunakan metode Penman modifikasi, hujan efektif menggunakan curah hujan persetengah bulanan dengan periode ulang 5 tahun, dan kebutuhan air irigasi menggunakan metode NFR. Perhitungan luas dan volume embung menggunakan aplikasi autocad. Dimensi pelimpah dari embung dicari dengan menggunakan perhitungan rumus.

Dari analisis diatas maka didapatkan debit andalan dari pengukuran langsung ke lapangan adalah 159,53 l/dt. Kebutuhan air irigasi maksimum berdasarkan NFR (*Net Farm Ratio*) adalah 1,204 l/dt/ha. Kapasitas embung bulakan yang digunakan untuk irigasi adalah sekitar 12.577,177 m³ berada di elevasi +553 dan +554 meter. Tinggi muka air rencana di atas mercu pelimpah didapatkan sebesar 0,06 meter.

2.2.3 Evaluasi Kapasitas Tampungan Embung Bisok Bokah

(Rosadi et al., 2019) alumni Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram melakukan penelitian yang berjudul Evaluasi Kapasitas Tampungan Embung Bisok Bokah. Menurut data BWS NT 1, luas daerah tangkapan air embung Bisok Bokah mencapai 5,1 km², sedangkan kapasitas tampungnya mencapai 55.160,83 m³ dengan potensi ketersediaan air yang cukup. Hal ini ditunjukkan dari debit *inflow* rata-rata embung Bisok Bokah mencapai 0,30 m³/detik. Namun air yang ada tidak sepenuhnya bisa tertampung. Hal ini ditunjukkan dengan banyaknya air yang terbuang atau melimpas. Embung Bisok Bokah memiliki daerah irigasi baku seluas 315 ha dengan daerah irigasi potensialnya mencapai 500 ha. Berdasarkan uraian tersebut, maka diperlukan kajian ulang tentang analisis

peningkatan kapasitas tampung dan luas layanan daerah irigasi embung Bisok Bokah. Analisis ini bertujuan untuk mencari volume tampungan embung embung yang bisa ditingkatkan setelah menaikkan elevasi *spillway* embung Bisok Bokah.

Data yang digunakan pada analisis ini adalah data sekunder. Data tersebut meliputi data topografi yang mencakup Daerah Tangkapan Air (*catchment area*) dan vegetasi penutup lahan. Penetapan daerah tangkapan air dilakukan berdasar pada peta topografi skala 1:25.000. Data hidro meteorologi berupa data debit terukur di bendung Bisok Bokah selama 12 tahun dari tahun 1997-2008. Data curah hujan dari stasiun Lingkok Lime dan stasiun Perian, dengan ketersediaan data selama 23 tahun mulai tahun 1994-2016. Sedangkan data klimatologi meliputi data temperatur, kecepatan angin, kelembaban udara, penyinaran matahari dan evaporasi panci diperoleh dari BWS Nusa Tenggara 1, untuk stasiun klimatologi Kopang. Dari data-data diatas, analisis hidrologi meliputi uji konsistensi data curah hujan menggunakan metode RAPS untuk stasiun hujan Lingkok Lime dan Perian tahun 1994-2016. Analisis hujan rata-rata daerah menggunakan metode Polygon *Thiessen*. Analisis evapotranspirasi potensi dihitung menggunakan metode Penman modifikasi FAO. Analisis ketersediaan air dilakukan dengan menggunakan metode perbandingan luas, lalu untuk analisis kebutuhan air menggunakan metode NFR (*Net Farm Ration*). Selanjutnya dilakukan simulasi tampungan embung, dengan pola pikir yang digunakan adalah tampungan merupakan kesetimbangan dari komponen *inflow* dan komponen *outflow*. Data debit aliran masuk terdiri dari data debit setengah bulanan yang sudah dianalisis dalam perhitungan sebelumnya. Sedangkan data debit aliran keluar terdiri dari perhitungan kebutuhan air tanaman dan perhitungan evaporasi. Analisis tinggi *spillway* embung Bisok Bokah dimulai pada saat kondisi eksisting dengan elevasi *spillway* atau pelimpah eksisting +405,5 m.

Berdasarkan analisis data diatas, maka diperoleh potensi ketersediaan air (debit *inflow* rata-rata) pada embung Bisok Bokah sebesar 0,29 m³/dt. Besar volume tampungan embung yang bisa ditingkatkan setelah menaikkan elevasi *spillway* adalah : peningkatan elevasi *spillway* sebesar 1m menjadi +406,5 m, diperoleh

volume tampungan sebesar 70.579,27 m³, diperoleh peningkatan luas daerah irigasi sebesar 1ha. Peningkatan elevasi *spillway* sebesar 2m menjadi +407,5 m, diperoleh volume tampungan sebesar 88.019,29 m³, diperoleh peningkatan luas daerah irigasi sebesar 9ha. Peningkatan elevasi *spillway* sebesar 3m menjadi +408,5 m, diperoleh volume tampungan sebesar 107.625,68 m³, diperoleh peningkatan luas daerah irigasi sebesar 33ha.

2.2.4 Analisis Keandalan Embung Sendangtirto Dalam Memenuhi Kebutuhan Air Baku dan Irigasi Daerah Berbah Sleman

(Tazka, 2020) melakukan penelitian Analisis Keandalan Embung Sendangtirto Dalam Memenuhi Kebutuhan Air Baku dan Irigasi Daerah Berbah Sleman. Wilayah Indonesia memiliki tanah yang subur dan udara yang cocok untuk pertanian. Selain menghasilkan bahan pangan untuk masyarakat, pertanian juga bisa menjadi roda penggerak ekonomi nasional. Salah satu penunjang untuk meningkatkan produktivitas pertanian di Indonesia adalah dengan memenuhi kebutuhan air pertanian. Jumlah kebutuhan air untuk sektor pertanian sangat besar dan kian meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, sementara ketersediaan air semakin berkurang, sehingga untuk memenuhi kebutuhan air dalam jumlah besar dengan kualitas air yang baik sulit dipenuhi. Sebagai upaya untuk memecahkan masalah kebutuhan air ini adalah dengan membangun embung penampung air permukaan, air hujan, dan mata air sehingga air yang tertampung dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan makhluk hidup. Dengan adanya embung ini, maka air hujan dan mata air pada Daerah Berbah Kabupaten Sleman dapat ditampung dan dimanfaatkan untuk pertanian, perkebunan, ataupun kebutuhan masyarakat setempat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kebutuhan air untuk air baku dan irigasi setempat, mengetahui kapasitas tampungan Embung Sendangtirto, serta mengetahui keandalan Embung Sendangtirto dalam memenuhi kebutuhan air.

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder. Data tersebut berupa data topografi, yaitu data yang menampilkan keadaan muka bumi pada suatu daerah atau pemetaan tentang muka bumi pada daerah tertentu. Peta topografi yang

digunakan menggunakan skala 1:500 sampai 1:2000. Data penguapan dalam rerata 1/2 bulan. Data curah hujan yang digunakan dari Stasiun Santan dan Stasiun Karang Ploso tahun 2006 sampai 2018. Data teknis embung untuk mendapatkan kapasitas tampungan embung, kemudian dapat dilakukan simulasi neraca air dan dapat dihitung tingkat keandalannya. Data kebutuhan air baku dan irigasi menggunakan data jumlah penduduk yang ada di daerah tersebut. Dari data diatas, perhitungan hujan dengan probabilitas 80% dengan rekapitulasi jumlah data hujan persetengah bulan dari tahun 2006 sampai tahun 2018 dan mata air. Mencari kebutuhan air baku dengan proyeksi jumlah penduduk untuk 10 tahun kedepan, yaitu pada tahun 2028. Mencari kebutuhan air irigasi dengan metode NFR (*Net Field Requirement*). Mencari hubungan elevasi, luas, dan volume embung dalam bentuk grafik sehingga didapat tampungan efektif embung. Lalu membuat neraca air dan mencari tingkat keandalan embung.

Dari analisis diatas, maka diperoleh kebutuhan air irigasi sebesar 23273,9414 m³ dan kebutuhan air baku proyeksi 2035 sebesar 101769 m³. Sedangkan kebutuhan air baku yang dapat melayani sebagian penduduk dengan jumlah 14000 jiwa sebesar 244650 m³. Tampungan maksimal pada Embung Sendangtirto adalah sebesar 31881,34 m³ dengan 27860,34 m³ sebagai tampungan hidup dan 4021 m³ sebagai tampungan mati untuk sedimen. Tingkat keandalan Embung Sendangtirto dalam memenuhi air irigasi memiliki nilai 100%. Tingkat keandalan Embung Sendangtirto dalam memenuhi kebutuhan air irigasi dan air baku proyeksi 2035 memiliki nilai paling rendah yaitu 32,4%. Tingkat keandalan Embung Sendangtirto setelah dioptimalisasi dalam memenuhi kebutuhan air irigasi dan air baku dengan jumlah penduduk 14000 jiwa memiliki nilai terendah 65,1%.

2.3 Perbedaan Penelitian yang Dilakukan

Dari tinjauan pustaka di atas, maka diperoleh rincian seperti Tabel 2.1 di bawah ini

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian yang Dilakukan

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
1	Simbolon (2016)	Evaluasi Kapasitas Embung Hadudu Daerah Irigasi Hutabagasan Kabupaten Humbang Hasundutan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Untuk mendapatkan berapa besar kapasitas volume tampungan air pada embung Hadudu dan debit andalannya 2. Untuk menghitung berapa besar kebutuhan air irigasi dalam memenuhi fungsinya sebagai sumber air bagi persawahan di Daerah Humbahas dan menentukan pola tanam yang terbaik. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pengumpulan data primer dengan pengamatan langsung 2. Analisa tampungan embung dengan autocad 2007 3. Debit andalan embung menggunakan metode F.J. Mock 4. Analisis kebutuhan irigasi dengan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Curah hujan maksimum rerata sebesar 200 mm dan curah hujan minimum rerata sebesar 50 mm. 2. Berdasarkan hasil analisa, nilai NFR (<i>Net Farm Ratio</i>) yang terkecil sebesar 2,59 mm/hari. 3. Debit andalan maksimum sebesar 6,85 m³/detik, sedangkan debit andalan

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian yang Dilakukan

				metode evapotranspirasi 5. Curah hujan dengan metode <i>Arithmetic Mean</i> dan metode Poligon <i>Thiessen</i>	minimum sebesar 0,96 m ³ /detik.
2	Dafit Grasia (2014)	Analisis Kapasitas Tampung Embung Bulakan untuk Memenuhi Kekurangan Kebutuhan Air Irigasi di Kecamatan Payakumbuh Selatan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menghitung ketersediaan air 2. Menghitung kebutuhan air untuk irigasi 3. Menganalisis kapasitas embung 4. Menganalisis waktu operasi pintu air 5. Menganalisis luas sawah yang bisa diairi 6. Menghitung dimensi pelimpah dari embung tersebut 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Data primer didapatkan melalui survei lapangan 2. Data sekunder didapatkan dari instansi terkait berupa data curah hujan, klimatologi, dan topografi 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Debit andalan dari pengukuran langsung ke lapangan adalah 159,53 l/dt 2. Kebutuhan air maksimum berdasar NFR (<i>Net Farm Ratio</i>) adalah 1,204 l/dt/ha

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian yang Dilakukan

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
				<p>3. Analisis data menggunakan analisis frekuensi yaitu log <i>Pearson</i> III</p> <p>4. Analisis evapotranspirasi menggunakan metode Penman modifikasi</p> <p>5. Hujan efektif menggunakan curah hujan per setengah bulanan kala ulang 5 tahun</p>	<p>3. Kapasitas embung Bulakan untuk irigasi adalah sekitar 12.577,177 m³ berada di elevasi +553 dan +554 meter</p> <p>4. Tinggi muka air rencana diatas mercu pelimpah didapatkan sebesar 0,06 meter</p>

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian yang Dilakukan

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
				6. Kebutuhan air irigasi menggunakan metode NFR 7. Perhitungan luas dan volume embung menggunakan aplikasi autocad	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian yang Dilakukan

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
3	Gusman Rosadi (2019)	Evaluasi Kapasitas Tampungan Embung Bisok Bokah	Menganalisa kenaikan elevasi puncak <i>spillway</i> sebesar 1m, 2m, dan 3m untuk menemukan hubungan antara peningkatan tinggi <i>spillway</i> , volume tampungan dan luas daerah layanan irigasi.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Data yang digunakan adalah data sekunder, yaitu data topografi dan data hidro meteorologi 2. Analisis hujan rata-rata menggunakan metode poligon <i>Thiessen</i> 3. Analisis evapotranspirasi potensi menggunakan metode Penman modifikasi FAO 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Peningkatan elevasi <i>spillway</i> sebesar 1 m menjadi +406,5 m dapat meningkatkan kapasitas tampung embung menjadi 70.579,27 m³ dengan peningkatan luas daerah layanan irigasi sebesar 1 ha. 2. Peningkatan elevasi <i>spillway</i> sebesar 2 m menjadi +407,5 m dapat meningkatkan kapasitas tampung embung menjadi 88.019,29 m³ dengan peningkatan luas

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian yang Dilakukan

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
				4. Simulasi tampungan embung menggunakan kesetimbangan dari komponen <i>inflow</i> dan komponen <i>outflow</i>	daerah layanan irigasi sebesar 9 ha. 4. Peningkatan elevasi <i>spillway</i> sebesar 3 m menjadi +408,5 m dapat meningkatkan kapasitas tampung embung menjadi 107.625,68 m ³ dengan peningkatan luas daerah layanan irigasi sebesar 21 ha.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian yang Dilakukan

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
4	Arief El Hakam Tazka (2019)	Analisis Keandalan Embung Sendangtirto Dalam Memenuhi Kebutuhan Air Baku dan Irigasi Daerah Berbah Sleman	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengetahui kebutuhan air yang diperlukan untuk air baku dan irigasi setempat 2. Mengetahui kapasitas yang dapat tertampung pada Embung Sendangtirto 3. Mengetahui keandalan Embung Sendangtirto dalam memenuhi kebutuhan air 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penelitian menggunakan data sekunder 2. Perhitungan hujan dengan probabilitas 80% dan mata air 3. Perhitungan kebutuhan air irigasi dan air baku 4. Perhitungan kapasitas tampungan embung berdasarkan kebutuhan air, 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kebutuhan air irigasi sebesar 232736,9414 m³ dan kebutuhan air baku proyeksi 2035 sebesar 1016769 m³. Sedangkan kebutuhan air baku yang dapat melayani sebagian penduduk dengan jumlah 14000 jiwa sebesar 244650 m³ 2. Tampungan maksimal pada Embung Sendangtirto adalah sebesar 31881,34 m³ dengan 27860,34 m³ sebagai tampungan hidup

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian yang Dilakukan

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
				ketersediaan air, dan topografi 5. Simulasi neraca air 6. Perhitungan tingkat keandalan embung	dan 4021 m ³ sebagai tampungan mati untuk sedimen 3. Tingkat keandalan Embung Sendangtirto dalam memenuhi air irigasi memiliki nilai 100%. Tingkat keandalan Embung Sendangtirto dalam memenuhi kebutuhan air irigasi dan air baku proyeksi 2035 memiliki nilai paling rendah adalah 32,4%. Setelah di optimalisasi

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian yang Dilakukan

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
					Tingkat keandalan Embung Sendangtirto dalam memenuhi kebutuahn air irigasi dan air baku dengan jumlah penduduk 14000 jiwa memiliki nilai terendah 65,1%.
5	Al Hadi (2021)	Analisis Kapasitas Tampungan dan Keandalan Embung Wukirsari 1	<ol style="list-style-type: none"> Mengetahui kapasitas tampungan embung Wukirsari 1 yang memungkinkan untuk dibangun Mengetahui keandalan Embung Wukirsari 1 dalam memenuhi kebutuhan air baku 	<ol style="list-style-type: none"> Penelitian menggunakan data sekunder Menentukan hujan rerata dengan metode Poligon Thiessen 	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian yang Dilakukan

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
			di daerah Wukirsari , Manggung, Imogiri, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta	3. Mencari debit banjir rencana 4. Debit andalan dicari menggunakan metode F.J. Mock 5. Analisis kebutuhan air baku 6. Simulasi neraca air 7. Perhitungan volume tampungan embung 8. Mencari tingkat keandalan embung	

2.4 Keaslian Penelitian

Adapun penelitian yang dilakukan ini memiliki perbedaan dengan penelitian yang telah ada dan telah dilakukan sebelumnya. Hal ini meliputi tempat dan objek yang dijadikan penelitian. Lalu, tujuan serta batasan penelitian juga berbeda dengan penelitian yang sudah ada sebelumnya. Penelitian ini memiliki batasan yaitu data hujan yang dipakai adalah data hujan tahun 2001 hingga 2017, dan tidak dilakukan perancangan teknis. Pada Analisis Kapasitas Tampungan dan Keandalan Embung Wukirsari 1, hujan rerata dicari menggunakan metode Poligon *Thiessen* dan untuk mencari debit andalan dipakai metode F.J. Mock. Setelah itu baru mensimulasikan neraca air, lalu mencari kapasitas tampungan embung, dan terakhir mencari tingkat keandalan Embung Wukirsari 1.



BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tinjauan Umum

3.1.1 Analisis Hidrologi

Dalam buku Hidrologi Teknik (Soemarto, 1987) hidrologi didefinisikan sebagai ilmu yang menjelaskan tentang kehadiran dan gerakan air di alam kita ini. Ini meliputi berbagai bentuk air, yang menyangkut perubahan-perubahannya antara keadaan cair, padat, dan gas dalam atmosfer, di atas dan di bawah permukaan tanah. Di dalamnya tercakup pula air laut yang merupakan sumber dan penyimpanan air yang mengaktifkan kehidupan di planet bumi ini. Hidrologi adalah ilmu yang berkaitan dengan air di bumi, baik mengenai terjadinya, peredarannya dan penyebarannya, sifat-sifatnya dan hubungan dengan lingkungannya, terutama dengan makhluk hidup (Triatmojo, 2010).

Penerapan tentang ilmu hidrologi ini juga memiliki cakupan yang luas. Hal ini dapat ditemukan di beberapa kegiatan perencanaan dan operasi bangunan air, serta pemenuhan kebutuhan air untuk berbagai keperluan. Analisis hidrologi dilakukan untuk mendapatkan karakteristik hidrologi dan meteorologi daerah aliran sungai. Tujuannya adalah untuk mengetahui karakteristik hujan, debit air yang ekstrem maupun wajar.

3.1.2 Daerah Aliran Sungai

Daerah Alliran Sungai (DAS) adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggung gunung/pegunungan lalu air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai utama pada suatu titik /stasiun yang ditinjau (Triatmojo, 2010).

Konsep daerah aliran sungai (DAS) merupakan dasar dari semua perencanaan hidrologi yang tersusun dari DAS-DAS kecil, dan DAS kecil ini juga tersusun dari

DAS-DAS yang lebih kecil lagi sehingga dapat didefinisikan sebagai suatu wilayah yang dibatasi oleh batas alam seperti punggung bukit-bukit atau gunung, maupun batas buatan seperti jalan atau tanggul dimana air hujan yang turun di wilayah tersebut memberi kontribusi aliran ke titik kontrol (*outlet*).

3.1.3 Hujan atau Presipitasi

Presipitasi adalah turunnya air dari atmosfer ke permukaan bumi; yang bisa berupa hujan, hujan salju, kabut, embun, dan hujan es (Triatmojo, 2010). Pada daerah tropis seperti Indonesia seringkali hujan yang dianggap sebagai presipitasi. Hujan berasal dari uap air yang ada di atmosfer, sehingga bentuk dan jumlahnya dipengaruhi oleh faktor klimatologi seperti angin, temperatur dan tekanan atmosfer.

Hujan merupakan sumber dari semua air yang mengalir di sungai dan di dalam tampungan, baik dibawah maupun di atas permukaan. Jumlah dan intensitas hujan berpengaruh kepada debit sungai di DAS yang bersangkutan. Apabila data pencatatan debit tidak ada, maka data pencatatan hujan dapat digunakan untuk memperkirakan debit aliran.

3.1.4 Hujan Kawasan

Data curah hujan dan debit merupakan hal yang penting dalam sebuah perencanaan embung. Ketepatan dalam memilih peralatan yang tepat serta lokasi yang baik merupakan faktor yang menentukan data yang diperoleh. Dalam buku Hidrologi Teknik (Triatmojo, 2010) menjelaskan bahwa apabila pada suatu daerah terdapat lebih dari satu stasiun hujan pengukuran yang ditempatkan secara terpencar, hujan yang tercatat di masing-masing stasiun dapat tidak sama. Dalam analisis hidrologi sering diperlukan untuk menentukan hujan rerata pada daerah tersebut, yang dapat dilakukan dengan tiga metode berikut yaitu metode rerata aritmatik, metode poligon *Thiessen*, dan metode *Isohiet*. Pada penelitian ini, untuk menentukan hujan rerata akan dipakai metode poligon *Thiessen*.

1. Metode Thiessen

Metode ini mempertimbangkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya. Pada suatu luasan di dalam Das dianggap bahwa

hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun yang terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili luasan tersebut. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata (Triatmojo, 2010).

Langkah-langkah pembuatan poligon Thiessen adalah sebagai berikut :

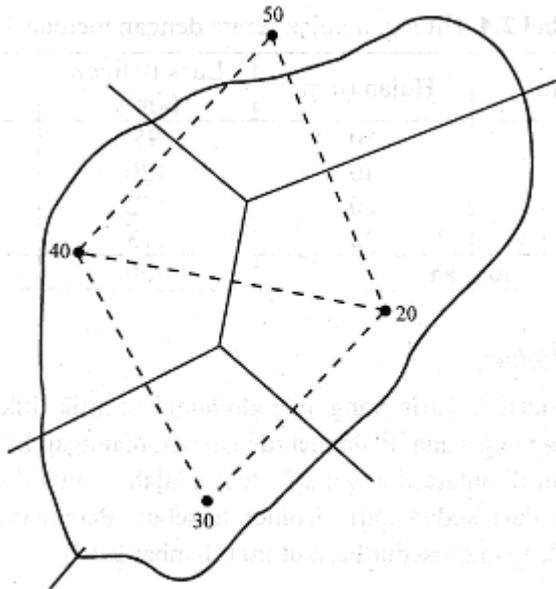
- Stasiun pencatat hujan digambarkan pada peta DAS yang ditinjau, termasuk stasiun hujan diluar DAS yang berdekatan.
- Stasiun-stasiun tersebut dihubungkan dengan garis lurus (garis putus-putus) sehingga membentuk segitiga-segitiga, yang sebaiknya mempunyai sisi dengan panjang yang kira-kira sama.
- Dibuat garis berat pada sisi-sisi segitiga seperti ditunjukkan pada gambar 2.1
- Garis-garis berat tersebut membentuk poligon yang mengelilingi tiap stasiun. Tiap stasiun memiliki luasan yang dibentuk oleh poligon. Untuk stasiun yang berada di dekat batas DAS, garis batas DAS membentuk batas tertutup dari poligon.
- Luas tiap poligon diukur dan kemudian dikalikan dengan kedalamann hujan di stasiun yang berada di dalam poligon.
- Jumlah dari hitungan pada butir e untuk semua stasiun dibagi dengan luas daerah yang ditinjau menghasilkan hujan rerata daerah tersebut.

$$\bar{P} = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + \dots + A_n P_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (3.1)$$

dengan :

$$\begin{aligned} \bar{P} &= \text{hujan rerata kawasan} \\ P_1, P_2, \dots, P_n &= \text{hujan pada stasiun 1,2, ..., n} \end{aligned}$$

A_1, A_2, \dots, A_n = luas daerah yang mewakili stasiun 1,2,... n



Gambar 3. 1 Poligon Thiessen

3.1.5 Parameter DAS Metode F.J Mock

Perhitungan parameter menggunakan program *Microsoft Excel* dan dilakukan secara *trial and error*. Batasan nilai parameter untuk perhitungan adalah.

Tabel 3. 1 Parameter Kendala Model F.J Mock

No	Kendala (<i>Constraints</i>)
1	$100 \leq SMC \leq 300$
2	$ISM \geq 50$ atau $ISM \leq SMC$
3	$0,35 \leq DIC \leq 0,75$
4	$0,1 \leq WIC \leq 0,5$ atau $WIC \leq DIC$
5	$50 \leq IGWS \leq 2000$
6	$0,75 \leq k \leq 0,995$

Data dan asumsi yang diperlukan dalam perhitungan parameter ini adalah

1. Data Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan bulanan, dan stasiun hujan yang dipakai adalah stasiun hujan yang dianggap mewakili kondisi hujan di daerah tersebut.

2. Evapotranspirasi terbatas

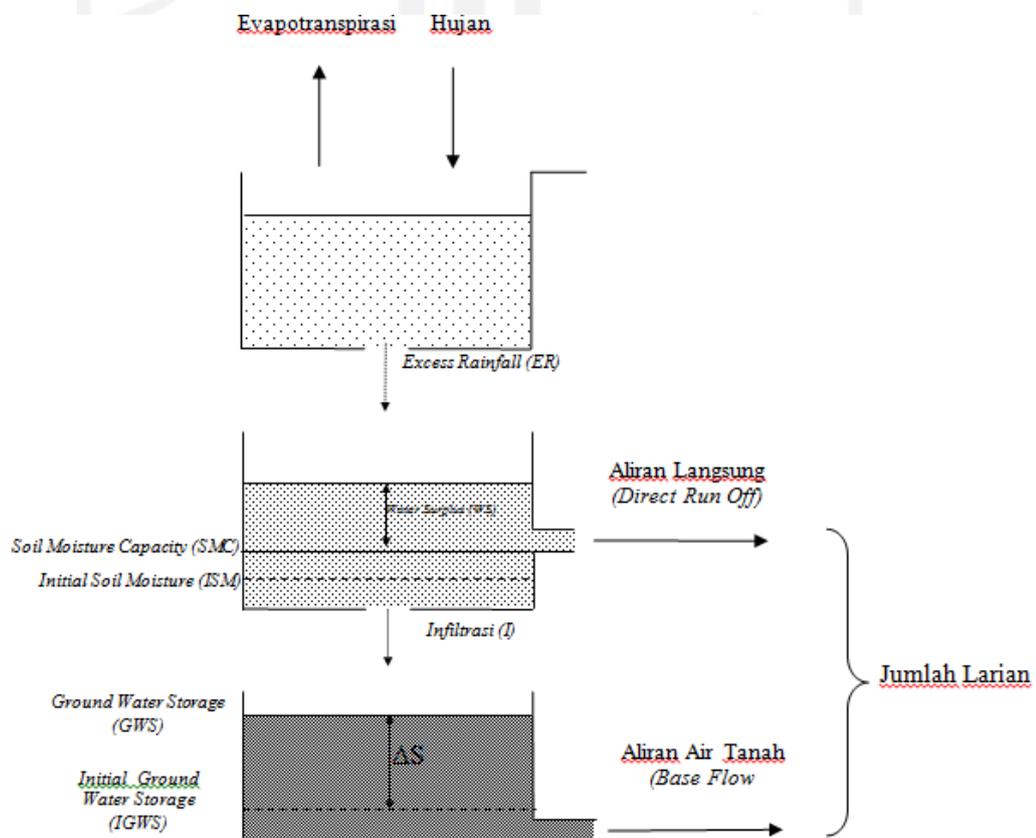
Evapotranspirasi terbatas adalah evapotranspirasi aktual dengan mempertimbangkan kondisi vegetasi dan permukaan tanah serta frekuensi curah hujan.

3. Luas daerah pengaliran
Semakin besar daerah pengaliran dari suatu aliran kemungkinan akan semakin besar ketersediaan debitnya.
4. *Soil Moisture Capacity (SMC)*
Soil Moisture Capacity adalah kapasitas kandungan air pada lapisan tanah permukaan per m².
5. Keseimbangan air di permukaan tanah
Keseimbangan air di permukaan tanah dipengaruhi oleh air hujan, kandungan air tanah, dan kapasitas kelembaban tanah.
6. Aliran dan Penyimpanan Air Tanah (*run off* dan *ground water storage*)
Nilai *run off* dan *ground water storage* tergantung dari keseimbangan air dan kondisi tanahnya.
7. Koefisien Infiltrasi
Koefisien infiltrasi diperkirakan berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan DPS.
8. Faktor Resesi Aliran Air Tanah
Faktor Resesi adalah perbandingan antara aliran air tanah pada bulan ke n dengan aliran air tanah pada awal bulan tersebut. Faktor resesi aliran tanah dipengaruhi oleh sifat geologi DPS.
9. *Initial Storage (IS)*
Initial Storage atau tampungan awal adalah perkiraan besarnya volume air pada awal perhitungan.
10. Penyimpanan Air Tanah (*Groud Water Storage*)
Penyimpanan air tanah besarnya tergantung dari kondisi geologi setempat dan waktu. Sebagai permulaan dari simulasi harus ditentukan penyimpanan awal (*initial storage*) terlebih dahulu.
11. Aliran Sungai

Setelah debit andalan menggunakan parameter nilai awal didapatkan, maka dilanjutkan ke perhitungan neraca air tahunan untuk mengkalibrasi parameter WIC, DIC, ISM, SMC, IGWS, dan k untuk mendapatkan nilai parameter optimal. Besaran nilai tersebut didapatkan menggunakan metode *trial and error*. Untuk kalibrasi nilai optimal pada parameter Model F.J Mock, maka nilai $\Sigma I - \Sigma O$, perubahan *upper zone soli moisture*, dan perubahan *groundwater storage* harus mendekati 0.

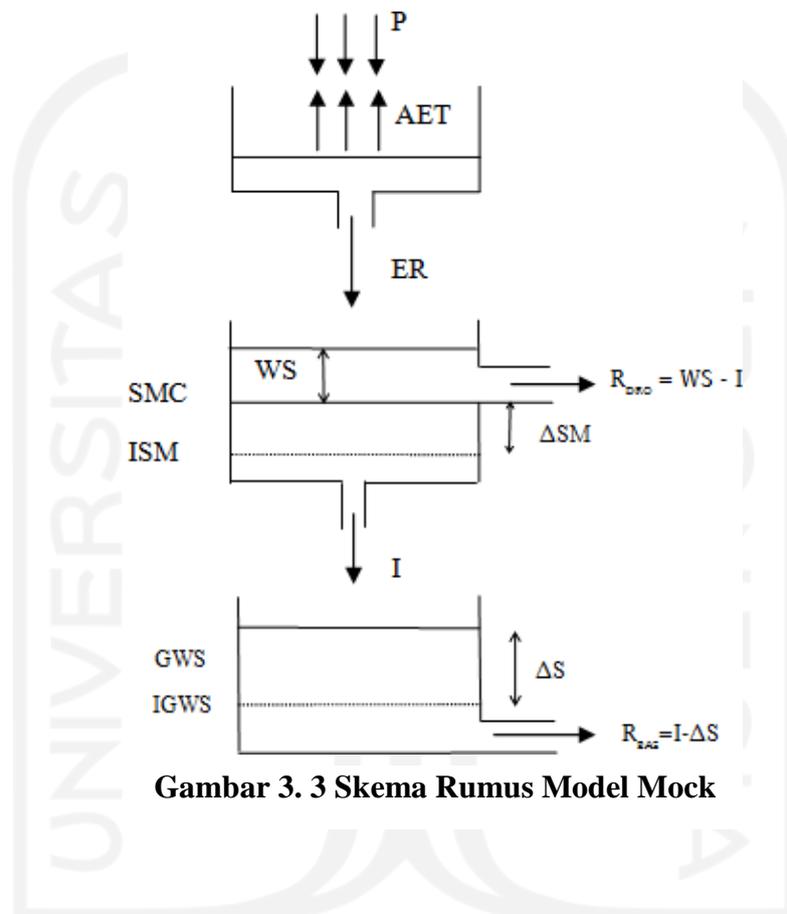
3.1.6 Analisis Debit Andalan

Analisis perhitungan debit tersedia menggunakan cara *water balance* dari F.J. Mock. Metode ini memberikan cara perhitungan yang relatif sederhana berdasarkan hasil riset daerah aliran sungai di seluruh Indonesia. Pada dasarnya metode ini adalah hujan yang jatuh pada *catchment area* sebagian akan hilang sebagai evapotranspirasi, sebagian akan langsung menjadi aliran permukaan (*direct run off*) dan sebagian lagi akan masuk ke dalam tanah (infiltrasi). Proses perhitungan yang dilakukan dengan metode F.J. Mock menjelaskan hubungan *rain fall-run off* dijelaskan dalam gambar 3.2 dibawah



Gambar 3. 2 Bagan Alir Model *rain fall-run off*

Analisis neraca air model Mock sesuai dengan konsep dari F.J. Mock tahun 1897 dibagi menjadi 3 bagian, yaitu evapotranspirasi dan hujan, keseimbangan air di permukaan serta tampungan air tanah. Berikut ini diberikan beberapa rumus yang digunakan di dalam menganalisis model MOCK (Abdillah, 2006) :



Gambar 3. 3 Skema Rumus Model Mock

dengan :

- AET = evapotranspirasi aktual (mm/bln),
- P = hujan (mm/bln),
- ER = *excess rainfall* (mm/bln),
- ΔSM = perubahan lengas tanah (mm/bln),
- SMC = *soil moisture capacity* (mm/bln),
- ISM = *initial soil moisture* (mm/bln),
- WS = kelebihan air (mm/bln),
- I = infiltrasi (mm/bln),

GWS	=	ground water storage (mm/bln),
ΔS	=	perubahan tampungan (mm/bln),
R _{BAS}	=	aliran dasar (mm/bln),
R _{DRO}	=	aliran langsung (mm/bln),
R _{TOT}	=	total aliran (mm/bln),
A	=	luas DAS (km ²),
QRO	=	debit aliran (m ³ /det).

Perhitungan debit andalan meliputi :

1. Data Curah Hujan

R ₂₀	=	curah hujan bulanan
n	=	jumlah hari hujan

2. Evapotranspirasi Terbatas (Et)

Evapotranspirasi terbatas adalah evapotranspirasi aktual dengan mempertimbangkan kondisi vegetasi dan permukaan tanah serta frekuensi curah hujan.

$$Et = Ep - E \quad (3.2)$$

$$E = Ep \times \left(\frac{m}{20} \right) \times (18 - n) \quad (3.3)$$

dengan :

E	=	selisih evapotranspirasi potensial dan evapotranspirasi terbatas
Ep	=	evapotranspirasi potensial
Et	=	evapotranspirasi terbatas
m	=	persentase lahan yang tidak ditutupi vegetasi
	=	10-40% untuk lahan yang tererosi
	=	30-50% untuk lahan pertanian yang diolah
n	=	jumlah hari hujan

3. Keseimbangan Air pada Permukaan Tanah

Rumus mengenai air hujan yang mencapai permukaan tanah

$$S = R_s - E_{tl} \quad (3.4)$$

$$SMC(n) = SMC(n-1) + IS(n) \quad (3.5)$$

$$WS = S - IS \quad (3.6)$$

dengan :

S = Kandungan air tanah

R_s = curah hujan bulanan

E_{tl} = evapotranspirasi terbatas

IS = tampungan awal / *soil storage* (mm)

IS (n) = tampungan awal / *soil storage moisture* (mm) diambil antara 50-250 mm

SMC (n) = kelembatan tanah bulan ke- (n)

SMC (n-1) = kelembatan tanah bulan ke- (n-1)

WS = *water surplus* / volume air bersih

4. Limpasan (*run off*) dan tampungan air tanah (*groud water storage*)

$$V_n = k.V(n-1) + 0,5(1-k).I(n) \quad (3.7)$$

$$dV_n = V(n) - V(n-1) \quad (3.8)$$

dengan:

V(n) = volume air bulan ke-n

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

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

l = koefisien *infiltrasi* diambil antara 0-1,0

Harga k yang tinggi akan memberikan resesi lambat seperti kondisi geologi lapisan bawah tanah yang lulus air. Koefisien *infiltrasi* ditaksir berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan lahan. Lahan porus mempunyai *infiltrasi* lebih tinggi dibandingkan tanah lempung berat.

Lahan yang terjal menyebabkan air tidak sempat berinfiltrasi ke dalam tanah sehingga koefisien infiltrasi akan kecil.

5. Aliran Sungai

Aliran dasar = infiltrasi – perubahan volume air tanah

$$B(n) = I - dV(n) \quad (3.9)$$

Aliran permukaan = volume air bersih – infiltrasi

$$D(ro) = WS - I \quad (3.10)$$

Aliran sungai = aliran permukaan + aliran dasar

$$RunOff = D(ro) + B(n) \quad (3.11)$$

$$Debit = \frac{\text{aliransungai}}{\text{satubulan}(dtk)} \times \text{luasDAS} \quad (3.12)$$

3.2 Analisis Kebutuhan Air Baku

Kebutuhan air baku disini dititik beratkan pada penyediaan air baku untuk diolah menjadi air bersih. Standar kebutuhan air ada 2 (dua) macam yaitu : (Direktorat Jendral Cipta Karya, 2000)

1. Standar Kebutuhan Air Domestik

Standar kebutuhan air domestik yaitu kebutuhan air yang digunakan pada tempat-tempat hunian pribadi untuk memenuhi keperluan pribadi sehari-hari, seperti memasak, minum, mencuci, dan keperluan rumah tangga lainnya. Satuan yang dipakai adalah liter/orang/hari.

2. Standar Kebutuhan Air non Domestik

Standar kebutuhan air non domestik adalah kebutuhan air bersih diluar keperluan rumah tangga, antara lain :

a. Penggunaan komersil dan industri

Yaitu pengguna air oleh badan-badan komersil dan industri

b. Penggunaan umum

Yaitu penggunaan air untuk bangunan-bangunan pemerintah, rumah sakit dan tempat-tempat ibadah.

Penentuan kebutuhan air baku domestik maupun non domestik dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 3. 2 Kriteria Penentuan Kebutuhan Air

Jumlah Penduduk	Domestik (l/kapita/hari)	Non Domestik (l/kapita/hari)	Kehilangan Air (l/kapita/hari)
>1.000.000	150	50	50
500.000 – 1.000.000	135	40	45
100.000 – 500.000	120	30	40
20.000 – 100.000	105	20	30
<20.000	82,5	10	24

3.2.1 Proyeksi Kebutuhan Air Bersih

Proyeksi kebutuhan air bersih dapat ditentukan dengan memperhatikan pertumbuhan penduduk untuk diproyeksikan terhadap kebutuhan air bersih sampai dengan lima puluh tahun mendatang atau tergantung dari proyeksi yang dikehendaki (Soemarto, 1987). Adapun yang berkaitan dengan proyeksi kebutuhan tersebut adalah :

1. Angka Pertumbuhan Penduduk

Angka pertumbuhan penduduk dihitung dengan prosentase memakai rumus :

$$\text{Angka Pertumbuhan Penduduk} = \frac{\Sigma \text{penduduk } n - \Sigma \text{penduduk } n-1}{\Sigma \text{penduduk } n-1} \times 100\% \quad (3.13)$$

2. Proyeksi Jumlah Penduduk

Dari angka pertumbuhan penduduk diatas dalam persen digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk sampai dengan lima puluh tahun mendatang. Meskipun dalam kenyataannya tidak selalu tepat, tetapi perkiraan ini dapat dijadikan dasar perhitungan volume kebutuhan air di masa mendatang. Ada beberapa metode yang digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk antara lain :

a. Metode *Geometrical Increase*

$$P_n = P_0 + (1+r)^n \quad (3.14)$$

dengan :

P_n = jumlah penduduk pada tahun ke-n

P_0 = jumlah penduduk pada awal tahun

r = prosentase pertumbuhan geometrical penduduk tiap tahun

n = periode waktu yang ditinjau

b. Metode *Arithmetical Increase*

$$P_n = P_0 + n.r \quad (3.15)$$

$$R = \frac{P_0 - P_t}{t} \quad (3.16)$$

dengan :

P_n = jumlah penduduk pada tahun ke-n

P_0 = jumlah penduduk pada awal tahun

r = prosentase pertumbuhan geometrical penduduk tiap tahun

n = periode waktu yang ditinjau

t = banyak tahun sebelum tahun Analisis

P_t = jumlah penduduk pada tahun ke-t

3.3 Perhitungan Volume Tampung Embung

Kapasitas tampungan embung yang dibutuhkan harus dapat memenuhi kebutuhan penduduk dan juga harus mempertimbangkan kehilangan air oleh penguapan di kolam serta resapan di dasar dan dinding kolam serta menyediakan ruangan untuk sedimen. Kapasitas tampungan embung dihitung berdasarkan kebutuhan air, ketersediaan air, dan topografi dari embung tersebut.

3.3.1 Kapasitas Embung Berdasar Kebutuhan Air (V_n)

Volume tampungan berdasarkan kebutuhan air (V_n) dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$V_n = V_u + V_e + V_i + V_s \quad (3.17)$$

dengan :

V_n = volume tampungan berdasarkan kebutuhan air (m^3)

V_u = volume tampungan hidup untuk melayani berbagai kebutuhan air (m^3)

V_e = jumlah penguapan yang terjadi sepanjang tahun (m^3)

V_i = jumlah resapan melalui dasar dinding dan tubuh embung yang terjadi sepanjang tahun (m^3)

V_s = ruangan yang disediakan untuk sedimen

Kebutuhan air yang harus dilayani embung (V_u) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini

$$V_u = J_h \times J_p \times Q_u + \sum (KAI \times 24 \times \text{jumlah hari} \times 3600) \quad (3.18)$$

dengan :

J_h = jumlah hari selama musim kemarau

J_p = jumlah penduduk yang dilayani

Q_u = kebutuhan air baku (1/orang/hari)

KAI = jumlah kebutuhan air irigasi selama musim kemarau

Jumlah penguapan yang terjadi sepanjang tahun perlu diperhitungkan dalam penentuan kapasitas. Penguapan di permukaan kolam embung dapat dihitung secara sederhana seperti berikut ini

$$V_e = A_{kt} \times \sum E_{kj} \quad (3.19)$$

dengan :

A_{kt} = luas permukaan kolam embung

E_{kj} = penguapan bulanan pada bulan ke-j

Air dalam kolam embung akan meresap masuk ke dalam pori atau rongga dasar dan dinding kolam, Besarnya resapan tergantung dari sifat lulus air material yang digunakan pada dasar dan dinding kolam. Perhitungan resapan memakai pendekatan praktis sebagai berikut

$$V_i = KxV_u \quad (3.20)$$

dengan :

K = faktor yang nilainya tergantung dari sifat lulus air material dasar dan dinding kolam

Nilai K = 10% bila dasar dan dinding kolam embung praktis rapat air ($k \leq 10^{-5}$ cm/dt)

Nilai K = 25% bila dasar dan dinding kolam embung bersifat semi lulus ($k = 10^{-3} - 10^{-4}$ cm/dt)

V_u = jumlah air untuk berbagai kebutuhan (m^3)

Ruang untuk sedimen perlu disediakan di kolam embung mengingat adanya tampungan kecil, walaupun daerah tadah hujan disarankan agar ditanami tumbuhan untuk mengendalikan erosi. Berdasarkan pengamatan pada beberapa embung yang ada secara praktis ruang setinggi 1 m di atas kolam telah cukup untuk menampung sedimen. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut

$$V_s = 0,05xV_u \quad (3.21)$$

dengan :

V_u = jumlah air untuk berbagai kebutuhan (m^3)

3.3.2 Kapasitas Embung Berdasar Ketersediaan Air (V_h)

Pengisi tampungan pada embung terdiri atas aliran permukaan dari seluruh daerah tangkapan hujan, air hujan yang langsung jatuh, dan debit mata air yang ada. Sehingga jumlah air yang masuk ke dalam embung dapat dinyatakan sebagai berikut

$$V_h = \sum V_j + (R_j \times A_{\text{embung}}) \quad (3.22)$$

dengan :

V_h = volume air yang dapat mengisi kolam embung (m^3)

V_j = aliran bulanan pada bulan j (m^3)

$\sum V_j$ = jumlah aliran total selama musim hujan (m^3)

Volume air V_h merupakan jumlah air maksimum yang dapat mengisi kolam embung. Aliran bulanan pada bulan j (V_j) yang masuk pada kolam embung menggunakan rumus

$$V_j = Q_j \times t \quad (3.23)$$

dengan :

Q_j = debit andalan pada bulan j (m^3/s)

t = waktu

3.3.3 Kapasitas Embung Berdasar Kondisi Topografi (V_p)

Kapasitas embung berdasarkan topografi ditentukan oleh tinggi maksimum embung yang dapat dibangun yang dipengaruhi oleh jenis bahan embung dan kondisi geologinya. Volume tampungan ini dihitung berdasarkan peta hasil pengukuran di lapangan. Cara perhitungan kapasitas embung berdasarkan kondisi topografi adalah dengan menghubungkan elevasi, volume tampungan, dan luas permukaan yang ditampilkan dalam bentuk kurva kapasitas tampungan. Dari kurva hubungan elevasi, volume, dan luas permukaan dapat diketahui besar tampungan

pada elevasi tertentu. Kapasitas tampungan berdasarkan kondisi topografi dapat menggunakan persamaan berikut

$$V_1 = \frac{(A_0 + A_1)}{2} (a_1 - a_0) \quad (3.24)$$

dengan :

V_1 = volume tampungan (m^3)

a_0 = elevasi 0

a_1 = elevasi 1

A_0 = luas permukaan untuk elevasi a_0

A_1 = luas permukaan untuk elevasi a_1

Volume tampungan dihitung pada setiap tinggi elevasi yang ditentukan, kemudian cari volume tampungan kumulatif untuk mengetahui total jumlah tampungan yang terdapat pada embung dalam bentuk tabel. Setelah didapat nilai elevasi, luas permukaan, volume tampungan, kemudian dibuat grafik hubungan antara elevasi dan luas permukaan serta volume tampungan.

3.3.4 Penentuan Kapasitas Tampung Embung

Setelah didapatkan kapasitas embung berdasar kebutuhan air (V_n), kapasitas embung berdasar ketersediaan air (V_h), dan kapasitas embung berdasar topografi (V_p) maka dipilih nilai terkecil dari ketiga kapasitas tersebut untuk digunakan sebagai nilai kapasitas tampung embung.

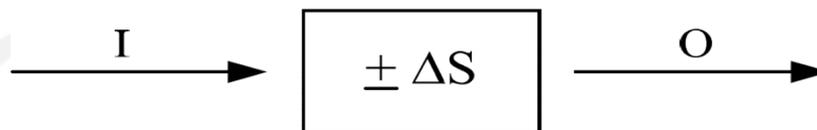
3.4 Neraca Air

Perhitungan neraca air dilakukan untuk mengecek apakah air yang tersedia cukup memadai untuk memenuhi kebutuhan air baku atau tidak. Perhitungan neraca air ini pada akhirnya akan menghasilkan kesimpulan mengenai ketersediaan air sebagai air baku yang nantinya akan diolah. Ada tiga unsur pokok dalam perhitungan neraca air yaitu :

1. Kebutuhan air

2. Tersedianya air
3. Neraca air

Konsep dasar neraca air dapat dilihat pada **Gambar 3.4** . Rumus neraca air secara umum dapat dilihat pada persamaan berikut.



Gambar 3. 4 Konsep Dasar Neraca Air

$$I = O \pm \Delta S$$

$$I_n - O_n = S_{n+1} - S_n$$

$$S_{n+1} = S_n + I_n - O_n \quad (3.25)$$

dengan :

S_n = volume tampungan awal periode ke n

S_{n+1} = volume tampungan awal periode ke n+1

I_n = volume air yang masuk embung terdiri dari mata air dan air hujan yang jatuh pada embung dikurangi dengan penguapan dan rembesan periode ke-n

O_n = volume air yang keluar embung bulan ke n (pelayanan untuk air baku dan irigasi)

3.5 Tingkat Keandalan

Tujuan dari tingkat keandalan embung adalah persentase untuk mengetahui bahwa embung tersebut mampu menjamin kebutuhan minimum yang diperlukan. Dalam simulasi keandalan tampungan embung akan dilihat apakah kapasitas tampungan embung yang tersedia memenuhi berbagai keperluan yang telah

direncanakan. Analisis tingkat keandalan ini didapatkan dari pola operasi embung apakah mengalami kegagalan atau sukses beroperasi memenuhi kebutuhan yang telah direncanakan. Tingkat keandalan embung dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$\text{Tingkat Keandalan} = \frac{\text{kebutuhan air yang terlayani}}{\text{kebutuhan total air}} \times 100\% \quad (3.26)$$

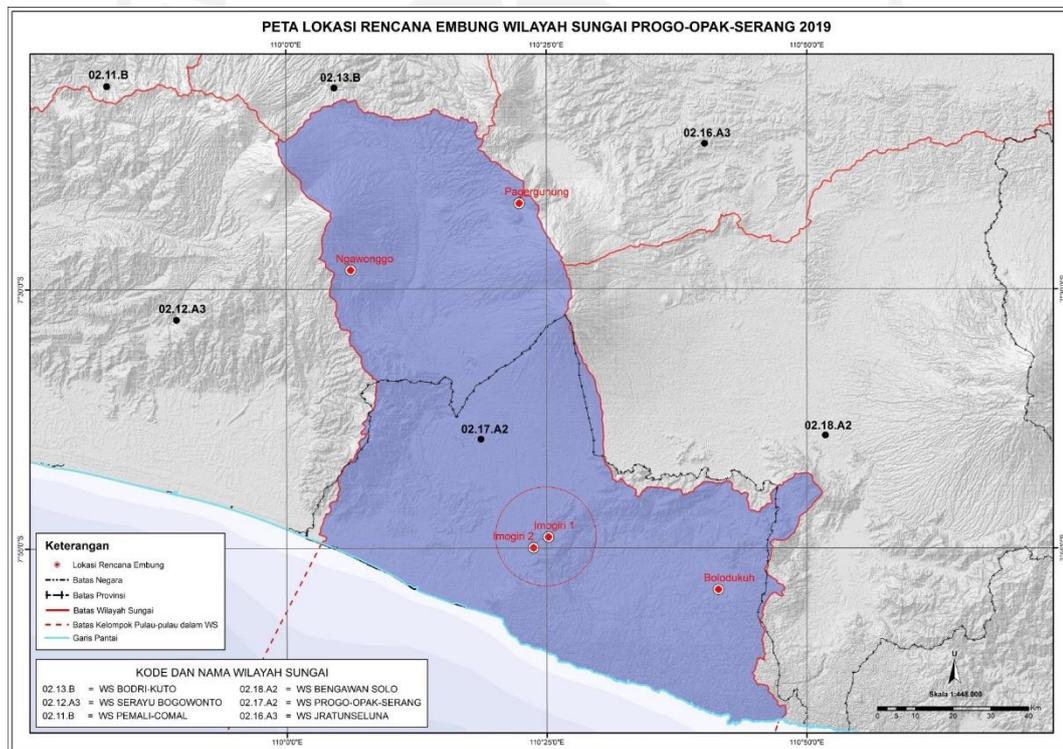


BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi dan Waktu Pelaksanaan

4.1.1 Lokasi

Lokasi perencanaan embung yang akan dilakukan berada pada Desa Wukirsari, Imogiri, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4. 1 Lokasi Embung Wukirsari 1

4.1.2 Waktu Pelaksanaan

Waktu pelaksanaan adalah waktu yang dibutuhkan untuk meninjau, merencanakan, mengumpulkan, dan menganalisis data yang telah didapatkan.

4.2 Tahapan Penelitian

Penelitian Kapasitas Tampungan dan Keandalan Embung Wukirsari 1 dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut :

1. Tahapan persiapan, merupakan tahap persiapan yang terdiri dari persiapan surat atau berkas permohonan pengambilan data
2. Tahap pengumpulan data, merupakan tahap pengambilan data topografi, data curah hujan, data debit mata air, data penguapan, data kebutuhan air.
3. Tahap analisis, merupakan tahap pengolahan data dengan logika, teori, dan standar peraturan yang berlaku
4. Tahap penulisan dan pengambilan kesimpulan, merupakan tahap penulisan naskah laporan Tugas Akhir yang sesuai dengan pedoman dan pengambilan kesimpulan berdasarkan teori yang digunakan.

4.3 Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder. Data sekunder ini berupa data yang bisa didapat dari arsip instansi terkait dan data yang berpengaruh pada perencanaan. Data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

1. Data Hidrologi
2. Data Demografi (kependudukan)
3. Data Topografi
4. Data Klimatologi

4.4 Analisis

Analisis yang dilakukan yaitu menghitung ketersediaan dan kebutuhan air baku, sehingga perhitungan ketersediaan dan kebutuhan air menghasilkan kapasitas maksimal yang dapat tertampung pada Embung Wukirsari 1. Adapun yang akan dianalisis pada penelitian ini adalah sebagai berikut

4.4.1 Kapasitas tampungan berdasarkan kebutuhan air

Analisis volume tampungan embung berdasarkan kebutuhan air (V_n) dapat dihitung dengan menjumlahkan data berikut ini

1. Volume tampungan hidup untuk melayani kebutuhan air baku sampai dengan tahun 2035
2. Jumlah penguapan dari kolam selama musim kering
3. Jumlah resapan melalui dasar dinding dan tubuh embung selama musim kemarau
4. Ruang yang disediakan untuk sedimen

4.4.2 Kapasitas tampungan berdasarkan ketersediaan air

Kapasitas tampungan embung berdasarkan ketersediaan air dihitung dengan dasar aliran dari air hujan yang jatuh di atas permukaan embung dan debit andalan. Sehingga analisis curah hujan rerata $\frac{1}{2}$ bulan sangat berpengaruh pada jumlah air yang masuk ke dalam embung yang dinyatakan dalam volume air yang dapat mengisi kolam embung selama musim hujan.

4.4.3 Kapasitas tampungan berdasarkan topografi

Analisis volume tampungan embung berdasarkan topografi ini dihitung berdasarkan peta hasil pengukuran di lapangan. Cara yang digunakan dalam analisis volume tampungan berdasarkan topografi adalah dengan menghitung luasan garis kontur dari tinggi muka air maksimum kondisi lapangan sampai dasar embung yang terbagi menjadi beberapa garis kontur.

4.4.4 Penentuan kapasitas embung

Setelah menghitung kapasitas tampungan berdasarkan kebutuhan air, ketersediaan air, dan topografi lalu dipilih hasil terkecil dari ketiga kapasitas tersebut. Sehingga nilai tersebut digunakan sebagai nilai tampungan pada embung.

4.4.5 Simulasi neraca air

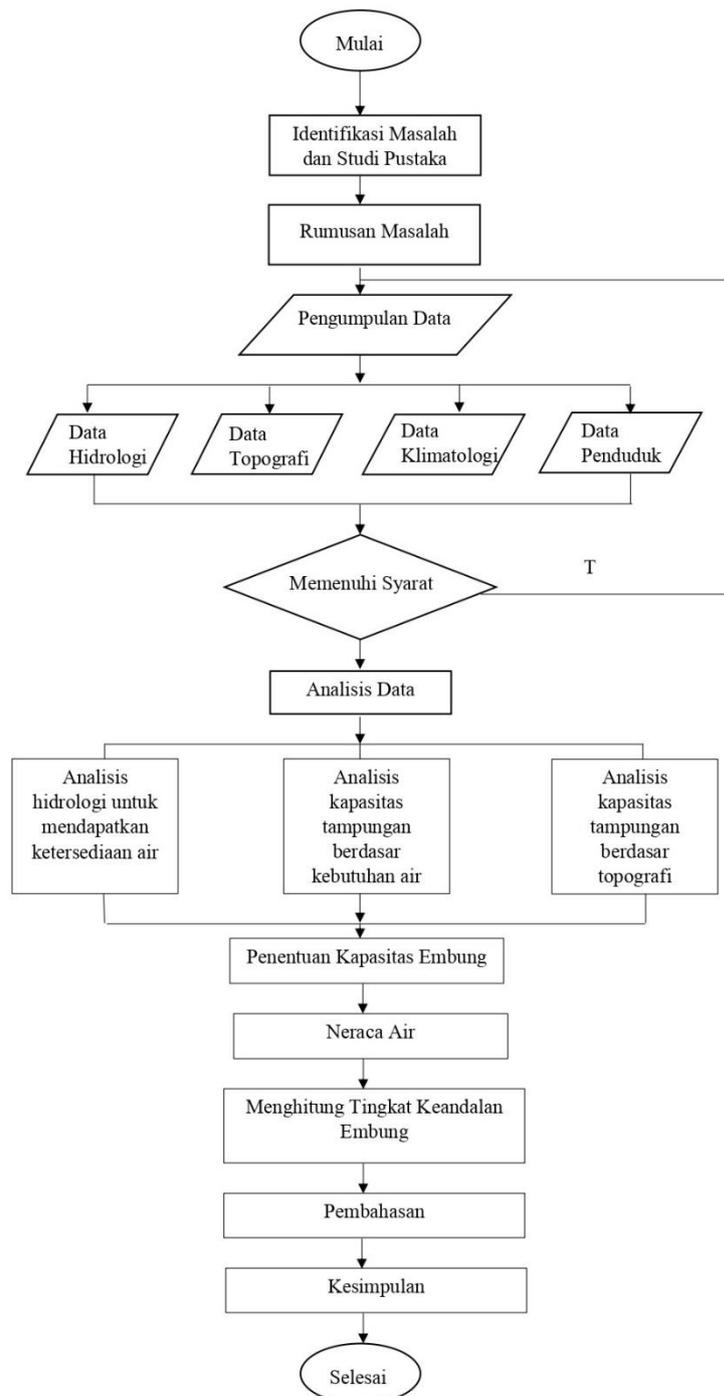
Setelah diperoleh tampungan Embung Wukirsari 1, selanjutnya melakukan simulasi neraca air untuk dapat mengetahui keseimbangan debit aliran yang masuk dan debit aliran yang keluar. Sehingga dapat diketahui perubahan volume tampungan Embung Wukirsari 1 pada setiap periode.

4.4.6 Tingkat keandalan pelayanan

Analisis tingkat keandalan embung dihitung untuk mengetahui persentase tingkat keandalan Embung Wukirsari 1 untuk memenuhi kebutuhan masyarakat.

4.5 Bagan Alir

Langkah-langkah studi mengikuti bagan alir pada Gambar 4.2 berikut

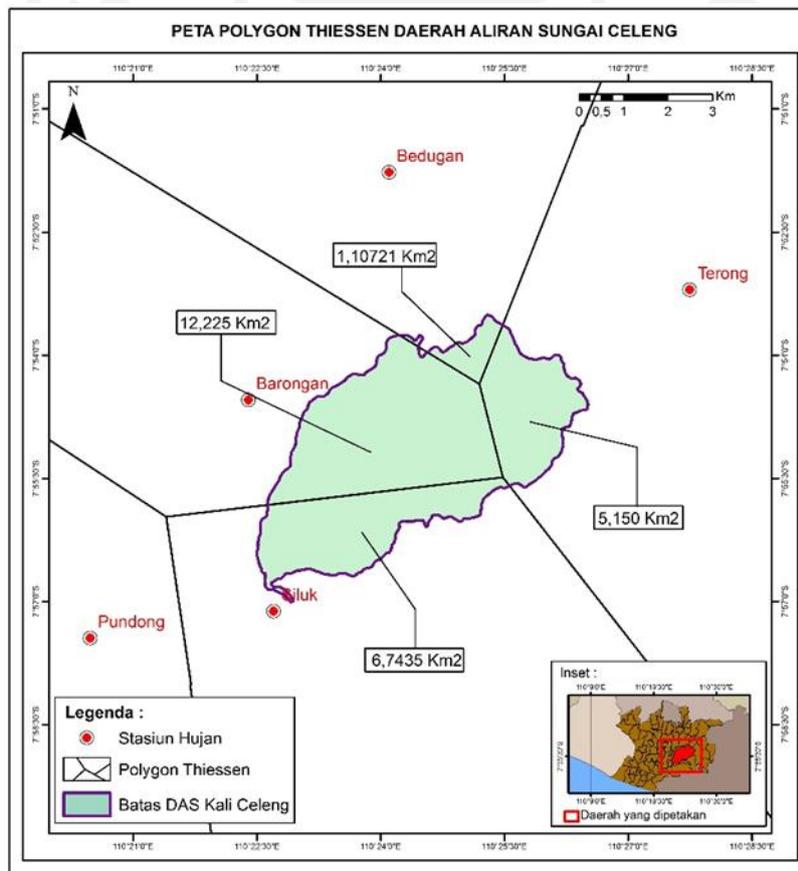


Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian

BAB V ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Data Hujan

Berdasarkan hasil pengukuran dengan menggunakan peta *google earth* dan program *AutoCAD 2010*, wilayah Embung Wukirsari 1 memiliki luas wilayah sebesar 25,226 km². Pada penelitian ini digunakan metode polygon *Thiessen* untuk menentukan hujan rerata DAS Celeng. Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun hujan yang mewakili luasan di sekitarnya. Prosedur pembentukan polygon *Thiessen* ditunjukkan dalam gambar 5.1.



Gambar 5. 1 Pembentukan Poligon Thiessen

Selanjutnya didapatkan koefisien bobot α yang digunakan untuk mengalikan kedalaman hujan pada stasiun masing-masing, seperti ditunjukkan pada table 5.1.

Tabel 5. 1 Bobot Stasiun Hujan

No	Nama DAS	Pos Hujan	Luas (km ²)	Bobot (α)
1	DAS Kali Celeng	Barongan	12,225	48,46%
2	DAS Kali Celeng	Bedungan	1,107	4,39%
3	DAS Kali Celeng	Terong	5,15	20,42%
4	DAS Kali Celeng	Siluk	6,744	26,73%
	Total		25,226	100%

(Sumber: Perhitungan)

5.1.1 Hujan Bulanan DAS Celeng

Data curah hujan bulanan diambil dari Stasiun Barongan, Stasiun Siluk, Stasiun Bedungan, dan Stasiun Terong setiap bulan dari tahun 2001 sampai dengan tahun 2017. Data curah hujan yang diambil merupakan jumlah curah hujan setiap bulan pada stasiun tertentu lalu dikalikan dengan bobot masing-masing stasiun. Rekapitulasi perhitungan curah hujan bulanan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. 2 Data Curah Hujan Bulanan

Tahun	Satuan	Bulan											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2001	mm	227,53	109,28	146,60	59,82	3,63	5,67	4,36	0,00	1,56	132,79	154,84	104,92
2002	mm	39,40	44,91	59,62	41,44	9,89	1,34	0,00	0,00	0,00	148,38	27,56	36,75
2003	mm	172,04	162,21	109,42	6,12	35,13	7,75	0,00	0,00	0,00	19,38	131,33	203,54
2004	mm	114,61	124,06	149,75	15,02	63,68	2,04	10,66	0,00	0,22	10,82	136,86	284,76
2005	mm	97,41	354,26	127,45	228,74	0,00	87,67	8,58	0,31	0,82	141,99	142,62	343,45
2006	mm	909,87	483,17	1139,34	332,93	43,28	8,11	1,62	0,02	0,15	2,13	12,15	330,99
2007	mm	909,63	483,17	114,42	74,72	21,42	38,53	1,34	0,00	0,29	11,23	63,09	182,33
2008	mm	82,34	73,25	88,22	32,95	9,36	0,10	0,00	0,00	0,00	51,32	89,42	70,85
2009	mm	134,97	89,56	35,72	35,38	53,65	14,17	0,00	0,00	0,00	14,70	19,05	25,93
2010	mm	57,48	47,85	54,76	55,87	81,46	15,60	12,03	13,81	61,76	36,20	53,55	145,39
2011	mm	72,21	80,16	78,33	72,64	33,29	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	93,39	91,11
2012	mm	97,05	100,85	78,60	47,77	15,02	6,12	0,00	0,48	0,00	30,09	33,15	126,97
2013	mm	101,24	84,32	45,32	52,26	42,87	48,79	12,94	1,34	0,73	11,87	128,08	190,21
2014	mm	158,47	98,47	39,88	81,08	24,09	27,87	34,41	0,11	0,00	0,73	107,63	196,46
2015	mm	248,22	85,39	220,50	197,24	57,19	2,68	0,00	0,00	0,00	0,00	53,36	127,50
2016	mm	64,60	150,76	134,58	64,21	36,69	76,72	14,39	24,47	136,76	112,92	109,34	212,75
2017	mm	157,50	165,50	216,38	106,62	13,33	23,99	1,94	0,48	42,16	38,52	383,09	153,62

(Sumber : Perhitungan)

5.1.2 Hujan Andalan

Setelah curah hujan bulanan didapatkan, lalu data diurutkan dari nilai terbesar hingga terkecil dan dihitung hujan andalan probabilitas 90% dengan langkah sebagai berikut

1. Memberi peringkat (m) secara urut curah hujan bulanan dari nilai terbesar ke nilai terkecil.
2. Mencari nilai p (dalam persen) dari hasil curah hujan yang sudah diurutkan.

Perhitungan untuk menentukan nilai p adalah sebagai berikut

$$p = \frac{m}{n+1}$$

$$p = \frac{1}{17+1}$$

$$p = 5,56 \%$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dilakukan perhitungan untuk mencari nilai p selanjutnya.

3. Setelah nilai p didapatkan dalam 1 tahun, lalu dicari nilai p= 90%. Untuk mencari nilai p = 90% dilakukan interpolasi antara data peringkat 14 dan 15.

$$\begin{aligned} R_{\text{Januari}} &= \text{jan}^{16} + \frac{(90 - p^{16})}{(p^{17} - p^{16})} \times (\text{jan}^{17} - \text{jan}^{16}) \\ &= 88,49 + \frac{(90 - 88,89)}{(94,44 - 88,89)} \times (39,40 - 57,48) \\ &= 53,863 \text{ mm} \\ &= 2,01 \times 10^{-8} \text{ m/s} \end{aligned}$$

Lalu perhitungan untuk mencari p 90% pada bulan selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama dan dilakukan rekapitulasi dan didapatkan hasil seperti tabel berikut.

Tabel 5. 3 Hujan 90% (Januari-Juni)

No	P (%)	Satuan	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
1	5,56	mm	909,87	483,17	1139,34	332,93	81,46	87,67
2	11,11	mm	909,63	483,17	220,50	228,74	63,68	76,72
3	16,67	mm	248,22	354,26	216,38	197,24	57,19	48,79
4	22,22	mm	227,53	165,50	149,75	106,62	53,65	38,53
5	27,78	mm	172,04	162,21	146,60	81,08	43,28	27,87
6	33,33	mm	158,47	150,76	134,58	74,72	42,87	23,99
7	38,89	mm	157,50	124,06	127,45	72,64	36,69	15,60
8	44,44	mm	134,97	109,28	114,42	64,21	35,13	14,17
9	50,00	mm	114,61	100,85	109,42	59,82	33,29	8,11
10	55,56	mm	101,24	98,47	88,22	55,87	24,09	7,75
11	61,11	mm	97,41	89,56	78,60	52,26	21,42	6,12
12	66,67	mm	97,05	85,39	78,33	47,77	15,02	5,67
13	72,22	mm	82,34	84,32	59,62	41,44	13,33	2,68
14	77,78	mm	72,21	80,16	54,76	35,38	9,89	2,04
15	83,33	mm	64,60	73,25	45,32	32,95	9,36	1,34
16	88,89	mm	57,48	47,85	39,88	15,02	3,63	0,10
17	94,44	mm	39,40	44,91	35,72	6,12	0,00	0,00
	90	mm	53,863	47,266	39,051	13,243	2,908	0,078
		m/s	2,011E-08	1,886E-08	1,458E-08	5,109E-09	1,086E-09	2,991E-11

(Sumber : Perhitungan)

Tabel 5. 4 Hujan 90% (Juli-Desember)

No	P (%)	Satuan	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	5,56	mm	34,41	24,47	136,76	148,38	383,09	343,45
2	11,11	mm	14,39	13,81	61,76	141,99	154,84	330,99
3	16,67	mm	12,94	1,34	42,16	132,79	142,62	284,76
4	22,22	mm	12,03	0,48	1,56	112,92	136,86	212,75
5	27,78	mm	10,66	0,48	0,82	51,32	131,33	203,54
6	33,33	mm	8,58	0,31	0,73	38,52	128,08	196,46
7	38,89	mm	4,36	0,11	0,29	36,20	109,34	190,21
8	44,44	mm	1,94	0,02	0,22	30,09	107,63	182,33
9	50,00	mm	1,62	0,00	0,15	19,38	93,39	153,62
10	55,56	mm	1,34	0,00	0,00	14,70	89,42	145,39
11	61,11	mm	0,00	0,00	0,00	11,87	63,09	127,50
12	66,67	mm	0,00	0,00	0,00	11,23	53,55	126,97
13	72,22	mm	0,00	0,00	0,00	10,82	53,36	104,92
14	77,78	mm	0,00	0,00	0,00	2,67	33,15	91,11
15	83,33	mm	0,00	0,00	0,00	2,13	27,56	70,85
16	88,89	mm	0,00	0,00	0,00	0,73	19,05	36,75
17	94,44	mm	0,00	0,00	0,00	0,00	12,15	25,93
	90	mm	0,000	0,000	0,000	0,582	17,666	34,585
		m/s	0	0	0	2,171E-10	6,816E-09	1,291E-08

(Sumber : Perhitungan)

5.2 Analisis Ketersediaan Air Metode F.J Mock

Analisis ketersediaan air pada penelitian ini menggunakan debit andalan 90% dengan menggunakan metode F.J Mock. Debit andalan merupakan debit yang dipakai untuk memenuhi kebutuhan air. Perhitungan ini menggunakan analisis *water balance F.J Mock* berdasarkan data curah hujan bulanan, jumlah hari hujan, evapotranspirasi dan karakteristik hidrologi daerah pengairan.

5.2.1 Evapotranspirasi

Nilai evapotranspirasi potensial (ET_0) dihitung dengan menggunakan metode panci evaporasi. Nilai koefisien panci berdasarkan Eijkelkamp Agrisearch (2009) rata-rata nilai K_p yang digunakan adalah sebesar 0,7, sehingga nilai evapotranspirasi potensial adalah

$$ET_0 = K_p \times \text{Evaporasi panci kelas A}$$

Perhitungan pada Januari 2001 :

Rata-rata evaporasi panci kelas A = 2,4712

$$\begin{aligned} ET_0 &= 0,7 \times 2,471 \\ &= 1,730 \text{ mm/hari} \\ &= 53,625 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hasil rekapitulasi ET_0 dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Nilai Et_0

Bulan	Rata-rata (Pan Evaporation) (mm)	K_p	Evapotranspirasi Et_0 (mm/hari)	Evapotranspirasi Et_0 (mm)
Jan	2,471	0,7	1,730	53,625
Feb	3,081	0,7	2,156	62,535
Mar	3,776	0,7	2,643	81,930
Apr	3,168	0,7	2,218	66,533
May	3,308	0,7	2,316	71,790
Jun	3,055	0,7	2,139	64,161
Jul	3,277	0,7	2,294	71,101

Lanjutan Tabel 5. 5 Rekapitulasi Nilai E_t

Bulan	Rata-rata (Pan Evaporation) (mm)	K_p	Evapotranspirasi E_{t_0} (mm/hari)	Evapotranspirasi E_{t_0} (mm)
Aug	3,767	0,7	2,637	81,742
Sep	4,266	0,7	2,986	89,584
Oct	4,552	0,7	3,186	98,770
Nov	4,085	0,7	2,859	85,779
Dec	3,506	0,7	2,454	76,074

(Sumber: Perhitungan)

5.2.2 Parameter DAS Metode F.J Mock

Langkah awal yang dilakukan dalam perhitungan model F.J Mock adalah menentukan nilai dari parameter model. Perhitungan parameter ini menggunakan program *Microsoft Excel* yang dilakukan secara *trial and error*. Batasan nilai parameter untuk perhitungan debit ditentukan sebagai berikut.

Tabel 5. 6 Parameter Kendala Model F.J Mock

No	Kendala (<i>Constraints</i>)
1	$100 \leq SMC \leq 300$
2	$ISM \geq 50$ atau $ISM \leq SMC$
3	$0,35 \leq DIC \leq 0,75$
4	$0,1 \leq WIC \leq 0,5$ atau $WIC \leq DIC$
5	$50 \leq IGWS \leq 2000$
6	$0,75 \leq k \leq 0,995$

Nilai parameter kendala (*constraints*) ini digunakan dalam simulasi Model F.J Mock untuk menentukan nilai batas atas dan batas bawah dari parameter Model F.J Mock hingga didapatkan parameter model yang optimal sesuai dengan tujuan penelitian. Selanjutnya ditentukan nilai parameter kendala yang akan digunakan dalam perhitungan model F.J Mock.

Tabel 5. 7 Penentuan Nilai Awal Parameter Model F.J Mock

No	Parameter	Satuan	Simbol	Nilai Min	Nilai Awal	Nilai Maks
1	Luas DAS	km ²	A	-	25,226	-
2	Koefisien infiltrasi musim basah	-	WIC	0,1	0,2	0,5
3	Koefisien infiltrasi musim kemarau	-	DIC	0,35	0,5	0,75
4	<i>Initial Soil Moisture</i>	(mm)	ISM	50	100	300
5	<i>Soil Moisture Capacity</i>	(mm)	SMC	100	200	300
6	<i>Initial Groundwater Storage</i>	(mm)	IGWS	100	200	2000
7	<i>Groundwater Recession Constant</i>	-	K	0,75	0,8	0,995

Setelah menentukan nilai awal parameter, nilai tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai parameter Model F.J Mock yang optimal.

5.2.3 Debit Bulanan Parameter Awal

Berdasarkan parameter yang telah ditentukan, dilakukan perhitungan debit terhitung pada bulan januari tahun 2001.

1. Curah hujan

$$P = 227,53 \text{ mm}$$

$$n = 19 \text{ hari}$$

2. Evaporasi actual (AET)

$$E = Et_0 \times m \times \frac{18 - n}{2000}$$

$$= 53,62 \times 20 \times \frac{18 - 19}{2000}$$

$$= -0,5362 \approx 0$$

$$\begin{aligned} \text{AET} &= E_{t0} - E \\ &= 53,62 - 0 \\ &= 53,62 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Hujan efektif (ER)

$$\begin{aligned} \text{ER} &= P - \text{AET} \\ &= 227,53 - 53,62 \\ &= 173,90 \text{ mm} \end{aligned}$$

4. *Water Surplus* (WS)

Nilai *water surplus* dipengaruhi oleh $\text{ER} - (\text{SMC} - \text{ISM})$, apabila hasil perhitungan $\text{ER} - (\text{SMC} - \text{ISM}) < 0$, maka nilai $\text{WS} = 0$

$$\begin{aligned} \text{WS} &= \text{ER} - (\text{SMC} - \text{ISM}) \\ &= 173,90 - (200 - 100) \\ &= 73,90 \text{ mm} \end{aligned}$$

5. Infiltrasi (I)

$$\begin{aligned} I &= \text{WS} \times \text{WIC} \\ &= 73,90 \times 0,2 \\ &= 14,78 \text{ mm} \end{aligned}$$

6. *Groundwater Storage* (GWS)

$$\begin{aligned} \text{GWS} &= 0,5 \times (1 + k) \times I + k \times \text{IGWS} \\ &= 0,5 \times (1 + 0,8) \times 14,78 + 0,8 \times 200 \\ &= 173,30 \text{ mm} \end{aligned}$$

7. *Base Flow* (R_{BAS})

$$\begin{aligned} R_{\text{BAS}} &= I - (\text{GWS} - \text{IGWS}) \\ &= 14,78 - (173,30 - 200) \\ &= 41,48 \text{ mm} \end{aligned}$$

8. *Direct Runoff* (R_{DRO})

$$\begin{aligned} R_{\text{DRO}} &= \text{WS} - I \\ &= 73,90 - 14,78 \\ &= 59,12 \text{ mm} \end{aligned}$$

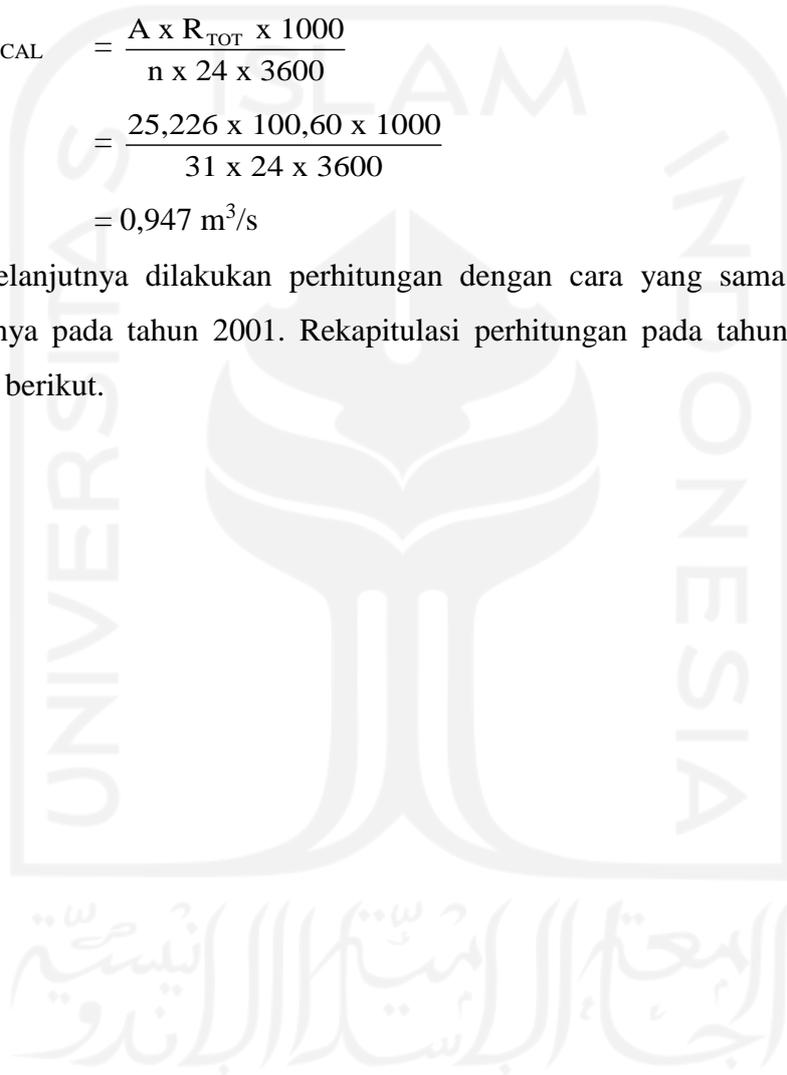
9. *Total Runoff* (R_{TOT})

$$\begin{aligned}R_{TOT} &= R_{DRO} + R_{BAS} \\ &= 59,12 + 41,48 \\ &= 100,60 \text{ mm}\end{aligned}$$

10. Debit terhitung (Q_{CAL})

$$\begin{aligned}Q_{CAL} &= \frac{A \times R_{TOT} \times 1000}{n \times 24 \times 3600} \\ &= \frac{25,226 \times 100,60 \times 1000}{31 \times 24 \times 3600} \\ &= 0,947 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan dengan cara yang sama untuk bulan berikutnya pada tahun 2001. Rekapitulasi perhitungan pada tahun 2001 adalah sebagai berikut.



Tabel 5. 8 Perhitungan Debit Andalan dengan Nilai Awal Tahun 2001

Parameter DAS	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Jumlah Hari	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
P (mm)	227,53	109,28	146,60	59,82	3,63	5,67	4,36	0,00	1,56	132,79	154,84	104,92
n (hari)	19,00	15,00	19,00	12,00	5,00	5,00	4,00	0,00	2,00	11,00	14,00	12,00
Et0 (mm)	53,62	62,53	81,93	66,53	71,79	64,16	71,10	81,74	89,58	98,77	85,78	76,07
m (%)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	30,00	30,00	30,00	30,00	20,00	20,00	20,00
E (mm)	0,00	1,88	0,00	3,99	9,33	12,51	14,93	22,07	21,50	6,91	3,43	4,56
AET (mm)	53,62	60,66	81,93	62,54	62,46	51,65	56,17	59,67	68,08	91,86	82,35	71,51
ER (mm)	173,90	48,62	64,67	-2,72	-58,82	-45,98	-51,81	-59,67	-66,53	40,93	72,49	33,41
SM (mm)	200,00	200,00	200,00	197,28	138,45	92,47	40,67	0,00	0,00	40,93	113,42	146,83
AET' (mm)	53,62	60,66	81,93	62,54	62,46	51,65	56,17	59,67	68,08	91,86	82,35	71,51
WS (mm)	73,90	48,62	64,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I (mm)	14,78	9,72	12,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GWS (mm)	173,30	147,39	129,56	103,64	82,92	66,33	53,07	42,45	33,96	27,17	21,74	17,39
BSF (mm)	41,48	35,63	30,77	25,91	20,73	16,58	13,27	10,61	8,49	6,79	5,43	4,35
DRO (mm)	59,12	38,90	51,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TRO (mm)	100,60	74,53	82,51	25,91	20,73	16,58	13,27	10,61	8,49	6,79	5,43	4,35
Qcal. (m ³ /s)	0,947	0,777	0,777	0,252	0,195	0,161	0,125	0,100	0,083	0,064	0,053	0,041

(Sumber: Perhitungan)

Setelah debit andalan menggunakan parameter nilai awal didapatkan, maka dilanjutkan ke perhitungan neraca air tahunan untuk mengkalibrasi parameter WIC, DIC, ISM, SMC, IGWS, dan k untuk mendapatkan nilai parameter optimal. Adapun tahapan perhitungannya adalah

1. *Inflow*

Inflow disini merupakan nilai hujan (P)

$$\text{Inflow} = 227,53 \text{ mm}$$

2. AET' (Evapotranspirasi)

Nilai AET' adalah, jika nilai $ISM + ER < 0$ maka nilainya adalah $ISM + ER$, jika > 0 , maka $AET = AET'$

$$\begin{aligned} AET' &= ISM + ER \\ &= 100 + 173,90 \\ &= 273,90 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Maka } AET' = 53,62 \text{ mm}$$

3. ΔSM (perubahan lengas tanah)

$$\begin{aligned} \Delta SM &= SM - ISM \\ &= 200 - 100 \\ &= 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

4. ΔGWS (perubahan *ground water storage*)

$$\begin{aligned} \Delta GWS &= GWS - IGWS \\ &= 173,30 - 200 \\ &= -26,70 \text{ mm} \end{aligned}$$

5. ΔS (perubahan tampungan)

$$\begin{aligned} \Delta S &= \Delta SM + \Delta GWS \\ &= 100 + (-26,70) \\ &= 73,70 \text{ mm} \end{aligned}$$

6. *Outflow*

$$\begin{aligned} \text{Outflow} &= R_{TOT} + AET' \\ &= 100,60 + 53,62 \\ &= 154,23 \text{ mm} \end{aligned}$$

7. I-O (*inflow – outflow*)

$$\begin{aligned} \text{I-O} &= \text{I} - \text{O} \\ &= 227,53 - 154,23 \\ &= 73,30 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan ini dilanjutkan untuk bulan berikutnya pada tahun 2001, hingga didapatkan hasil untuk setiap bulan, seperti tabel berikut.



Tabel 5. 9 Perhitungan Neraca Air Tahunan untuk Kalibrasi Parameter

Parameter	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Inflow (mm)	227,53	109,28	146,60	59,82	3,63	5,67	4,36	0,00	1,56	132,79	154,84	104,92
AET' (mm)	53,62	60,66	81,93	62,54	62,46	51,65	56,17	59,67	68,08	91,86	82,35	71,51
Δ SM (mm)	100,00	0,00	0,00	-2,72	-58,82	-45,98	-51,81	-40,67	0,00	40,93	72,49	33,41
Δ GWS (mm)	-26,70	-25,91	-17,84	-25,91	-20,73	-16,58	-13,27	-10,61	-8,49	-6,79	-5,43	-4,35
Δ S (mm)	73,30	-25,91	-17,84	-28,63	-79,55	-62,56	-65,07	-51,28	-8,49	34,14	67,05	29,06
Outflow (mm)	154,23	135,19	164,44	88,45	83,19	68,23	69,44	70,28	76,57	98,65	87,78	75,86
I-O (mm)	73,30	-25,91	-17,84	-28,63	-79,55	-62,56	-65,07	-70,28	-75,02	34,14	67,05	29,06

(Sumber : Perhitungan)

Setelah nilai neraca air tahunan didapatkan, lalu dilakukan perhitungan untuk kalibrasi parameter.

1. $\Sigma inflow$ = 951 mm
2. $\Sigma AET'$ = 802 mm
3. $\Sigma \Delta S$ = -136 mm
4. $\Sigma outflow$ = 1172 mm
5. $\Sigma I - \Sigma O$ = -221 mm
6. Perubahan *upper zone soil moisture*
 $= SM_{desember} - ISM$
 $= 146,83 - 100$
 $= 46,83$ mm
7. Perubahan *groundwater storage*
 $= GWS_{desember} - IGWS$
 $= 17,39 - 200$
 $= -182,61$ mm

Untuk kalibrasi nilai optimal pada parameter Model F.J Mock, maka nilai $\Sigma I - \Sigma O$, perubahan *upper zone soli moisture*, dan perubahan *groundwater storage* harus mendekati 0. Dari analisis model F.J Mock dengan nilai parameter awal belum optimal karena nilai $\Sigma I - \Sigma O$, perubahan *upper zone soli moisture*, dan perubahan *groundwater storage* tidak mendekati 0. Maka analisis model F.J Mock harus dilakukan lagi sampai mendapatkan parameter optimal.

5.2.4 Debit Bulanan Parameter Optimal

Selanjutnya, dilakukan analisis model F.J Mock dengan parameter optimal.

Tabel 5. 10 Nilai Optimal Parameter

No	Parameter	Satuan	Simbol	Nilai Min	Nilai Opt.	Nilai Maks
1	Luas DAS	km ²	A	-	25,226	-
2	Koefisien infiltrasi musim basah	-	WIC	0,1	0,265	0,5
3	Koefisien infiltrasi musim kemarau	-	DIC	0,35	0,5	0,75
4	<i>Initial Soil Moisture</i>	(mm)	ISM	50	161	300
5	<i>Soil Moisture Capacity</i>	(mm)	SMC	100	300	300
6	<i>Initial Groundwater Storage</i>	(mm)	IGWS	100	650	2000
7	<i>Groundwater Recession Constant</i>	-	K	0,75	0,995	0,995

Setelah parameter didapatkan, lalu dilakukan analisis Model F.J Mock lagi untuk bulan januari 2001

1. Curah hujan

$$P = 227,53 \text{ mm}$$

$$n = 19 \text{ hari}$$

2. Evaporasi actual (AET)

$$\begin{aligned}
 E &= Et_0 \times m \times \frac{18 - n}{2000} \\
 &= 53,62 \times 20 \times \frac{18 - 19}{2000} \\
 &= -0,5362 \approx 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{AET} &= Et_0 - E \\
 &= 53,62 - 0 \\
 &= 53,62 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

3. Hujan efektif (ER)

$$\begin{aligned}
 \text{ER} &= P - \text{AET} \\
 &= 227,53 - 53,62
 \end{aligned}$$

$$= 173,90 \text{ mm}$$

4. *Water Surplus (WS)*

Nilai *water surplus* dipengaruhi oleh $ER - (SMC - ISM)$, apabila hasil perhitungan $ER - (SMC - ISM) < 0$, maka nilai $WS = 0$

$$\begin{aligned} WS &= ER - (SMC - ISM) \\ &= 173,90 - (300 - 161) \\ &= 34,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

5. *Infiltrasi (I)*

$$\begin{aligned} I &= WS \times WIC \\ &= 34,9 \times 0,265 \\ &= 9,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

6. *Groundwater Storage (GWS)*

$$\begin{aligned} GWS &= 0,5 \times (1 + k) \times I + k \times IGWS \\ &= 0,5 \times (1 + 0,995) \times 9,25 + 0,995 \times 650 \\ &= 655,98 \text{ mm} \end{aligned}$$

7. *Base Flow (R_{BAS})*

$$\begin{aligned} R_{BAS} &= I - (GWS - IGWS) \\ &= 9,25 - (655,98 - 650) \\ &= 3,27 \text{ mm} \end{aligned}$$

8. *Direct Runoff (R_{DRO})*

$$\begin{aligned} R_{DRO} &= WS - I \\ &= 34,9 - 9,25 \\ &= 25,65 \text{ mm} \end{aligned}$$

9. *Total Runoff (R_{TOT})*

$$\begin{aligned} R_{TOT} &= R_{DRO} + R_{BAS} \\ &= 25,65 + 3,27 \\ &= 28,93 \text{ mm} \end{aligned}$$

10. Debit terhitung (Q_{CAL})

$$\begin{aligned}
 Q_{CAL} &= \frac{A \times R_{TOT} \times 1000}{n \times 24 \times 3600} \\
 &= \frac{25,226 \times 28,93 \times 1000}{31 \times 24 \times 3600} \\
 &= 0,272 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Setelah debit andalan menggunakan parameter nilai optimal didapatkan, maka dilanjutkan ke perhitungan neraca air tahunan untuk mengkalibrasi parameter WIC, DIC, ISM, SMC, IGWS, dan k untuk membuktikan bahwa nilai parameter yang digunakan sudah optimal. Adapun tahapan perhitungannya adalah

1. *Inflow*

Inflow disini merupakan nilai hujan (P)

$$Inflow = 227,53 \text{ mm}$$

2. AET' (Evapotranspirasi)

Nilai AET' adalah, jika nilai $ISM + ER < 0$ maka nilainya adalah $ISM + ER$, jika >0 , maka $AET = AET'$

$$\begin{aligned}
 AET' &= ISM + ER \\
 &= 161 + 173,90 \\
 &= 334,9 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Maka } AET' = 53,62 \text{ mm}$$

3. ΔSM (perubahan lengas tanah)

$$\begin{aligned}
 \Delta SM &= SM - ISM \\
 &= 300 - 161 \\
 &= 139 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4. ΔGWS (perubahan *ground water storage*)

$$\begin{aligned}
 \Delta GWS &= GWS - IGWS \\
 &= 655,98 - 650 \\
 &= 5,98 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

5. ΔS (perubahan tampungan)

$$\begin{aligned}\Delta S &= \Delta SM + \Delta GWS \\ &= 139 + 5,98 \\ &= 144,98 \text{ mm}\end{aligned}$$

6. *Outflow*

$$\begin{aligned}\textit{Outflow} &= R_{TOT} + AET' \\ &= 28,93 + 53,62 \\ &= 82,55 \text{ mm}\end{aligned}$$

7. *I-O (inflow – outflow)*

$$\begin{aligned}\textit{I-O} &= I - O \\ &= 227,53 - 82,55 \\ &= 144,98 \text{ mm}\end{aligned}$$

Perhitungan ini dilanjutkan untuk bulan berikutnya pada tahun 2001, hingga didapatkan hasil untuk setiap bulan, seperti tabel berikut.

Tabel 5. 11 Perhitungan Neraca Air Tahunan untuk Kalibrasi Parameter

Parameter	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Inflow (mm)	227,53	109,28	146,60	59,82	3,63	5,67	4,36	0,00	1,56	132,79	154,84	104,92
AET' (mm)	53,62	60,66	81,93	62,54	62,46	51,65	56,17	59,67	68,08	91,86	82,35	71,51
Δ SM (mm)	139,00	0,00	0,00	-2,72	-58,82	-45,98	-51,81	-59,67	-66,53	40,93	72,49	33,41
Δ GWS (mm)	5,98	9,57	13,77	-3,40	-3,38	-3,36	-3,35	-3,33	-3,31	-3,30	-3,28	-3,26
Δ S (mm)	144,98	9,57	13,77	-6,12	-62,20	-49,34	-55,15	-63,00	-69,84	37,63	69,21	30,15
Outflow (mm)	82,55	99,71	132,83	65,94	65,84	55,01	59,52	63,00	71,40	95,15	85,63	74,77
I-O (mm)	144,98	9,57	13,77	-6,12	-62,20	-49,34	-55,15	-63,00	-69,84	37,63	69,21	30,15

Setelah nilai neraca air tahunan didapatkan, lalu dilakukan perhitungan untuk kalibrasi parameter.

1. Σ_{inflow} = 951 mm
2. $\Sigma_{AET'}$ = 802 mm
3. $\Sigma_{\Delta S}$ = 0 mm
4. $\Sigma_{outflow}$ = 951 mm
5. $\Sigma I - \Sigma O$ = 0 mm
6. Perubahan *upper zone soil moisture*
 $= SM_{desember} - ISM$
 $= 161,30 - 161$
 $= 0,30 \text{ mm} \approx 0 \text{ mm}$
7. Perubahan *groundwater storage*
 $= GWS_{desember} - IGWS$
 $= 649,35 - 650$
 $= -0,65 \text{ mm} \approx 0 \text{ mm}$

Dari nilai $\Sigma I - \Sigma O$, perubahan *upper zone soli moisture*, dan perubahan *groundwater storage* yang sudah mendapatkan nilai 0 dan sangat mendekati nilai 0, maka parameter yang sekarang digunakan pada analisis Model F.J Mock dianggap sudah optimal.

Lalu dilanjutkan perhitungan untuk bulan selanjutnya pada bulan 2001. Setelah itu dilanjutkan untuk perhitungan hingga tahun 2017 dan dilakukan rekapitulasi debit andalan dari tahun 2001 sampai dengan 2017.

Tabel 5. 12 Analisis Debit Model F.J Mock dengan Nilai Optimum Tahun 2001

Parameter DAS	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Jumlah Hari	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
P (mm)	227,53	109,28	146,60	59,82	3,63	5,67	4,36	0,00	1,56	132,79	154,84	104,92
n (hari)	19,00	15,00	19,00	12,00	5,00	5,00	4,00	0,00	2,00	11,00	14,00	12,00
Et0 (mm)	53,62	62,53	81,93	66,53	71,79	64,16	71,10	81,74	89,58	98,77	85,78	76,07
m (%)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	30,00	30,00	30,00	30,00	20,00	20,00	20,00
E (mm)	0,00	1,88	0,00	3,99	9,33	12,51	14,93	22,07	21,50	6,91	3,43	4,56
AET (mm)	53,62	60,66	81,93	62,54	62,46	51,65	56,17	59,67	68,08	91,86	82,35	71,51
ER (mm)	173,90	48,62	64,67	-2,72	-58,82	-45,98	-51,81	-59,67	-66,53	40,93	72,49	33,41
SM (mm)	300,00	300,00	300,00	297,28	238,45	192,47	140,67	80,99	14,47	55,40	127,89	161,30
AET' (mm)	53,62	60,66	81,93	62,54	62,46	51,65	56,17	59,67	68,08	91,86	82,35	71,51
WS (mm)	34,90	48,62	64,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I (mm)	9,25	12,89	17,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GWS (mm)	655,98	665,55	679,32	675,92	672,54	669,18	665,83	662,50	659,19	655,89	652,61	649,35
BSF (mm)	3,27	3,31	3,37	3,40	3,38	3,36	3,35	3,33	3,31	3,30	3,28	3,26
DRO (mm)	25,65	35,74	47,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TRO (mm)	28,93	39,05	50,90	3,40	3,38	3,36	3,35	3,33	3,31	3,30	3,28	3,26
Qcal. (m ³ /s)	0,272	0,407	0,479	0,033	0,032	0,033	0,032	0,031	0,032	0,031	0,032	0,031

(Sumber: Perhitungan)

Tabel 5. 13 Rekapitulasi Debit Andalan F.J Mock 2001-2017 (m³/s)

Tahun	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
2001	0,272	0,368	0,479	0,032	0,032	0,032	0,032	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031
2002	0,031	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,029	0,029	0,029	0,029
2003	0,031	0,602	0,245	0,032	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,030	0,030
2004	0,031	0,030	0,401	0,031	0,031	0,031	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
2005	0,031	1,392	0,399	1,185	0,035	0,035	0,035	0,035	0,034	0,034	0,034	1,284
2006	5,000	2,958	7,371	1,903	0,060	0,060	0,060	0,060	0,059	0,059	0,059	0,058
2007	5,010	2,971	0,270	0,111	0,045	0,044	0,044	0,044	0,044	0,043	0,043	0,043
2008	0,031	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,029	0,029	0,029	0,029
2009	0,031	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,029	0,029	0,029	0,029
2010	0,031	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,029	0,029	0,029	0,029
2011	0,031	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,029	0,029	0,029	0,029
2012	0,031	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,029	0,029	0,029	0,029
2013	0,031	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,029	0,029	0,029	0,029
2014	0,031	0,043	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,029	0,029	0,029	0,029
2015	0,416	0,198	0,991	0,938	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,033	0,033	0,033
2016	0,031	0,030	0,123	0,033	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,029	0,029	0,872
2017	0,031	0,578	1,065	0,394	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,514	0,665

(Sumber: Perhitungan)

5.2.5 Debit Andalan

Setelah debit bulanan didapatkan, lalu dihitung debit andalan probabilitas 90% dengan langkah sebagai berikut

1. Memberi peringkat (m) secara urut debit andalan dari nilai terbesar ke nilai terkecil.
2. Mencari nilai p (dalam persen) dari hasil debit andalan yang sudah diurutkan.

Perhitungan untuk menentukan nilai p adalah sebagai berikut

$$p = \frac{m}{n + 1}$$

$$p = \frac{1}{17 + 1}$$

$$p = 5,56 \%$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dilakukan perhitungan untuk mencari nilai p selanjutnya.

3. Setelah nilai p didapatkan dalam 1 tahun, lalu dicari nilai p= 90%. Untuk mencari nilai p = 90% dilakukan interpolasi antara data peringkat 16 dan 17.

$$\begin{aligned} Q_{\text{januari}} &= \text{jan}^{16} + \frac{(90 - p^{16})}{(p^{17} - p^{16})} \times (\text{jan}^{16} - \text{jan}^{17}) \\ &= 0,0306 + \frac{(90 - 88,89)}{(94,44 - 88,89)} \times (0,0306 - 0,0306) \\ &= 0,0306 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Lalu perhitungan untuk mencari p 90% pada bulan selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama dan dilakukan rekapitulasi dan didapatkan hasil seperti tabel berikut.

Tabel 5. 14 Debit Andalan 90%

No	P	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
1	5,56	5,00967	2,97116	7,3709	1,90318	0,0604	0,0601	0,0598	0,0595	0,0592	0,05891	0,51409	1,28371
2	11,11	5,0002	2,95814	1,06505	1,18479	0,04455	0,04433	0,0441	0,04388	0,04366	0,04345	0,05861	0,87217
3	16,67	0,41582	1,39198	0,99141	0,93849	0,03515	0,03497	0,0348	0,03462	0,03445	0,03428	0,04323	0,66538
4	22,22	0,27245	0,60199	0,4794	0,39369	0,03432	0,03415	0,03398	0,03381	0,03364	0,03347	0,03411	0,05832
5	27,78	0,03061	0,57848	0,40145	0,1106	0,03347	0,03331	0,03314	0,03297	0,03281	0,03264	0,03331	0,04301
6	33,33	0,03061	0,36779	0,39927	0,03268	0,03183	0,03167	0,03151	0,03136	0,0312	0,03104	0,03089	0,03314
7	38,89	0,03061	0,19817	0,26961	0,03199	0,0314	0,03124	0,03109	0,03093	0,03078	0,03062	0,03047	0,03073
8	44,44	0,03061	0,04283	0,24452	0,03156	0,03067	0,03051	0,03036	0,03021	0,03006	0,02991	0,02976	0,03032
9	50,00	0,03061	0,03046	0,12308	0,03082	0,03017	0,03002	0,02987	0,02972	0,02957	0,02943	0,02928	0,02961
10	55,56	0,03061	0,03046	0,03033	0,03017	0,03002	0,02987	0,02972	0,02958	0,02943	0,02928	0,02913	0,02899
11	61,11	0,03061	0,03046	0,0303	0,03015	0,03	0,02985	0,0297	0,02955	0,02941	0,02926	0,02911	0,02897
12	66,67	0,03061	0,03046	0,0303	0,03015	0,03	0,02985	0,0297	0,02955	0,02941	0,02926	0,02911	0,02897
13	72,22	0,03061	0,03046	0,0303	0,03015	0,03	0,02985	0,0297	0,02955	0,02941	0,02926	0,02911	0,02897
14	77,78	0,03061	0,03046	0,0303	0,03015	0,03	0,02985	0,0297	0,02955	0,02941	0,02926	0,02911	0,02897
15	83,33	0,03061	0,03046	0,0303	0,03015	0,03	0,02985	0,0297	0,02955	0,02941	0,02926	0,02911	0,02897
16	88,89	0,03061	0,03046	0,0303	0,03015	0,03	0,02985	0,0297	0,02955	0,02941	0,02926	0,02911	0,02897
17	94,44	0,03061	0,03046	0,0303	0,03015	0,03	0,02985	0,0297	0,02955	0,02941	0,02926	0,02911	0,02897
	90	0,03061	0,03046	0,0303	0,03015	0,03	0,02985	0,0297	0,02955	0,02941	0,02926	0,02911	0,02897

(Sumber: Perhitungan)

5.3 Analisis Kebutuhan Air Baku

Analisis kebutuhan air baku untuk kebutuhan pada masa mendatang perlu memperhatikan keadaan penduduk yang ada pada saat ini dan proyeksi jumlah penduduk pada masa mendatang. Dalam penelitian ini, proyeksi penduduk yang direncanakan dari tahun 2020 sampai 2035. Data jumlah penduduk yang digunakan adalah data jumlah penduduk Imogiri, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta dari tahun 2019-2020. Jumlah penduduk pada tahun 2019 adalah 63.542 jiwa dan pada tahun 2020 adalah 63.835 jiwa.

5.3.1 Proyeksi Jumlah Penduduk

Untuk mengetahui laju pertumbuhan penduduk (r) di Imogiri menggunakan rumus berikut

$$\begin{aligned} r &= \frac{\Sigma \text{penduduk } n - \Sigma \text{penduduk } n-1}{\Sigma \text{penduduk } n-1} \times 100\% \\ &= \frac{63.835 - 63.542}{63.542} \times 100\% \\ &= 0,46\% \end{aligned}$$

Setelah menghitung laju pertumbuhan penduduk, maka dapat diproyeksikan jumlah penduduk dari tahun 2020 sampai 2035 dengan menggunakan metode geometric dengan rumus berikut

$$\begin{aligned} P_n &= P_o \times (1+r)^n \\ &= 63.835 \times (1+0,46\%)^{15} \\ &= 68384 \text{ jiwa} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui jumlah penduduk pada tahun 2035 adalah 68.384 jiwa.

5.3.2 Kebutuhan Air Baku Total

Menurut kriteria pemenuhan kebutuhan air, kebutuhan air (Q_u) untuk jumlah penduduk tahun 2035 sebesar 105 l/kapita/hari untuk domestik, 20 l/kapita/hari

untuk non domestik, dan 30 l/kapita/hari untuk kehilangan air. Jumlah musim kemarau (J_h) yang terjadi adalah 3 bulan dengan total 90 hari. Kebutuhan air baku dalam setahun adalah sebagai berikut.

Kebutuhan air domestik

$$\begin{aligned} V_u &= J_h \times J_p \times Q_u \\ &= 90 \times 68384 \times 105 \\ &= 646.228.800 \text{ l} \\ &= 646.228,8 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Kebutuhan air non domestik

$$\begin{aligned} V_u &= J_h \times J_p \times Q_u \\ &= 90 \times 68384 \times 20 \\ &= 123.091.200 \text{ l} \\ &= 123.091,2 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Kehilangan air

$$\begin{aligned} V_u &= J_h \times J_p \times Q_u \\ &= 90 \times 68384 \times 30 \\ &= 184.636.800 \text{ l} \\ &= 184.636,8 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u \text{ total} &= V_u \text{ domestik} + V_u \text{ non domestik} + V_u \text{ kehilangan air} \\ &= 646.228,8 + 123.091,2 + 184.636,8 \\ &= 953.956,8 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Kebutuhan air baku domestik, non domestik, dan kehilangan air dijumlahkan sehingga didapatkan hasil total sebesar 953.956,8 m³. Hasil ini disebut sebagai kebutuhan air baku total.

5.4 Analisis Karakteristik Embung

Analisis karakteristik embung adalah analisis hubungan elevasi, luas, dan volume embung. Langkah analisis sebagai berikut.

5.4.1 Hubungan Elevasi dengan Luas Tampang

Data elevasi dan luas permukaan embung dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. 15 Data Elevasi dan Luas Permukaan Embung

No	Elevasi	Luas (m ²)	Tinggi (m)
1	34	3.624,29	0
2	34,5	3.899,14	0,5
3	35	4.179,95	1
4	35,5	4.468,27	1,5
5	36	4.762,58	2
6	36,5	5.063,36	2,5
7	37	5.370,63	3
8	37,5	5.684,39	3,5
9	38	6.004,63	4
10	38,5	6.331,36	4,5
11	39	6.664,58	5
12	39,5	7.004,29	5,5
13	40	7.138,35	6

(Sumber : Perhitungan)

5.4.2 Hubungan Elevasi dengan Volume

Volume embung dapat dicari dari data luas permukaan embung pada setiap elevasi. Hasil volume yang sudah diperoleh kemudian dijumlahkan sehingga didapatkan volume kumulatifnya. Perhitungan volume berdasarkan elevasi adalah sebagai berikut.

$$V_1 = \frac{(A_0 + A_1)}{2} x (a_1 - a_0)$$

$$V_1 = \frac{(3.624,3 + 3.899,1)}{2} x (34,5 - 34)$$

$$= 1.880,86 \text{ m}^3$$

Pada perhitungan volume kumulatif, untuk elevasi 34 m yang merupakan dasar dari embung, maka dapat dikatakan V_0 adalah 0. Volume kumulatif V_1 adalah

$$V_1 = V_1 + V_0$$

$$V_1 = 1.880,8575 + 0$$

$$= 1880,8575 \text{ m}^3$$

Untuk perhitungan V_2 adalah sebagai berikut

$$V_2 = \frac{(A_2 + A_1)}{2} x (a_2 - a_1)$$

$$V_2 = \frac{(4.180 + 3.899,1)}{2} x (35 - 34,5)$$

$$= 2.019,77 \text{ m}^3$$

Volume kumulatif V_2 adalah

$$V_2 = V_2 + V_1$$

$$V_1 = 2.019,77 + 1.880,86$$

$$= 3.900,63 \text{ m}^3$$

Volume selanjutnya dihitung dengan cara yang sama, sehingga akan didapatkan hasil seperti berikut

Tabel 5. 16 Volume Tampunguan Embung

No	Elevasi	Luas	Tinggi (m)	Volume (m ³)	Volume Kumulatif (m ³)
1	34	3.624,29	0	0,00	0,00
2	34,5	3.899,14	0,5	1.880,86	1.880,86
3	35	4.179,95	1	2.019,77	3.900,63
4	35,5	4.468,27	1,5	2.162,06	6.062,69
5	36	4.762,58	2	2.307,71	8.370,40
6	36,5	5.063,36	2,5	2.456,49	10.826,88

7	37	5.370,63	3	2.608,50	13.435,38
---	----	----------	---	----------	-----------

Lanjutan Tabel 5. 17 Volume Tampungan Embung

No	Elevasi	Luas	Tinggi (m)	Volume (m ³)	Volume Kumulatif (m ³)
8	37,5	5.684,39	3,5	2.763,76	16.199,14
9	38	6.004,63	4	2.922,26	19.121,39
10	38,5	6.331,36	4,5	3.084,00	22.205,39
11	39	6.664,58	5	3.248,99	25.454,37
12	39,5	7.004,29	5,5	3.417,22	28.871,59
13	40	7.138,35	6	3.535,66	32.407,25

(Sumber : Perhitungan)

5.5 Kapasitas Tampung Embung Berdasar Ketersediaan Air (V_h)

Kapasitas tampungan Embung Wukirsari 1 berdasarkan Ketersediaan air adalah sebagai berikut.

Debit andalan yang dipakai merupakan debit andalan probabilitas 90%.

Periode bulan januari

$$V = Q_{\text{andalan}} \times \text{jumlah hari januari} \times 3600 \times 24$$

$$= 0,0306 \times 31 \times 3600 \times 24$$

$$= 81.984,5 \text{ m}^3$$

Dilakukan perhitungan yang sama untuk bulan selanjutnya.

Hujan yang jatuh di atas embung dihitung dari hujan 90% dikalikan dengan luas permukaan embung. Berikut contoh perhitungannya

$$V_{\text{hujan}} = R_{\text{januari}} \times A_{\text{embung}} \times \text{Jumlah hari} \times 3600 \times 24$$

$$V_{\text{hujan}} = 2,58 \times 10^{-8} \times 7138,35 \times 31 \times 3600 \times 24$$

$$= 493,72 \text{ m}^3$$

Hasil volume periode bulan januari dijumlahkan dengan V_{hujan} sehingga didapat kapasitas embung berdasarkan Ketersediaan air pada bulan tersebut.

$$\begin{aligned}
 V_{\text{total}} &= V_{\text{Januari}} + V_{\text{hujan}} \\
 &= 81.984,5 + 493,72 \\
 &= 82.478,223 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dilakukan perhitungan untuk bulan selanjutnya, maka didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 5. 17 Rekapitulasi Kapasitas Tampungan Embung Berdasarkan Ketersediaan Air

No	Bulan	Jumlah Hari	V		Hujan yang Jatuh	Vtotal
			m ³ /s	m ³	m ³	m ³
1	Januari	31	0,0306	81.984,500	493,723	82.478,223
2	Februari	29	0,0305	76.311,702	552,468	76.864,170
3	Maret	31	0,0303	81.166,705	363,957	81.530,661
4	April	30	0,0302	78.155,682	245,616	78.401,298
5	Mei	31	0,0300	80.357,067	69,0837	80.426,150
6	Juni	30	0,0299	77.376,079	12,5607	77.388,640
7	Juli	31	0,0297	79.555,505	0	79.555,505
8	Agustus	31	0,0296	79.157,727	0	79.157,727
9	September	30	0,0294	76.221,231	0	76.221,231
10	Oktober	31	0,0293	78.368,129	17,5388	78.385,668
11	November	30	0,0291	75.460,924	220,669	75.681,593
12	Desember	31	0,0290	77.586,407	592,507	78.178,914
Ketersediaan Air						944.269,780

(Sumber : Perhitungan)

Dari tabel diatas, maka didapatkan kapasitas total tampungan embung berdasarkan Ketersediaan air (V_h) adalah sebesar 944.269,780 m³.

5.6 Kapasitas Tampung Berdasar Kebutuhan Air (V_n)

Kapasitas embung berdasarkan kebutuhan air didapatkan dari volume tampungan hidup untuk melayani kebutuhan air baku (V_u). Analisis kapasitas embung berdasar kebutuhan air baku (V_n) didapatkan dengan langkah sebagai berikut.

- a. Volume tampungan hidup untuk melayani kebutuhan air baku (V_u)
Kebutuhan air total untuk melayani kebutuhan air baku adalah 953.956,8 m³,
sehingga V_u adalah 953.956,8 m³.
- b. Ruangan yang disediakan untuk sedimen (V_s)

$$V_s = 5\% \times V_u$$

$$= 5\% \times 953.956,8$$

$$= 47.697,84 \text{ m}^3$$
- c. Volume air yang merembes (V_j)

$$V_s = 25\% \times V_u$$

$$= 25\% \times 953.956,8 \text{ m}^3$$

$$= 238.489,2 \text{ m}^3$$
- d. Volume air yang menguap (V_e)
Data evaporasi dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. 18 Data Evaporasi

Bulan	Evaporasi (mm)
Januari	53,625
Februari	62,535
Maret	81,930
April	66,533
Mei	71,790
Juni	64,161
Juli	71,101
Agustus	81,742
September	89,584
Oktober	98,770
November	85,779
Desember	76,074
Rerata	75,302

Dari tabel diatas, evaporasi rerata yang terjadi selama setahun adalah 75,302 mm. Luas permukaan embung adalah 7.138,4 m².

$$\begin{aligned}
 V_e &= A_{\text{embung}} \times \frac{e_{\text{rerata}}}{1000} \\
 &= 7138,4 \times \frac{75,302}{1000} \\
 &= 537,54 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

e. Kapasitas embung berdasar kebutuhan air

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_u + V_s + V_i + V_e \\
 &= 953.956,8 + 47.697,84 + 238.489,2 + 537,54 \\
 &= 1.240.681,38 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Jadi nilai kapasitas embung berdasar kebutuhan air (V_n) adalah sebesar 1.240.681,38 m^3 .

5.7 Kapasitas Tampung Berdasar Topografi (V_p)

Kapasitas embung berdasarkan topografi dilihat dari grafik hubungan elevasi, luas permukaan, dan volume. Pada penelitian ini tinggi embung yang digunakan adalah 6 m. Volume maksimum embung yang didapatkan adalah 32.407,25 m^3 pada elevasi 40 m. Berdasarkan pengamatan di beberapa embung yang ada, secara praktis ruang setinggi 1 m diatas dasar kolam telah cukup menampung sedimen (Kasiro dkk, 1997), sehingga untuk volume tampungan matinya adalah 3.900,63 m^3 . Sedangkan untuk tampungan hidupnya adalah selisih dari volume maksimal dengan tampungan mati, yaitu 28.506,62 m^3 .

5.8 Penentuan Kapasitas Embung

Kapasitas embung yang dipakai adalah kapasitas terkecil dari analisis kapasitas embung berdasarkan kebutuhan air (V_n), kapasitas embung berdasarkan ketersediaan air (V_h) dan kapasitas embung berdasarkan topografi (V_p). Dari perhitungan yang sudah dilakukan, didapatkan hasil V_n sebesar 1.240.681,38 m^3 , V_h sebesar 944.269,780 m^3 dan V_p sebesar 32.407,25 m^3 . Karena nilai V_p adalah nilai terkecil, maka nilai tersebut digunakan sebagai kapasitas embung.

5.9 Neraca Air dan Keandalan Embung

Neraca air memperlihatkan jumlah air yang masuk, yang tersedia, dan yang keluar dari embung. Perhitungan neraca air pada penelitian ini menggunakan data berikut.

a. Ketersediaan Air

Data ketersediaan air ini didapatkan dari hasil analisis kapasitas embung berdasarkan Ketersediaan air.

Tabel 5. 19 Data Ketersediaan Air

No	Bulan	Jumlah Hari	Ketersediaan Air (m ³)
1	Januari	31	82.478,223
2	Februari	29	76.864,170
3	Maret	31	81.530,661
4	April	30	78.401,298
5	Mei	31	80.426,150
6	Juni	30	77.388,640
7	Juli	31	79.555,505
8	Agustus	31	79.157,727
9	September	30	76.221,231
10	Oktober	31	78.385,668
11	November	30	75.681,593
12	Desember	31	78.178,914

b. Evaporasi

Data evaporasi dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 5. 20 Data Evaporasi

Bulan	Evaporasi (mm)
Januari	53,625
Februari	62,535
Maret	81,930
April	66,533

Lanjutan Tabel 5. 20 Data Evaporasi

Bulan	Evaporasi (mm)
Mei	71,790
Juni	64,161
Juli	71,101
Agustus	81,742
September	89,584
Oktober	98,770
November	85,779
Desember	76,074

c. Resapan pada embung

Nilai resapan pada embung adalah sebesar 25% dari tampungan akhir yang terjadi karena dasar dan dinding embung bersifat semi lulus air.

Untuk menghitung neraca air dilakukan dengan langkah sebagai berikut

1) Menentukan *inflow* (I_n)

Inflow terjadi ditentukan berdasarkan aliran yang akan masuk kedalam embung. Jumlah yang akan mengisi embung berasal dari Ketersediaan air, namun total ketersediaan air dikurangi dengan evaporasi dan resapan yang terjadi setiap bulan. Perhitungan *inflow* seperti berikut

$$\begin{aligned}
 I_n \text{ januari} &= V_{\text{ketersediaan air januari}} - \left(\frac{e_{\text{januari}}}{1000} \times A_{\text{embung}} \right) - \text{resapan} \\
 &= 82.478,223 - \left(\frac{0}{1000} \times 0 \right) - 0 \\
 &= 82.478,22 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Pada bulan Januari nilai evaporasi dan resapan bernilai 0 karena pada awal pengoperasian embung, tampungan embung belum terisi.

$$\begin{aligned}
 I_n \text{ februari} &= V_{\text{ketersediaan air februari}} - \left(\frac{e_{\text{februari}}}{1000} \times A_{\text{embung}} \right) - \text{resapan} \\
 &= 76864,17 - \left(\frac{62,535}{1000} \times 7138,35 \right) - 8101,8 \\
 &= 68.315,96 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari *inflow* pada bulan berikutnya.

2) Menentukan *outflow* (O_n)

Outflow didapatkan dari jumlah kebutuhan air baku. Kebutuhan air baku domestik sebesar 105 l/kapita/hari, kebutuhan air baku non domestik sebesar 20 l/kapita/hari, dan kehilangan air sebesar 30 l/kapita/hari. Sehingga total kebutuhan air bakunya adalah 155 l/kapita/hari. Berdasarkan kebutuhan air baku tersebut, maka *outflow* selama satu tahun dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 O_n \text{ januari} &= \text{Jumlah hari} \times \frac{\text{Kebutuhan air baku}}{1000} \times \text{Jumlah penduduk} \\
 &= 31 \times \frac{155}{1000} \times 68384 \\
 &= 328.585,12 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama, maka *outflow* untuk tiap bulan dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 5. 21 Nilai *Outflow*

Bulan	Jumlah Hari	<i>Outflow</i> (m ³)
Januari	31	328.585,12
Februari	29	307.386,08
Maret	31	328.585,12
April	30	31.7985,6
Mei	31	328.585,12
Juni	30	31.7985,6
Juli	31	328.585,12
Agustus	31	328.585,12

September	30	31.7985,6
Oktober	31	328.585,12
November	30	31.7985,6
Desember	31	328.585,12

3) Menentukan volume S_n

Volume S_n adalah volume tampungan awal periode ke n , sedangkan untuk nilai selanjutnya diambil dari nilai S_{n+1} terjadi pada periode sebelumnya. S_n pada bulan Januari senilai 0 karena awal pengoperasian embung. Nilai S_{n+1} terjadi diambil dari nilai S_{n+1} yang tidak melebihi volume tampungan embung dan tidak kurang dari tampungan mati embung.

4) Menentukan volume S_{n+1}

S_{n+1} adalah volume tampungan awal periode ke $n+1$, artinya jika S_n adalah bulan Januari, maka S_{n+1} adalah bulan Februari dan selanjutnya. Perhitungan untuk mendapatkan nilai S_{n+1} adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 S_{n+1} \text{ januari} &= I - O \\
 &= 82478,22 - 0 \\
 &= 82.478,22 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Jika tampungan mati $< S_{n+1} <$ kapasitas embung, maka air tidak melimpas, kebutuhan air terpenuhi dan S_{n+1} terjadi adalah sama dengan S_{n+1} . Jika $S_{n+1} <$ tampungan mati, maka air tidak melimpas, kebutuhan air tidak terpenuhi dan S_{n+1} terjadi adalah sama dengan tampungan mati. Jika $S_{n+1} >$ kapasitas embung, maka air akan melimpas, kebutuhan air terpenuhi

dan S_{n+1} terjadi adalah sama dengan kapasitas embung yaitu 32.407,25 m^3 .

Dari nilai S_{n+1} yang didapatkan dari perhitungan diatas, maka pada bulan januari air akan melimpas, dan kebutuhan air terpenuhi.

Perhitungan S_{n+1} bulan Februari adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 S_{n+1} \text{ februari} &= S_n + I - O \\
 &= 32407,25 + 68.315,96 - 307.386,08 \\
 &= -206.662,87 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Pada bulan Februari didapat nilai $S_{n+1} <$ tampungan mati, maka pada bulan Februari air tidak melimpas, dan kebutuhan air tidak terpenuhi. Perhitungan selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama untuk bulan selanjutnya.

5) *Outflow* terjadi (O_n terjadi)

Nilai *outflow* terjadi (O_n) bisa lebih kecil atau sama dengan *outflow* rencana (O_n). Jika nilai S_{n+1} kurang dari tampungan mati, maka *outflow* terjadi lebih kecil dari nilai *outflow* (O_n). Nilai *outflow* (O_n) diambil dari jumlah kebutuhan air baku.

6) Tingkat keandalan

Tingkat keandalan embung dapat dihitung dengan cara berikut.

$$\begin{aligned} TK_{\text{februari}} &= \frac{\text{Outflow terjadi}}{\text{Outflow}} \times 100\% \\ &= \frac{96822,58}{307386,08} \times 100\% \\ &= 31,50\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan tingkat keandalan embung untuk bulan Februari adalah 31,50%. Tingkat keandalan untuk bulan berikutnya dihitung menggunakan cara yang sama. Rekapitulasi tingkat keandalan dari bulan Januari sampai Desember dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. 22 Neraca Air dan Tingkat Keandalan

Bulan	Jumlah Hari	Evaporasi (m ³)	Resapan (m ³)	Ketersediaan Air (m ³)	Inflow (m ³)	Outflow (m ³)	I-O	Sn	Sn+1	Melimpas/ Tidak	Sn+1 Terjadi	Outflow Terjadi (m ³)	Keterangan	Tingkat Keandalan
Januari	31	0,000	0	82.478,22	82.478,22	0	82.478,22	0,00	82.478,22	Pengisian	32.407,25	0	Pengisian	-
Februari	29	446,394	8.101,8125	76.864,17	68.315,96	307.386,08	-239.070,12	32.407,25	-206.662,87	Tidak Melimpas	3.900,63	96.822,58	Tidak Terpenuhi	31,50
Maret	31	342,464	975,1575	81.530,66	80.213,04	328.585,12	-248.372,08	3.900,63	-244.471,45	Tidak Melimpas	3.900,63	80.213,04	Tidak Terpenuhi	24,41
April	30	278,104	975,1575	78.401,30	77.148,04	317.985,6	-240.837,56	3.900,63	-236.936,93	Tidak Melimpas	3.900,63	77.148,04	Tidak Terpenuhi	24,26
Mei	31	300,077	975,1575	80.426,15	79.150,92	328.585,12	-249.434,20	3.900,63	-245.533,57	Tidak Melimpas	3.900,63	79.150,92	Tidak Terpenuhi	24,09
Juni	30	268,191	975,1575	77.388,64	76.145,29	317.985,6	-241.840,31	3.900,63	-237.939,68	Tidak Melimpas	3.900,63	76.145,29	Tidak Terpenuhi	23,95
Juli	31	297,197	975,1575	79.555,50	78.283,15	328.585,12	-250.301,97	3.900,63	-246.401,34	Tidak Melimpas	3.900,63	78.283,15	Tidak Terpenuhi	23,82
Agustus	31	341,677	975,1575	79.157,73	77.840,89	328.585,12	-250.744,23	3.900,63	-246.843,60	Tidak Melimpas	3.900,63	77.840,89	Tidak Terpenuhi	23,69
September	30	374,455	975,1575	76.221,23	74.871,62	317.985,6	-243.113,98	3.900,63	-239.213,35	Tidak Melimpas	3.900,63	74.871,62	Tidak Terpenuhi	23,55
Oktober	31	412,855	975,1575	78.385,67	76.997,66	328.585,12	-251.587,46	3.900,63	-247.686,83	Tidak Melimpas	3.900,63	76.997,66	Tidak Terpenuhi	23,43
November	30	358,551	975,1575	75.681,59	74.347,88	317.985,6	-243.637,72	3.900,63	-239.737,09	Tidak Melimpas	3.900,63	74.347,88	Tidak Terpenuhi	23,38
Desember	31	317,985	975,1575	78.178,91	76.885,77	328.585,12	-251.699,35	3.900,63	-247.798,72	Tidak Melimpas	3.900,63	76.885,77	Tidak Terpenuhi	23,40

(Sumber: Perhitungan)

5.10 Neraca Air dan Tingkat Keandalan Embung Untuk Optimasi

Pada tabel 5.25 diatas menunjukkan bahwa nilai tingkat keandalan yang didapatkan nilai sebesar 31,50%. Hal ini berarti lebih dari setengah jumlah *outflow* (O_n) tidak terpenuhi. Oleh karena itu, perlu dilakukan optimasi untuk menaikkan tingkat keandalan embung dengan cara jumlah penduduk yang dilayani oleh embung diturunkan menjadi 2 kondisi, kondisi pertama sebanyak 20.000 jiwa dan kondisi kedua 19.000 jiwa. Untuk menghitung tingkat keandalan embung dengan jumlah penduduk yang telah diturunkan, perlu dihitung kembali kebutuhan air baku, analisis kapasitas embung berdasar kebutuhan air, dan kapasitas embung yang dipakai.

5.10.1 Kondisi pertama jumlah Penduduk 20.000 jiwa

1. Kebutuhan Air Baku

Dalam kriteria penentuan kebutuhan air (Q_u) ditentukan berdasarkan jumlah penduduk. Jika jumlah penduduk adalah 20000 jiwa, maka kebutuhan air (Q_u) adalah 105 l/kapita/hari untuk kebutuhan domestik, 20 l/kapita/hari untuk kebutuhan non domestik, dan 30 l/kapita/hari untuk kehilangan air. Berikut adalah cara menghitung kebutuhan air baku

Kebutuhan air domestik

$$\begin{aligned} V_u &= J_h \times J_p \times Q_u \\ &= 90 \times 20000 \times 155 \\ &= 279.000.000 \text{ l} \\ &= 279.000 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Kebutuhan air non domestik

$$\begin{aligned} V_u &= J_h \times J_p \times Q_u \\ &= 90 \times 20000 \times 20 \\ &= 36.000.000 \text{ l} \\ &= 36.000 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Kehilangan air

$$\begin{aligned} V_u &= J_h \times J_p \times Q_u \\ &= 90 \times 20000 \times 30 \\ &= 54.000.000 \text{ l} \\ &= 54.000 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u \text{ total} &= V_u \text{ domestik} + V_u \text{ non domestik} + V_u \text{ kehilangan air} \\ &= 279.000 + 36.000 + 54.000 \\ &= 369.000 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Kebutuhan air baku domestik, non domestik, dan kehilangan air dijumlahkan sehingga didapatkan hasil total sebesar 369.000 m³. Hasil ini akan dipakai untuk analisis kapasitas embung.

2. Analisis Kapasitas Embung Berdasar Kebutuhan Air

Berikut adalah langkah analisis kapasitas embung berdasar kebutuhan air.

a. Volume tampungan hidup untuk melayani kebutuhan air baku (V_u)

Kebutuhan air total untuk melayani kebutuhan air baku adalah 369.000 m³, sehingga V_u adalah 369.000 m³.

b. Ruang yang disediakan untuk sedimen (V_s)

$$\begin{aligned} V_s &= 5\% \times V_u \\ &= 5\% \times 369.000 \\ &= 18.450 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

c. Volume air yang merembes (V_j)

$$\begin{aligned} V_s &= 25\% \times V_u \\ &= 25\% \times 369.000 \text{ m}^3 \\ &= 92.250 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

d. Volume air yang menguap (V_e)

Data evaporasi dapat dilihat pada tabel berikut.

Evaporasi rerata yang terjadi selama setahun adalah 75,302 mm. Luas permukaan embung adalah 7.138,4 m².

$$\begin{aligned} V_e &= A_{\text{embung}} \times \frac{e_{\text{rerata}}}{1000} \\ &= 7138,4 \times \frac{75,302}{1000} \\ &= 537,54 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

e. Kapasitas embung berdasar kebutuhan air

$$\begin{aligned} V_n &= V_u + V_s + V_i + V_e \\ &= 369.000 + 18.450 + 92.250 + 537,54 \\ &= 480.237,54 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Jadi nilai kapasitas embung berdasar kebutuhan air (V_n) adalah sebesar 480.237,54 m³.

3. Kapasitas Embung

Kapasitas embung yang dipakai adalah kapasitas terkecil dari analisis kapasitas embung berdasarkan kebutuhan air (V_n), kapasitas embung berdasarkan ketersediaan air (V_h) dan kapasitas embung berdasarkan topografi (V_p). Dari perhitungan yang sudah dilakukan, didapatkan hasil V_n sebesar 480.237,54 m³, V_h sebesar 944.269,780 m³ dan V_p sebesar 32.407,25 m³. Karena nilai V_p adalah nilai terkecil, maka nilai tersebut digunakan sebagai kapasitas embung.

4. Neraca Air dan Tingkat Keandalan

Setelah didapatkan kapasitas embung, kemudian dilakukan simulasi neraca air untuk mengetahui aliran yang masuk, aliran tertampung, dan aliran keluar pada embung. Simulasi neraca air dilakukan dengan langkah yang sama pada subbab sebelumnya. Berikut adalah langkah perhitungan neraca air.

a. Ketersediaan Air

Data ketersediaan air ini didapatkan dari hasil analisis kapasitas embung berdasarkan Ketersediaan air.

Tabel 5. 23 Ketersediaan Air

No	Bulan	Jumlah Hari	Ketersediaan Air (m ³)
1	Januari	31	82.478,223
2	Februari	29	76.864,170
3	Maret	31	81.530,661
4	April	30	78.401,298
5	Mei	31	80.426,150
6	Juni	30	77.388,640
7	Juli	31	79.555,505
8	Agustus	31	79.157,727
9	September	30	76.221,231
10	Oktober	31	78.385,668
11	November	30	75.681,593
12	Desember	31	78.178,914

b. Evaporasi

Data evaporasi dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 5. 24 Data Evaporasi

Bulan	Evaporasi (mm)
Januari	53,625
Februari	62,535
Maret	81,930
April	66,533
Mei	71,790
Juni	64,161
Juli	71,101
Agustus	81,742
September	89,584
Oktober	98,770
November	85,779
Desember	76,074

c. Resapan pada embung

Nilai resapan pada embung adalah sebesar 25% dari tampungan akhir yang terjadi karena dasar dan dinding embung bersifat semi lulus air.

Untuk menghitung neraca air dilakukan dengan langkah sebagai berikut

d. Menentukan *inflow* (I_n)

Inflow terjadi ditentukan berdasarkan aliran yang akan masuk kedalam embung. Jumlah yang akan mengisi embung berasal dari Ketersediaan air, namun total ketersediaan air dikurangi dengan evaporasi dan resapan yang terjadi setiap bulan. Perhitungan *inflow* seperti berikut

$$\begin{aligned} I_n \text{ januari} &= V_{\text{ketersediaan air januari}} - \left(\frac{e_{\text{januari}}}{1000} \times A_{\text{embung}} \right) - \text{resapan} \\ &= 82.478,223 - \left(\frac{0}{1000} \times 0 \right) - 0 \\ &= 82.478,22 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Pada bulan Januari nilai evaporasi dan resapan bernilai 0 karena pada awal pengoperasian embung, tampungan embung belum terisi.

$$\begin{aligned} I_n \text{ februari} &= V_{\text{ketersediaan air februari}} - \left(\frac{e_{\text{februari}}}{1000} \times A_{\text{embung}} \right) - \text{resapan} \\ &= 76864,17 - \left(\frac{62,535}{1000} \times 7138,35 \right) - 8101,8 \\ &= 68.315,96 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari *inflow* pada bulan berikutnya.

e. Menentukan *outflow* (O_n)

Outflow didapatkan dari jumlah kebutuhan air baku. Kebutuhan air baku domestik sebesar 105 l/kapita/hari, kebutuhan air baku non domestik sebesar 20 l/kapita/hari, dan kehilangan air sebesar 30 l/kapita/hari. Sehingga total kebutuhan air bakunya adalah 155 l/kapita/hari. Berdasarkan kebutuhan air

baku tersebut, maka *outflow* selama satu tahun dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 O_n \text{ januari} &= \text{Jumlah hari} \times \frac{\text{Kebutuhan air baku}}{1000} \times \text{Jumlah penduduk} \\
 &= 31 \times \frac{155}{1000} \times 20000 \\
 &= 96.100 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama, maka *outflow* untuk tiap bulan dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 5. 25 Nilai *Outflow*

Bulan	Jumlah Hari	<i>Outflow</i> (m ³)
Januari	31	96.100
Februari	29	89.900
Maret	31	96.100
April	30	93.000
Mei	31	96.100
Juni	30	93.000
Juli	31	96.100
Agustus	31	96.100
September	30	93.000
Oktober	31	96.100
November	30	93.000
Desember	31	96.100

f. Menentukan volume S_n

Volume S_n adalah volume tampungan awal periode ke n , sedangkan untuk nilai selanjutnya diambil dari nilai S_{n+1} terjadi pada periode sebelumnya. S_n pada bulan Januari senilai 0 karena awal pengoperasian embung. Nilai S_{n+1} terjadi diambil dari nilai S_{n+1} yang tidak melebihi volume tampungan embung dan tidak kurang dari tampungan mati embung.

- g. Menentukan volume $S_n + 1$

S_{n+1} adalah volume tampungan awal periode ke $n+1$, artinya jika S_n adalah bulan Januari, maka S_{n+1} adalah bulan Februari dan selanjutnya. Perhitungan untuk mendapatkan nilai S_{n+1} adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} S_{n+1} \text{ januari} &= I - O \\ &= 82478,22 - 0 \\ &= 82.478,22 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Jika tampungan mati $< S_{n+1} <$ kapasitas embung, maka air tidak melimpas, kebutuhan air terpenuhi dan S_{n+1} terjadi adalah sama dengan S_{n+1} . Jika $S_{n+1} <$ tampungan mati, maka air tidak melimpas, kebutuhan air tidak terpenuhi dan S_{n+1} terjadi adalah sama dengan tampungan mati. Jika $S_{n+1} >$ kapasitas embung, maka air akan melimpas, kebutuhan air terpenuhi

dan S_{n+1} terjadi adalah sama dengan kapasitas embung yaitu 32.407,25 m³.

Dari nilai S_{n+1} yang didapatkan dari perhitungan diatas, maka pada bulan januari air akan melimpas, dan kebutuhan air terpenuhi.

Perhitungan S_{n+1} bulan Februari adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} S_{n+1} \text{ februari} &= S_n + I - O \\ &= 32407,25 + 68.315,96 - 89.900 \\ &= 10.823,21 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Pada bulan Februari didapat nilai tampungan mati $< S_{n+1} <$ kapasitas embung, maka pada bulan Februari air tidak melimpas, dan kebutuhan air terpenuhi. Perhitungan selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama untuk bulan selanjutnya.

- h. *Outflow* terjadi (O_n terjadi)

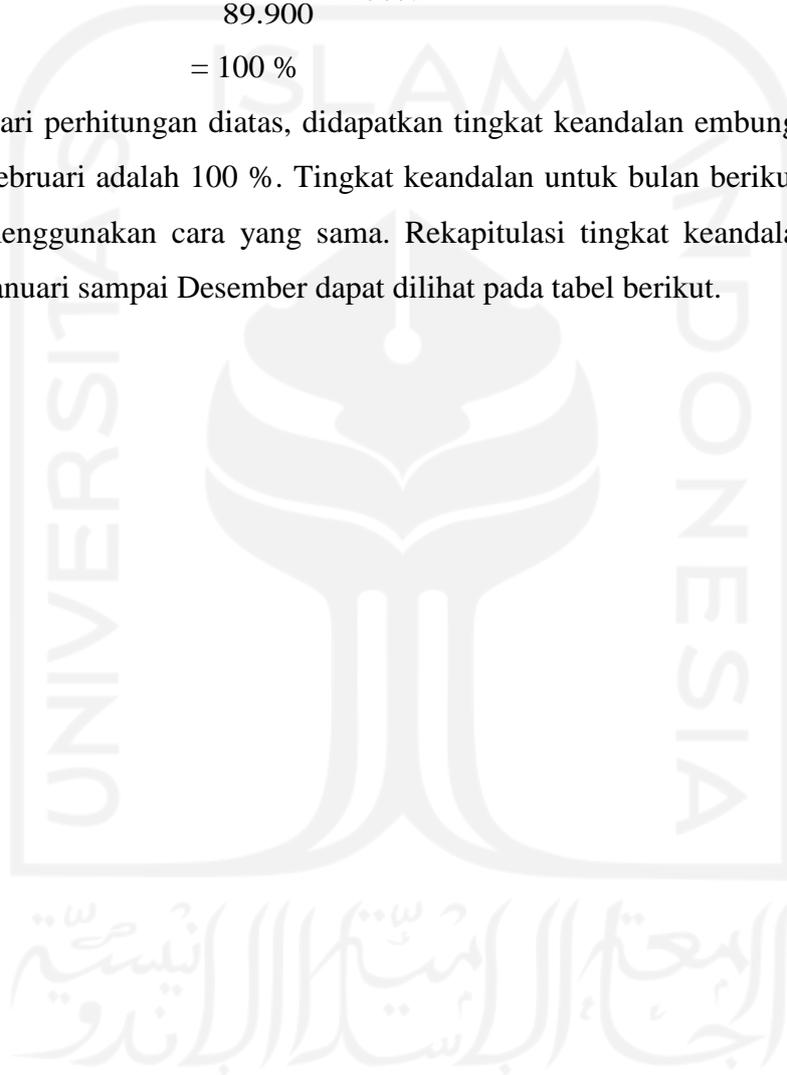
Nilai *outflow* terjadi (O_n) bisa lebih kecil atau sama dengan *outflow* rencana (O_n). Jika nilai S_{n+1} kurang dari tampungan mati, maka *outflow* terjadi lebih kecil dari nilai *outflow* (O_n). Nilai *outflow* (O_n) diambil dari jumlah kebutuhan air baku.

i. Tingkat keandalan

Tingkat keandalan embung dapat dihitung dengan cara berikut.

$$\begin{aligned}TK_{\text{februari}} &= \frac{\text{Outflow terjadi}}{\text{Outflow}} \times 100\% \\ &= \frac{89.900}{89.900} \times 100\% \\ &= 100 \%\end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan tingkat keandalan embung untuk bulan Februari adalah 100 %. Tingkat keandalan untuk bulan berikutnya dihitung menggunakan cara yang sama. Rekapitulasi tingkat keandalan dari bulan Januari sampai Desember dapat dilihat pada tabel berikut.



Tabel 5. 26 Neraca Air dan Tingkat Keandalan Optimasi

Bulan	Jumlah Hari	Evaporasi (m ³)	Resapan (m ³)	Ketersediaan Air (m ³)	Inflow (m ³)	Outflow (m ³)	I-O	Sn	Sn+1	Melimpas / Tidak	Sn+1 Terjadi	Outflow Terjadi (m ³)	Keterangan	Tingkat Keandalan
Januari	31	0,00	0,00	82.478,22	82.478,22	0,00	82.478,22	0,00	82.478,22	Pengisian	32.407,25	0,00	Pengisian	-
Februari	29	446,39	8.101,81	76.864,17	68.315,96	89.900,00	-21.584,04	32.407,25	10.823,21	Tidak Melimpas	3.900,63	89.900,00	Terpenuhi	100,00
Maret	31	342,46	975,16	81.530,66	80.213,04	96.100,00	-15.886,96	3.900,63	-11.986,33	Tidak Melimpas	3.900,63	80.213,04	Tidak Terpenuhi	83,47
April	30	278,10	975,16	78.401,30	77.148,04	93.000,00	-15.851,96	3.900,63	-11.951,33	Tidak Melimpas	3.900,63	77.148,04	Tidak Terpenuhi	82,95
Mei	31	300,08	975,16	80.426,15	79.150,92	96.100,00	-16.949,08	3.900,63	-13.048,45	Tidak Melimpas	3.900,63	79.150,92	Tidak Terpenuhi	82,36
Juni	30	268,19	975,16	77.388,64	76.145,29	93.000,00	-16.854,71	3.900,63	-12.954,08	Tidak Melimpas	3.900,63	76.145,29	Tidak Terpenuhi	81,88
Juli	31	297,20	975,16	79.555,50	78.283,15	96.100,00	-17.816,85	3.900,63	-13.916,22	Tidak Melimpas	3.900,63	78.283,15	Tidak Terpenuhi	81,46
Agustus	31	341,68	975,16	79.157,73	77.840,89	96.100,00	-18.259,11	3.900,63	-14.358,48	Tidak Melimpas	3.900,63	77.840,89	Tidak Terpenuhi	81,00
September	30	374,45	975,16	76.221,23	74.871,62	93.000,00	-18.128,38	3.900,63	-14.227,75	Tidak Melimpas	3.900,63	74.871,62	Tidak Terpenuhi	80,51
Oktober	31	412,86	975,16	78.385,67	76.997,66	96.100,00	-19.102,34	3.900,63	-15.201,71	Tidak Melimpas	3.900,63	76.997,66	Tidak Terpenuhi	80,12
November	30	358,55	975,16	75.681,59	74.347,88	93.000,00	-18.652,12	3.900,63	-14.751,49	Tidak Melimpas	3.900,63	74.347,88	Tidak Terpenuhi	79,94
Desember	31	317,99	975,16	78.178,91	76.885,77	96.100,00	-19.214,23	3.900,63	-15.313,60	Tidak Melimpas	3.900,63	76.885,77	Tidak Terpenuhi	80,01

5.10.2 Kondisi kedua jumlah Penduduk 19.000 jiwa

1. Kebutuhan Air Baku

Dalam kriteria penentuan kebutuhan air (Q_u) ditentukan berdasarkan jumlah penduduk. Jika jumlah penduduk adalah 19000 jiwa, maka kebutuhan air (Q_u) adalah 82,5 l/kapita/hari untuk kebutuhan domestik, 10 l/kapita/hari untuk kebutuhan non domestik, dan 24 l/kapita/hari untuk kehilangan air. Berikut adalah cara menghitung kebutuhan air baku

Kebutuhan air domestik

$$\begin{aligned} V_u &= J_h \times J_p \times Q_u \\ &= 90 \times 19000 \times 82,5 \\ &= 141.075.000 \text{ l} \\ &= 141.075 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Kebutuhan air non domestik

$$\begin{aligned} V_u &= J_h \times J_p \times Q_u \\ &= 90 \times 19000 \times 10 \\ &= 17.100.000 \text{ l} \\ &= 17.100 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Kehilangan air

$$\begin{aligned} V_u &= J_h \times J_p \times Q_u \\ &= 90 \times 19000 \times 24 \\ &= 41.040.000 \text{ l} \\ &= 41.040 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$V_u \text{ total} = V_u \text{ domestik} + V_u \text{ non domestik} + V_u \text{ kehilangan air}$$

$$\begin{aligned}
 &= 141.075 + 17.100 + 41.040 \\
 &= 199.215 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Kebutuhan air baku domestik, non domestik, dan kehilangan air dijumlahkan sehingga didapatkan hasil total sebesar 199.215 m³. Hasil ini akan dipakai untuk analisis kapasitas embung.

2. Analisis Kapasitas Embung Berdasar Kebutuhan Air

Berikut adalah langkah analisis kapasitas embung berdasar kebutuhan air.

a. Volume tampungan hidup untuk melayani kebutuhan air baku (V_u)

Kebutuhan air total untuk melayani kebutuhan air baku adalah 199.215 m³, sehingga V_u adalah 199.215 m³.

b. Ruang yang disediakan untuk sedimen (V_s)

$$\begin{aligned}
 V_s &= 5\% \times V_u \\
 &= 5\% \times 199.215 \\
 &= 9.960,75 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

c. Volume air yang merembes (V_j)

$$\begin{aligned}
 V_s &= 25\% \times V_u \\
 &= 25\% \times 199.215 \text{ m}^3 \\
 &= 49.803,75 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

d. Volume air yang menguap (V_e)

Data evaporasi dapat dilihat pada tabel berikut.

Evaporasi rerata yang terjadi selama setahun adalah 75,302 mm. Luas permukaan embung adalah 7.138,4 m².

$$\begin{aligned}
 V_e &= A_{\text{embung}} \times \frac{e_{\text{rerata}}}{1000} \\
 &= 7138,4 \times \frac{75,302}{1000} \\
 &= 537,54 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

e. Kapasitas embung berdasar kebutuhan air

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_u + V_s + V_i + V_e \\
 &= 199215 + 9960,75 + 49803,75 + 537,54 \\
 &= 259.517,04 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Jadi nilai kapasitas embung berdasar kebutuhan air (V_n) adalah sebesar 259.517,04 m³.

3. Kapasitas Embung

Kapasitas embung yang dipakai adalah kapasitas terkecil dari analisis kapasitas embung berdasarkan kebutuhan air (V_n), kapasitas embung berdasarkan ketersediaan air (V_h) dan kapasitas embung berdasarkan topografi (V_p). Dari perhitungan yang sudah dilakukan, didapatkan hasil V_n sebesar 259.517,04 m³, V_h sebesar 944.269,780 m³ dan V_p sebesar 32.407,25 m³. Karena nilai V_p adalah nilai terkecil, maka nilai tersebut digunakan sebagai kapasitas embung.

4. Neraca Air dan Tingkat Keandalan

Setelah didapatkan kapasitas embung, kemudian dilakukan simulasi neraca air untuk mengetahui aliran yang masuk, aliran tertampung, dan aliran keluar pada embung. Simulasi neraca air dilakukan dengan langkah yang sama pada subbab sebelumnya. Berikut adalah langkah perhitungan neraca air.

d. Ketersediaan Air

Data ketersediaan air ini didapatkan dari hasil analisis kapasitas embung berdasarkan Ketersediaan air.

Tabel 5. 27 Ketersediaan Air

No	Bulan	Jumlah Hari	Ketersediaan Air (m ³)
1	Januari	31	82.478,223
2	Februari	29	76.864,170
3	Maret	31	81.530,661
4	April	30	78.401,298
5	Mei	31	80.426,150
6	Juni	30	77.388,640
7	Juli	31	79.555,505
8	Agustus	31	79.157,727
9	September	30	76.221,231
10	Oktober	31	78.385,668
11	November	30	75.681,593
12	Desember	31	78.178,914

e. Evaporasi

Data evaporasi dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 5. 28 Data Evaporasi

Bulan	Evaporasi (mm)
Januari	53,625
Februari	62,535
Maret	81,930
April	66,533
Mei	71,790
Juni	64,161
Juli	71,101
Agustus	81,742
September	89,584
Oktober	98,770
November	85,779
Desember	76,074

f. Resapan pada embung

Nilai resapan pada embung adalah sebesar 25% dari tampungan akhir yang terjadi karena dasar dan dinding embung bersifat semi lulus air.

Untuk menghitung neraca air dilakukan dengan langkah sebagai berikut

j. Menentukan *inflow* (I_n)

Inflow terjadi ditentukan berdasarkan aliran yang akan masuk kedalam embung. Jumlah yang akan mengisi embung berasal dari Ketersediaan air, namun total ketersediaan air dikurangi dengan evaporasi dan resapan yang terjadi setiap bulan. Perhitungan *inflow* seperti berikut

$$\begin{aligned}
 I_n \text{ januari} &= V_{\text{ketersediaan air januari}} - \left(\frac{e_{\text{januari}}}{1000} \times A_{\text{embung}} \right) - \text{resapan} \\
 &= 82.478,223 - \left(\frac{0}{1000} \times 0 \right) - 0
 \end{aligned}$$

$$= 82.478,22 \text{ m}^3$$

Pada bulan Januari nilai evaporasi dan resapan bernilai 0 karena pada awal pengoperasian embung, tampungan embung belum terisi.

$$\begin{aligned} I_n \text{ february} &= V_{\text{ketersediaan air february}} - \left(\frac{e_{\text{february}}}{1000} \times A_{\text{embung}} \right) - \text{resapan} \\ &= 76864,17 - \left(\frac{62,535}{1000} \times 7138,35 \right) - 8101,8 \\ &= 68.315,96 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari *inflow* pada bulan berikutnya.

k. Menentukan *outflow* (O_n)

Outflow didapatkan dari jumlah kebutuhan air baku. Kebutuhan air baku domestik sebesar 105 l/kapita/hari, kebutuhan air baku non domestik sebesar 20 l/kapita/hari, dan kehilangan air sebesar 30 l/kapita/hari. Sehingga total kebutuhan air bakunya adalah 155 l/kapita/hari. Berdasarkan kebutuhan air baku tersebut, maka *outflow* selama satu tahun dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$\begin{aligned} O_n \text{ januari} &= \text{Jumlah hari} \times \frac{\text{Kebutuhan air baku}}{1000} \times \text{Jumlah penduduk} \\ &= 31 \times \frac{116,5}{1000} \times 19000 \\ &= 68.618,5 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama, maka *outflow* untuk tiap bulan dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 5. 29 Nilai *Outflow*

Bulan	Jumlah Hari	<i>Outflow</i> (m ³)
Januari	31	68.618,5

Februari	29	64.191,5
Maret	31	68.618,5
April	30	66.405
Mei	31	68.618,5
Juni	30	66.405
Juli	31	68.618,5
Agustus	31	68.618,5
September	30	66.405
Oktober	31	68.618,5
November	30	66.405
Desember	31	68.618,5

l. Menentukan volume S_n

Volume S_n adalah volume tampungan awal periode ke n , sedangkan untuk nilai selanjutnya diambil dari nilai S_{n+1} terjadi pada periode sebelumnya. S_n pada bulan Januari senilai 0 karena awal pengoperasian embung. Nilai S_{n+1} terjadi diambil dari nilai S_{n+1} yang tidak melebihi volume tampungan embung dan tidak kurang dari tampungan mati embung.

m. Menentukan volume $S_n + 1$

S_{n+1} adalah volume tampungan awal periode ke $n+1$, artinya jika S_n adalah bulan Januari, maka S_{n+1} adalah bulan Februari dan selanjutnya. Perhitungan untuk mendapatkan nilai S_{n+1} adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 S_{n+1} \text{ Januari} &= I-O \\
 &= 82478,22 - 0 \\
 &= 82.478,22 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Jika tampungan mati $< S_{n+1} <$ kapasitas embung, maka air tidak melimpas, kebutuhan air terpenuhi dan S_{n+1} terjadi adalah sama dengan S_{n+1} .

Jika $S_{n+1} <$ tampungan mati, maka air tidak melimpas, kebutuhan air tidak terpenuhi dan S_{n+1} terjadi adalah sama dengan tampungan mati.

Jika $S_{n+1} >$ kapasitas embung, maka air akan melimpas, kebutuhan air terpenuhi

dan S_{n+1} terjadi adalah sama dengan kapasitas embung yaitu 32.407,25 m³.

Dari nilai S_{n+1} yang didapatkan dari perhitungan diatas, maka pada bulan januari air akan melimpas, dan kebutuhan air terpenuhi.

Perhitungan S_{n+1} bulan Februari adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} S_{n+1} \text{ februari} &= S_n + I - O \\ &= 32407,25 + 68.315,96 - 64.191,5 \\ &= 36.531,714 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Pada bulan Februari didapat nilai $S_{n+1} >$ kapasitas embung, maka pada bulan Februari air melimpas, dan kebutuhan air terpenuhi. Perhitungan selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama untuk bulan selanjutnya.

n. *Outflow* terjadi (O_n terjadi)

Nilai *outflow* terjadi (O_n) bisa lebih kecil atau sama dengan *outflow* rencana (O_n). Jika nilai S_{n+1} kurang dari tampungan mati, maka *outflow* terjadi lebih kecil dari nilai *outflow* (O_n). Nilai *outflow* (O_n) diambil dari jumlah kebutuhan air baku.

o. Tingkat keandalan

Tingkat keandalan embung dapat dihitung dengan cara berikut.

$$\begin{aligned} TK_{\text{februari}} &= \frac{\text{Outflow terjadi}}{\text{Outflow}} \times 100\% \\ &= \frac{64.191,5}{64.191,5} \times 100\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan tingkat keandalan embung untuk bulan Februari adalah 100 %. Tingkat keandalan untuk bulan berikutnya dihitung menggunakan cara yang sama. Rekapitulasi tingkat keandalan dari bulan Januari sampai Desember dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. 30 Neraca Air dan Tingkat Keandalan Optimasi

Bulan	Jumlah Hari	Evaporasi (m ³)	Resapan (m ³)	Ketersediaan Air (m ³)	Inflow (m ³)	Outflow (m ³)	I-O	Sn	Sn+1	Melimpas / Tidak	Sn+1 Terjadi	Outflow Terjadi (m ³)	Keterangan	Tingkat Keandalan
Januari	31	0	0	82.478,22	82.478,2228	0	82.478,222	0	82.478,222	Pengisian	32.407,25	0	Pengisian	-
Februari	29	446,393778	8.101,8125	76.864,17	68.315,9636	64.191,5	4.124,463	3.2407,25	36.531,713	Melimpas	32.407,25	64.191,5	Terpenuhi	100
Maret	31	584,845435	8.101,8125	81.530,66	72.844,0032	68.618,5	4.225,503	3.2407,25	36.632,753	Melimpas	32.407,25	68.618,5	Terpenuhi	100
April	30	474,935421	8.101,8125	78.401,30	69.824,5498	66.405	3.419,549	3.2407,25	35.826,799	Melimpas	32.407,25	66.405	Terpenuhi	100
Mei	31	512,458787	8.101,8125	80.426,15	71.811,8791	68.618,5	3.193,379	3.2407,25	35.600,629	Melimpas	32.407,25	68.618,5	Terpenuhi	100
Juni	30	458,004934	8.101,8125	77.388,64	68.828,8221	66.405	2.423,822	3.2407,25	34.831,072	Melimpas	32.407,25	66.405	Terpenuhi	100
Juli	31	507,541304	8.101,8125	79.555,50	70.946,1512	68.618,5	2.327,651	3.2407,25	34.734,901	Melimpas	32.407,25	68.618,5	Terpenuhi	100
Agustus	31	583,502166	8.101,8125	79.157,73	70.472,4128	68.618,5	1.853,912	3.2407,25	34.261,162	Melimpas	32.407,25	68.618,5	Terpenuhi	100
September	30	639,478587	8.101,8125	76.221,23	67.479,94	66.405	1.074,940	3.2407,25	33.482,190	Melimpas	32.407,25	66.405	Terpenuhi	100
Oktober	31	705,057769	8.101,8125	78.385,67	69.578,7977	68.618,5	960,297	3.2407,25	33.367,547	Melimpas	32.407,25	68.618,5	Terpenuhi	100
November	30	612,319265	8.101,8125	75.681,59	66.967,4611	66.405	562,461	3.2407,25	32.969,711	Melimpas	32.407,25	66.405	Terpenuhi	100
Desember	31	543,042418	8.101,8125	78.178,91	69.534,0595	68.618,5	915,559	3.2407,25	33.322,809	Melimpas	32.407,25	68.618,5	Terpenuhi	100

(Sumber : Perhitungan)

5.11 Pembahasan

Embung Wukirsari 1 merupakan merupakan embung *on-stream* berdasarkan letak terhadap aliran Sungai Celeng. Ketersediaan air Embung Wukirsari 1 didapatkan dari debit andalan dan hujan yang jatuh di atas tampungan Embung Wukirsari 1. Hujan yang jatuh ini diperoleh dari data curah hujan yang diambil dari Stasiun Barongan, Stasiun Siluk, Stasiun Bedungan, dan Stasiun Terong.

Pada penelitian ini Embung Wukirsari direncanakan dapat melayani kebutuhan air baku warga sekitar. Menurut data hujan 80% dalam 1 tahun, musim kemarau terjadi pada bulan Juli sampai September. Proyeksi jumlah penduduk yang direncanakan adalah sampai dengan tahun 2035. Perhitungan proyeksi jumlah penduduk menggunakan metode *geometrical increase* dengan laju pertumbuhan penduduk didapatkan sebesar 0,46% dan penduduk pada tahun 2035 adalah 68.384 jiwa.

Kapasitas Embung Wukirsari 1 diperoleh dengan membandingkan hasil dari tiga analisis, yaitu analisis kapasitas embung berdasarkan ketersediaan air (V_h), analisis kapasitas embung berdasarkan kebutuhan air (V_n), dan analisis kapasitas embung berdasarkan topografi (V_p). Hasil ketiga analisis tersebut dipilih nilai terkecil untuk menentukan kapasitas embung. Contohnya apabila $V_h > V_n > V_p$, lalu kapasitas yang dipakai adalah nilai V_h yang merupakan kapasitas terbesar, maka V_p atau kondisi topografi tidak akan mampu untuk menampung kapasitas V_h . Kapasitas terkecil Embung Wukirsari 1 dari hasil perhitungan yaitu sebesar 32.407,25 m³ yang diperoleh dari analisis kapasitas berdasarkan topografi.

Analisis neraca air digunakan untuk mengetahui tingkat keandalan Embung Wukirsari 1. Analisis neraca air dilakukan dengan *outflow* dari kebutuhan air baku dengan proyeksi 15 tahun yaitu pada tahun 2035. Jumlah penduduk pada tahun 2035 adalah 68.384 jiwa dengan kebutuhan air baku total adalah 3.879.424 m³. Nilai tingkat keandalan yang didapatkan adalah 31,49% pada bulan Februari, dan nilai tingkat keandalan terendah yang didapatkan adalah 21,06 % pada bulan Oktober. Artinya ketersediaan air pada Embung Wukirsari 1 tidak dapat memenuhi *outflow* (O_n) yang ada.

Berdasarkan perhitungan neraca air pertama yang tidak dapat memenuhi kebutuhan air baku masyarakat, maka dilakukan perhitungan neraca air kedua untuk optimasi. Perhitungan neraca air optimasi dibagi menjadi 2 keadaan, yaitu keadaan pertama jumlah penduduk dikurangi menjadi 20.000 jiwa dan keadaan kedua jumlah penduduk dikurangi menjadi 19.000 jiwa, sehingga nilai *outflow* pada embung menjadi berkurang. Pada keadaan pertama dengan jumlah penduduk 20.000 jiwa kebutuhan air baku total masyarakat adalah 369.000 m³. Nilai tingkat keandalan yang didapatkan adalah 100 % pada bulan Februari dan menurun pada bulan berikutnya, dengan nilai tingkat keandalan terendah sebesar 79,94% pada bulan November. Jumlah kebutuhan air baku total yang dengan jumlah penduduk 19.000 jiwa adalah 199.215 m³. Nilai tingkat keandalan yang didapatkan adalah 100% untuk setiap bulannya. Dari perhitungan neraca air dengan jumlah penduduk sebesar 20.000 jiwa Embung Wukirsari 1 dapat melayani kebutuhan air baku masyarakat secara penuh pada bulan Februari, lalu pada bulan selanjutnya kebutuhan tersebut tidak dapat terpenuhi secara keseluruhan Pada keadaan kedua dengan jumlah penduduk sebesar 19.000 jiwa, Embung Wukirsari 1 mempunyai tingkat keandalan 100% untuk setiap bulannya, hal ini berarti ketersediaan air pada Embung Wukirsari 1 dapat memenuhi *outflow* (O_n) yang ada.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dalam mencari kapasitas embung dan tingkat keandalan

1. Kapasitas tampungan Embung Wukirsari 1 yang didapatkan adalah sebesar 32.407,25 m³ dengan 28.506,62 m³ sebagai tampungan hidup dan 3.900,63 m³ sebagai tampungan mati. Kebutuhan air baku Embung Wukirsari 1 untuk melayani kebutuhan penduduk dengan jumlah 20.000 jiwa sebesar 369.000 m³ dan dengan jumlah penduduk sebesar 19.000 jiwa sebesar 199.215 m³.
2. Tingkat keandalan Embung Wukirsari dibagi menjadi 3 kondisi, yaitu
 - a. Tingkat keandalan pertama adalah tingkat keandalan embung untuk pelayanan air baku. *Outflow* pada tingkat keandalan ini diambil dari kebutuhan air baku pada tahun 2035 dengan jumlah penduduk sebesar 68.384 jiwa. Hasil pada tingkat keandalan ini adalah 31,50 % pada bulan Februari, dan nilai terendah adalah 24,07 % pada bulan Oktober. Embung Wukirsari 1 tidak dapat memenuhi kebutuhan atau *outflow* yang ada.
 - b. Tingkat keandalan kedua adalah tingkat keandalan setelah di optimasi dalam memenuhi kebutuhan air baku. Embung Wukirsari 1 setelah di optimasi untuk pelayanan kebutuhan air baku dengan jumlah penduduk sebesar 20.000 jiwa adalah 100 % pada bulan Februari dan menurun pada bulan selanjutnya dengan tingkat keandalan paling kecil sebesar 79,94% pada bulan November. Embung Wukirsari 1 dapat memenuhi kebutuhan air secara penuh pada bulan Februari dan pada bulan selanjutnya tidak terpenuhi secara keseluruhan.
 - c. Tingkat keandalan ketiga adalah tingkat keandalan setelah di optimasi dalam memenuhi kebutuhan air baku. Embung Wukirsari 1 setelah di optimasi untuk pelayanan kebutuhan air baku dengan jumlah penduduk

sebesar 19.000 jiwa adalah 100 % untuk setiap bulannya, dan Embung Wukirsari 1 dapat memenuhi kebutuhan atau *outflow* yang ada.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka saran yang bisa diberikan adalah

1. Untuk penelitian selanjutnya perlu dipertimbangkan untuk mencari kapasitas embung dengan metode lain seperti metode *ripple* atau sebagainya untuk mendapatkan hasil kapasitas yang lebih akurat.
2. Agar embung dapat berfungsi dengan maksimal, maka perlu diadakan pemeriksaan dan pemeliharaan secara teratur.

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jendral Cipta Karya. (2000). *Petunjuk Teknis Pengelolaan Sistem Penyediaan Air Minum Perkotaan*. Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Cipta Karya.
- Garsia, D., Sujatmoko, B., & Rinaldi, R. (2014). *Analisis Kapasitas Tampungan Embung Bulakan untuk Memenuhi Kekurangan Kebutuhan Air Irigasi di Kecamatan Payakumbuh Selatan*.
- Putra, A. D. (2020). *PERBANDINGAN POTENSI AIR EMBUNG TAMBAKBOYO MENGGUNAKAN METODE F.J.MOCK DENGAN DEBIT TERUKUR UNTUK KEPERLUAN IRIGASI*.
- Rosadi, G., Saidah, H., & Budianto, M. B. (2019). *Evaluasi Kapasitas Tampungan Embung Bisok Bokah*.
- Simbolon, B. (2016). *Evaluasi Kapasitas Embung Hadudu Daerah Irigasi Hutabagasan Kabupaten Humbang Hasundutan*.
- Soemarto. (1987). *Hidrologi Teknik*. Usana Offset Surabaya.
- Soewarno. (2000). *Hidrologi Operasional Jilid Kesatu*. PT. Citra Aditya Bakti Bandung.
- Sosrodarsono. (2003). *Hidrologi untuk Pengairan* (9th ed.). Paradnya Paramita Jakarta.
- Suripin. (2004). *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. ANDI Yogyakarta.
- Tazka, A. E. H. (2020). *Analisis Keandalan Embung Sendangtirto Dalam Memenuhi Kebutuhan Aar Baku Dan Irigasi Daerah Berbah Sleman*.
- Triatmojo, B. (2010). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset Yogyakarta.

LAMPIRAN



Time Schedule Penelitian

		Tahun		2021															
		Bulan		April				Mei				Juni				Juli			
		Minggu ke-		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	Kegiatan	Jam	Bobot (%)																
1	Studi Literatur	28	18,4	10	10	8													
2	Pengumpulan Data	24	15,8				8	8	8										
3	Input dan Analisis Data	40	26,3						10	10	10	10							
4	Perbandingan Hasil	15	9,9										5	5	5				
5	Pembahasan	15	9,9												5	5	5		
6	Penyusunan Laporan	30	19,7												6	6	6	6	6
				10	10	8	8	8	18	10	10	10	5	5	16	11	11	6	6
				10	20	28	36	44	62	72	82	92	97	102	118	129	140	146	152

Tabel L 1. 1 Debit Andalan tahun 2001

2001												
Parameter DAS	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Jumlah Hari	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
P (mm)	227.53	109.28	146.60	59.82	3.63	5.67	4.36	0.00	1.56	132.79	154.84	104.92
n (hari)	19.00	15.00	19.00	12.00	5.00	5.00	4.00	0.00	2.00	11.00	14.00	12.00
Et0 (mm)	53.62	62.53	81.93	66.53	71.79	64.16	71.10	81.74	89.58	98.77	85.78	76.07
m (%)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	30.00	30.00	30.00	30.00	20.00	20.00	20.00
E (mm)	0.00	1.88	0.00	3.99	9.33	12.51	14.93	22.07	21.50	6.91	3.43	4.56
AET (mm)	53.62	60.66	81.93	62.54	62.46	51.65	56.17	59.67	68.08	91.86	82.35	71.51
ER (mm)	173.90	48.62	64.67	-2.72	-58.82	-45.98	-51.81	-59.67	-66.53	40.93	72.49	33.41
SM (mm)	300.00	300.00	300.00	297.28	238.45	192.47	140.67	80.99	14.47	55.40	127.89	161.30
AET' (mm)	53.62	60.66	81.93	62.54	62.46	51.65	56.17	59.67	68.08	91.86	82.35	71.51
WS (mm)	34.90	48.62	64.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I (mm)	9.25	12.89	17.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GWS (mm)	655.98	665.55	679.32	675.92	672.54	669.18	665.83	662.50	659.19	655.89	652.61	649.35
BSF (mm)	3.27	3.31	3.37	3.40	3.38	3.36	3.35	3.33	3.31	3.30	3.28	3.26
DRO (mm)	25.65	35.74	47.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TRO (mm)	28.93	39.05	50.90	3.40	3.38	3.36	3.35	3.33	3.31	3.30	3.28	3.26
Qcal. (m ³ /s)	0.272	0.368	0.479	0.032	0.032	0.032	0.032	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031

Tabel L 1. 2 Debit Andalan tahun 2002

2002												
Parameter DAS	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Jumlah Hari	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
P (mm)	39.40	44.91	59.62	41.44	9.89	1.34	0.00	0.00	0.00	148.38	27.56	36.75
n (hari)	19.00	20.00	14.00	9.00	3.00	1.00	0.00	0.00	0.00	15.00	10.00	12.00
Et0 (mm)	53.62	62.53	81.93	66.53	71.79	64.16	71.10	81.74	89.58	98.77	85.78	76.07
m (%)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	30.00	30.00	30.00	30.00	20.00	20.00	20.00
E (mm)	0.00	0.00	3.28	5.99	10.77	16.36	19.20	22.07	24.19	2.96	6.86	4.56
AET (mm)	53.62	62.53	78.65	60.54	61.02	47.80	51.90	59.67	65.40	95.81	78.92	71.51
ER (mm)	-14.22	-17.62	-19.04	-19.11	-51.13	-46.46	-51.90	-59.67	-65.40	52.57	-51.36	-34.76
SM (mm)	146.78	129.16	110.12	91.01	39.88	0.00	0.00	0.00	0.00	52.57	1.21	0.00
AET' (mm)	53.62	62.53	78.65	60.54	61.02	47.80	51.90	59.67	65.40	95.81	78.92	71.51
WS (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GWS (mm)	646.75	643.52	640.30	637.10	633.91	630.74	627.59	624.45	621.33	618.22	615.13	612.05
BSF (mm)	3.25	3.23	3.22	3.20	3.19	3.17	3.15	3.14	3.12	3.11	3.09	3.08
DRO (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TRO (mm)	3.25	3.23	3.22	3.20	3.19	3.17	3.15	3.14	3.12	3.11	3.09	3.08
Qcal. (m ³ /s)	0.031	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.029	0.029	0.029	0.029

Tabel L 1. 3 Debit Andalan tahun 2003

2003												
Parameter DAS	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Jumlah Hari	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
P (mm)	172.04	162.21	109.42	6.12	35.13	7.75	0.00	0.00	0.00	19.38	131.33	203.54
n (hari)	14.00	16.00	14.00	3.00	4.00	2.00	0.00	0.00	0.00	3.00	17.00	20.00
Et0 (mm)	53.62	62.53	81.93	66.53	71.79	64.16	71.10	81.74	89.58	98.77	85.78	76.07
m (%)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	30.00	30.00	30.00	30.00	20.00	20.00	20.00
E (mm)	2.14	1.25	3.28	9.98	10.05	15.40	19.20	22.07	24.19	14.82	0.86	0.00
AET (mm)	51.48	61.28	78.65	56.55	61.74	48.76	51.90	59.67	65.40	83.95	84.92	76.07
ER (mm)	120.56	100.93	30.77	-50.43	-26.60	-41.01	-51.90	-59.67	-65.40	-64.57	46.41	127.47
SM (mm)	281.56	300.00	300.00	249.57	222.97	181.96	130.06	70.38	4.99	0.00	46.41	173.88
AET' (mm)	51.48	61.28	78.65	56.55	61.74	48.76	51.90	59.67	65.40	83.95	84.92	76.07
WS (mm)	0.00	82.49	30.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I (mm)	0.00	21.86	8.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GWS (mm)	646.75	665.32	670.13	666.78	663.44	660.13	656.83	653.54	650.27	647.02	643.79	640.57
BSF (mm)	3.25	3.29	3.35	3.35	3.33	3.32	3.30	3.28	3.27	3.25	3.24	3.22
DRO (mm)	0.00	60.63	22.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TRO (mm)	3.25	63.92	25.96	3.35	3.33	3.32	3.30	3.28	3.27	3.25	3.24	3.22
Qcal. (m ³ /s)	0.031	0.602	0.245	0.032	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.030	0.030

Tabel L 1. 5 Debit Andalan tahun 2005

2005												
Parameter DAS	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Jumlah Hari	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
P (mm)	97.41	354.26	127.45	228.74	0.00	87.67	8.58	0.31	0.82	141.99	142.62	343.45
n (hari)	19.00	18.00	9.00	12.00	0.00	8.00	6.00	1.00	3.00	8.00	9.00	26.00
Et0 (mm)	53.62	62.53	81.93	66.53	71.79	64.16	71.10	81.74	89.58	98.77	85.78	76.07
m (%)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	30.00	30.00	30.00	30.00	20.00	20.00	20.00
E (mm)	0.00	0.00	7.37	3.99	12.92	9.62	12.80	20.84	20.16	9.88	7.72	0.00
AET (mm)	53.62	62.53	74.56	62.54	58.87	54.54	58.30	60.90	69.43	88.89	78.06	76.07
ER (mm)	43.78	291.72	52.90	166.20	-58.87	33.13	-49.72	-60.59	-68.61	53.10	64.56	267.38
SM (mm)	204.78	300.00	300.00	300.00	241.13	274.26	224.54	163.95	95.34	148.44	213.00	300.00
AET' (mm)	53.62	62.53	74.56	62.54	58.87	54.54	58.30	60.90	69.43	88.89	78.06	76.07
WS (mm)	0.00	196.51	52.90	166.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	180.38
I (mm)	0.00	52.07	14.02	44.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	47.80
GWS (mm)	646.75	695.46	705.97	746.37	742.64	738.92	735.23	731.55	727.90	724.26	720.63	764.71
BSF (mm)	3.25	3.36	3.51	3.64	3.73	3.71	3.69	3.68	3.66	3.64	3.62	3.72
DRO (mm)	0.00	144.43	38.88	122.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	132.58
TRO (mm)	3.25	147.80	42.39	125.80	3.73	3.71	3.69	3.68	3.66	3.64	3.62	136.30
Qcal. (m ³ /s)	0.031	1.392	0.399	1.185	0.035	0.035	0.035	0.035	0.034	0.034	0.034	1.284

Tabel L 1. 6 Debit Andalan tahun 2006

2006												
Parameter DAS	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Jumlah Hari	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
P (mm)	909.87	483.17	1139.34	332.93	43.28	8.11	1.62	0.02	0.15	2.13	12.15	330.99
n (hari)	22.00	17.00	20.00	19.00	12.00	8.00	6.00	1.00	3.00	1.00	6.00	17.00
Et0 (mm)	53.62	62.53	81.93	66.53	71.79	64.16	71.10	81.74	89.58	98.77	85.78	76.07
m (%)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	30.00	30.00	30.00	30.00	20.00	20.00	20.00
E (mm)	0.00	0.63	0.00	0.00	4.31	9.62	12.80	20.84	20.16	16.79	10.29	0.76
AET (mm)	53.62	61.91	81.93	66.53	67.48	54.54	58.30	60.90	69.43	81.98	75.49	75.31
ER (mm)	856.25	421.26	1057.41	266.40	-24.20	-46.43	-56.68	-60.88	-69.27	-79.85	-63.34	255.68
SM (mm)	300.00	300.00	300.00	300.00	275.80	229.37	172.69	111.82	42.54	0.00	0.00	255.68
AET' (mm)	53.62	61.91	81.93	66.53	67.48	54.54	58.30	60.90	69.43	81.98	75.49	75.31
WS (mm)	717.25	421.26	1057.41	266.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I (mm)	190.07	111.63	280.21	70.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GWS (mm)	836.35	943.52	1218.31	1282.64	1276.23	1269.85	1263.50	1257.18	1250.89	1244.64	1238.42	1232.22
BSF (mm)	3.73	4.46	5.42	6.27	6.41	6.38	6.35	6.32	6.29	6.25	6.22	6.19
DRO (mm)	527.18	309.62	777.20	195.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TRO (mm)	530.90	314.08	782.61	202.07	6.41	6.38	6.35	6.32	6.29	6.25	6.22	6.19
Qcal. (m ³ /s)	5.000	2.958	7.371	1.903	0.060	0.060	0.060	0.060	0.059	0.059	0.059	0.058

Tabel L 1. 7 Debit Andalan tahun 2007

2007												
Parameter DAS	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Jumlah Hari	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
P (mm)	909.63	483.17	114.42	74.72	21.42	38.53	1.34	0.00	0.29	11.23	63.09	182.33
n (hari)	15.00	14.00	18.00	16.00	9.00	5.00	3.00	0.00	1.00	3.00	10.00	18.00
Et0 (mm)	53.62	62.53	81.93	66.53	71.79	64.16	71.10	81.74	89.58	98.77	85.78	76.07
m (%)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	30.00	30.00	30.00	30.00	20.00	20.00	20.00
E (mm)	1.61	2.50	0.00	1.33	6.46	12.51	16.00	22.07	22.84	14.82	6.86	0.00
AET (mm)	52.02	60.03	81.93	65.20	65.33	51.65	55.10	59.67	66.74	83.95	78.92	76.07
ER (mm)	857.61	423.13	32.49	9.52	-43.91	-13.12	-53.77	-59.67	-66.45	-72.73	-15.82	106.25
SM (mm)	300.00	300.00	300.00	300.00	256.09	242.97	189.20	129.53	63.08	0.00	0.00	106.25
AET' (mm)	52.02	60.03	81.93	65.20	65.33	51.65	55.10	59.67	66.74	83.95	78.92	76.07
WS (mm)	718.61	423.13	32.49	9.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I (mm)	190.43	112.13	8.61	2.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GWS (mm)	836.71	944.37	948.24	946.01	941.28	936.58	931.90	927.24	922.60	917.99	913.40	908.83
BSF (mm)	3.73	4.46	4.74	4.75	4.73	4.71	4.68	4.66	4.64	4.61	4.59	4.57
DRO (mm)	528.18	311.00	23.88	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TRO (mm)	531.91	315.47	28.63	11.74	4.73	4.71	4.68	4.66	4.64	4.61	4.59	4.57
Qcal. (m ³ /s)	5.010	2.971	0.270	0.111	0.045	0.044	0.044	0.044	0.044	0.043	0.043	0.043

Tabel L 1. 8 Debit Andalan tahun 2008

2008												
Parameter DAS	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Jumlah Hari	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
P (mm)	82.34	73.25	88.22	32.95	9.36	0.10	0.00	0.00	0.00	51.32	89.42	70.85
n (hari)	14.00	20.00	17.00	8.00	3.00	1.00	0.00	0.00	0.00	10.00	20.00	16.00
Et0 (mm)	53.62	62.53	81.93	66.53	71.79	64.16	71.10	81.74	89.58	98.77	85.78	76.07
m (%)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	30.00	30.00	30.00	30.00	20.00	20.00	20.00
E (mm)	2.14	0.00	0.82	6.65	10.77	16.36	19.20	22.07	24.19	7.90	0.00	1.52
AET (mm)	51.48	62.53	81.11	59.88	61.02	47.80	51.90	59.67	65.40	90.87	85.78	74.55
ER (mm)	30.86	10.72	7.11	-26.93	-51.66	-47.70	-51.90	-59.67	-65.40	-39.55	3.64	-3.71
SM (mm)	191.86	202.58	209.69	182.77	131.10	83.40	31.50	0.00	0.00	0.00	3.64	0.00
AET' (mm)	51.48	62.53	81.11	59.88	61.02	47.80	51.90	59.67	65.40	90.87	85.78	74.55
WS (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GWS (mm)	646.75	643.52	640.30	637.10	633.91	630.74	627.59	624.45	621.33	618.22	615.13	612.05
BSF (mm)	3.25	3.23	3.22	3.20	3.19	3.17	3.15	3.14	3.12	3.11	3.09	3.08
DRO (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TRO (mm)	3.25	3.23	3.22	3.20	3.19	3.17	3.15	3.14	3.12	3.11	3.09	3.08
Qcal. (m ³ /s)	0.031	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.029	0.029	0.029	0.029

Tabel L 1. 9 Debit Andalan tahun 2009

2009												
Parameter DAS	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Jumlah Hari	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
P (mm)	134.97	89.56	35.72	35.38	53.65	14.17	0.00	0.00	0.00	14.70	19.05	25.93
n (hari)	18.00	18.00	8.00	8.00	7.00	1.00	0.00	0.00	0.00	4.00	5.00	11.00
Et0 (mm)	53.62	62.53	81.93	66.53	71.79	64.16	71.10	81.74	89.58	98.77	85.78	76.07
m (%)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	30.00	30.00	30.00	30.00	20.00	20.00	20.00
E (mm)	0.00	0.00	8.19	6.65	7.90	16.36	19.20	22.07	24.19	13.83	11.15	5.33
AET (mm)	53.62	62.53	73.74	59.88	63.89	47.80	51.90	59.67	65.40	84.94	74.63	70.75
ER (mm)	81.34	27.03	-38.02	-24.50	-10.25	-33.63	-51.90	-59.67	-65.40	-70.24	-55.58	-44.82
SM (mm)	242.34	269.37	231.35	206.84	196.60	162.97	111.06	51.39	0.00	0.00	0.00	0.00
AET' (mm)	53.62	62.53	73.74	59.88	63.89	47.80	51.90	59.67	65.40	84.94	74.63	70.75
WS (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GWS (mm)	646.75	643.52	640.30	637.10	633.91	630.74	627.59	624.45	621.33	618.22	615.13	612.05
BSF (mm)	3.25	3.23	3.22	3.20	3.19	3.17	3.15	3.14	3.12	3.11	3.09	3.08
DRO (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TRO (mm)	3.25	3.23	3.22	3.20	3.19	3.17	3.15	3.14	3.12	3.11	3.09	3.08
Qcal. (m ³ /s)	0.031	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.029	0.029	0.029	0.029

Tabel L 1. 10 Debit Andalan tahun 2010

2010												
Parameter DAS	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Jumlah Hari	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
P (mm)	57.48	47.85	54.76	55.87	81.46	15.60	12.03	13.81	61.76	36.20	53.55	145.39
n (hari)	15.00	14.00	15.00	10.00	13.00	7.00	4.00	6.00	16.00	15.00	12.00	25.00
Et0 (mm)	53.62	62.53	81.93	66.53	71.79	64.16	71.10	81.74	89.58	98.77	85.78	76.07
m (%)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	30.00	30.00	30.00	30.00	20.00	20.00	20.00
E (mm)	1.61	2.50	2.46	5.32	3.59	10.59	14.93	14.71	2.69	2.96	5.15	0.00
AET (mm)	52.02	60.03	79.47	61.21	68.20	53.57	56.17	67.03	86.90	95.81	80.63	76.07
ER (mm)	5.46	-12.18	-24.71	-5.34	13.26	-37.97	-44.14	-53.22	-25.14	-59.61	-27.08	69.31
SM (mm)	166.46	154.28	129.57	124.24	137.50	99.53	55.39	2.18	0.00	0.00	0.00	69.31
AET' (mm)	52.02	60.03	79.47	61.21	68.20	53.57	56.17	67.03	86.90	95.81	80.63	76.07
WS (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GWS (mm)	646.75	643.52	640.30	637.10	633.91	630.74	627.59	624.45	621.33	618.22	615.13	612.05
BSF (mm)	3.25	3.23	3.22	3.20	3.19	3.17	3.15	3.14	3.12	3.11	3.09	3.08
DRO (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TRO (mm)	3.25	3.23	3.22	3.20	3.19	3.17	3.15	3.14	3.12	3.11	3.09	3.08
Qcal. (m ³ /s)	0.031	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.029	0.029	0.029	0.029

Tabel L 1. 11 Debit Andalan tahun 2011

2011												
Parameter DAS	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Jumlah Hari	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
P (mm)	72.21	80.16	78.33	72.64	33.29	0.00	0.00	0.00	0.00	2.67	93.39	91.11
n (hari)	21.00	17.00	21.00	16.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	13.00	17.00
Et0 (mm)	53.62	62.53	81.93	66.53	71.79	64.16	71.10	81.74	89.58	98.77	85.78	76.07
m (%)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	30.00	30.00	30.00	30.00	20.00	20.00	20.00
E (mm)	0.00	0.63	0.00	1.33	7.18	17.32	19.20	22.07	24.19	15.80	4.29	0.76
AET (mm)	53.62	61.91	81.93	65.20	64.61	46.84	51.90	59.67	65.40	82.97	81.49	75.31
ER (mm)	18.58	18.25	-3.60	7.44	-31.32	-46.84	-51.90	-59.67	-65.40	-80.29	11.90	15.80
SM (mm)	179.58	197.83	194.23	201.67	170.36	123.52	71.62	11.94	0.00	0.00	11.90	27.69
AET' (mm)	53.62	61.91	81.93	65.20	64.61	46.84	51.90	59.67	65.40	82.97	81.49	75.31
WS (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GWS (mm)	646.75	643.52	640.30	637.10	633.91	630.74	627.59	624.45	621.33	618.22	615.13	612.05
BSF (mm)	3.25	3.23	3.22	3.20	3.19	3.17	3.15	3.14	3.12	3.11	3.09	3.08
DRO (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TRO (mm)	3.25	3.23	3.22	3.20	3.19	3.17	3.15	3.14	3.12	3.11	3.09	3.08
Qcal. (m ³ /s)	0.031	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.029	0.029	0.029	0.029

Tabel L 1. 12 Debit Andalan tahun 2012

2012												
Parameter DAS	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Jumlah Hari	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
P (mm)	97.05	100.85	78.60	47.77	15.02	6.12	0.00	0.48	0.00	30.09	33.15	126.97
n (hari)	21.00	15.00	13.00	12.00	5.00	2.00	0.00	1.00	0.00	6.00	13.00	19.00
Et0 (mm)	53.62	62.53	81.93	66.53	71.79	64.16	71.10	81.74	89.58	98.77	85.78	76.07
m (%)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	30.00	30.00	30.00	30.00	20.00	20.00	20.00
E (mm)	0.00	1.88	4.10	3.99	9.33	15.40	19.20	20.84	24.19	11.85	4.29	0.00
AET (mm)	53.62	60.66	77.83	62.54	62.46	48.76	51.90	60.90	65.40	86.92	81.49	76.07
ER (mm)	43.42	40.19	0.77	-14.77	-47.43	-42.64	-51.90	-60.41	-65.40	-56.82	-48.34	50.90
SM (mm)	204.42	244.61	245.38	230.61	183.18	140.54	88.64	28.22	0.00	0.00	0.00	50.90
AET' (mm)	53.62	60.66	77.83	62.54	62.46	48.76	51.90	60.90	65.40	86.92	81.49	76.07
WS (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GWS (mm)	646.75	643.52	640.30	637.10	633.91	630.74	627.59	624.45	621.33	618.22	615.13	612.05
BSF (mm)	3.25	3.23	3.22	3.20	3.19	3.17	3.15	3.14	3.12	3.11	3.09	3.08
DRO (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TRO (mm)	3.25	3.23	3.22	3.20	3.19	3.17	3.15	3.14	3.12	3.11	3.09	3.08
Qcal. (m ³ /s)	0.031	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.029	0.029	0.029	0.029

Tabel L 1. 13 Debit Andalan tahun 2013

2013												
Parameter DAS	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Jumlah Hari	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
P (mm)	101.24	84.32	45.32	52.26	42.87	48.79	12.94	1.34	0.73	11.87	128.08	190.21
n (hari)	23.00	19.00	18.00	10.00	10.00	13.00	10.00	1.00	1.00	7.00	21.00	18.00
Et0 (mm)	53.62	62.53	81.93	66.53	71.79	64.16	71.10	81.74	89.58	98.77	85.78	76.07
m (%)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	30.00	30.00	30.00	30.00	20.00	20.00	20.00
E (mm)	0.00	0.00	0.00	5.32	5.74	4.81	8.53	20.84	22.84	10.86	0.00	0.00
AET (mm)	53.62	62.53	81.93	61.21	66.05	59.35	62.57	60.90	66.74	87.91	85.78	76.07
ER (mm)	47.61	21.78	-36.61	-8.95	-23.17	-10.56	-49.63	-59.56	-66.01	-76.03	42.31	114.14
SM (mm)	208.61	230.39	193.79	184.84	161.66	151.11	101.48	41.92	0.00	0.00	42.31	156.45
AET' (mm)	53.62	62.53	81.93	61.21	66.05	59.35	62.57	60.90	66.74	87.91	85.78	76.07
WS (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GWS (mm)	646.75	643.52	640.30	637.10	633.91	630.74	627.59	624.45	621.33	618.22	615.13	612.05
BSF (mm)	3.25	3.23	3.22	3.20	3.19	3.17	3.15	3.14	3.12	3.11	3.09	3.08
DRO (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TRO (mm)	3.25	3.23	3.22	3.20	3.19	3.17	3.15	3.14	3.12	3.11	3.09	3.08
Qcal. (m ³ /s)	0.031	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.029	0.029	0.029	0.029

Tabel L 1. 14 Debit Andalan tahun 2014

2014												
Parameter DAS	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Jumlah Hari	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
P (mm)	158.47	98.47	39.88	81.08	24.09	27.87	34.41	0.11	0.00	0.73	107.63	196.46
n (hari)	26.00	22.00	15.00	20.00	10.00	6.00	8.00	2.00	0.00	1.00	21.00	29.00
Et0 (mm)	53.62	62.53	81.93	66.53	71.79	64.16	71.10	81.74	89.58	98.77	85.78	76.07
m (%)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	30.00	30.00	30.00	30.00	20.00	20.00	20.00
E (mm)	0.00	0.00	2.46	0.00	5.74	11.55	10.67	19.62	24.19	16.79	0.00	0.00
AET (mm)	53.62	62.53	79.47	66.53	66.05	52.61	60.44	62.12	65.40	81.98	85.78	76.07
ER (mm)	104.85	35.94	-39.59	14.54	-41.96	-24.75	-26.03	-62.01	-65.40	-81.25	21.86	120.39
SM (mm)	265.85	300.00	260.41	274.96	233.00	208.25	182.22	120.21	54.81	0.00	21.86	142.25
AET' (mm)	53.62	62.53	79.47	66.53	66.05	52.61	60.44	62.12	65.40	81.98	85.78	76.07
WS (mm)	0.00	1.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I (mm)	0.00	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GWS (mm)	646.75	643.99	640.77	637.56	634.38	631.20	628.05	624.91	621.78	618.68	615.58	612.50
BSF (mm)	3.25	3.23	3.22	3.20	3.19	3.17	3.16	3.14	3.12	3.11	3.09	3.08
DRO (mm)	0.00	1.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TRO (mm)	3.25	4.55	3.22	3.20	3.19	3.17	3.16	3.14	3.12	3.11	3.09	3.08
Qcal. (m ³ /s)	0.031	0.043	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.029	0.029	0.029	0.029

Tabel L 1. 15 Debit Andalan tahun 2015

2015												
Parameter DAS	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Jumlah Hari	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
P (mm)	248.22	85.39	220.50	197.24	57.19	2.68	0.00	0.00	0.00	0.00	53.36	127.50
n (hari)	23.00	16.00	19.00	20.00	8.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.00	18.00
Et0 (mm)	53.62	62.53	81.93	66.53	71.79	64.16	71.10	81.74	89.58	98.77	85.78	76.07
m (%)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	30.00	30.00	30.00	30.00	20.00	20.00	20.00
E (mm)	0.00	1.25	0.00	0.00	7.18	14.44	19.20	22.07	24.19	17.78	0.00	0.00
AET (mm)	53.62	61.28	81.93	66.53	64.61	49.72	51.90	59.67	65.40	80.99	85.78	76.07
ER (mm)	194.60	24.11	138.57	130.71	-7.43	-47.05	-51.90	-59.67	-65.40	-80.99	-32.42	51.43
SM (mm)	300.00	300.00	300.00	300.00	292.57	245.53	193.62	133.95	68.56	0.00	0.00	51.43
AET' (mm)	53.62	61.28	81.93	66.53	64.61	49.72	51.90	59.67	65.40	80.99	85.78	76.07
WS (mm)	55.60	24.11	138.57	130.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I (mm)	14.73	6.39	36.72	34.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GWS (mm)	661.45	664.51	697.82	728.88	725.24	721.61	718.00	714.41	710.84	707.29	703.75	700.23
BSF (mm)	3.29	3.32	3.41	3.58	3.64	3.63	3.61	3.59	3.57	3.55	3.54	3.52
DRO (mm)	40.86	17.72	101.85	96.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TRO (mm)	44.15	21.04	105.26	99.65	3.64	3.63	3.61	3.59	3.57	3.55	3.54	3.52
Qcal. (m ³ /s)	0.416	0.198	0.991	0.938	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.033	0.033	0.033

Tabel L 1. 16 Debit Andalan tahun 2016

2016												
Parameter DAS	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Jumlah Hari	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
P (mm)	64.60	150.76	134.58	64.21	36.69	76.72	14.39	24.47	136.76	112.92	109.34	212.75
n (hari)	17.00	20.00	20.00	14.00	13.00	9.00	8.00	9.00	16.00	19.00	21.00	25.00
Et0 (mm)	53.62	62.53	81.93	66.53	71.79	64.16	71.10	81.74	89.58	98.77	85.78	76.07
m (%)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	30.00	30.00	30.00	30.00	20.00	20.00	20.00
E (mm)	0.54	0.00	0.00	2.66	3.59	8.66	10.67	11.04	2.69	0.00	0.00	0.00
AET (mm)	53.09	62.53	81.93	63.87	68.20	55.50	60.44	70.71	86.90	98.77	85.78	76.07
ER (mm)	11.51	88.23	52.65	0.34	-31.51	21.22	-46.04	-46.23	49.86	14.15	23.56	136.67
SM (mm)	172.51	260.74	300.00	300.00	268.49	289.70	243.66	197.43	247.29	261.43	285.00	300.00
AET' (mm)	53.09	62.53	81.93	63.87	68.20	55.50	60.44	70.71	86.90	98.77	85.78	76.07
WS (mm)	0.00	0.00	13.39	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	121.67
I (mm)	0.00	0.00	3.55	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.24
GWS (mm)	646.75	643.52	643.84	640.71	637.51	634.32	631.15	627.99	624.85	621.73	618.62	647.69
BSF (mm)	3.25	3.23	3.23	3.22	3.20	3.19	3.17	3.16	3.14	3.12	3.11	3.17
DRO (mm)	0.00	0.00	9.84	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	89.43
TRO (mm)	3.25	3.23	13.07	3.47	3.20	3.19	3.17	3.16	3.14	3.12	3.11	92.60
Qcal. (m ³ /s)	0.031	0.030	0.123	0.033	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.029	0.029	0.872

Tabel L 1. 17 Debit Andalan tahun 2017

2017												
Parameter DAS	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Jumlah Hari	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
P (mm)	157.50	165.50	216.38	106.62	13.33	23.99	1.94	0.48	42.16	38.52	383.09	153.62
n (hari)	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Et0 (mm)	53.62	62.53	81.93	66.53	71.79	64.16	71.10	81.74	89.58	98.77	85.78	76.07
m (%)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	30.00	30.00	30.00	30.00	20.00	20.00	20.00
E (mm)	0.00	11.26	14.75	11.98	12.92	17.32	19.20	22.07	24.19	17.78	15.44	13.69
AET (mm)	53.62	51.28	67.18	54.56	58.87	46.84	51.90	59.67	65.40	80.99	70.34	62.38
ER (mm)	103.88	114.22	149.20	52.06	-45.54	-22.85	-49.96	-59.19	-23.23	-42.47	312.75	91.24
SM (mm)	264.88	300.00	300.00	300.00	254.46	231.61	181.65	122.46	99.22	56.76	300.00	300.00
AET' (mm)	53.62	51.28	67.18	54.56	58.87	46.84	51.90	59.67	65.40	80.99	70.34	62.38
WS (mm)	0.00	79.10	149.20	52.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	69.51	91.24
I (mm)	0.00	20.96	39.54	13.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.42	24.18
GWS (mm)	646.75	664.42	700.54	710.80	707.25	703.71	700.19	696.69	693.21	689.74	704.67	725.26
BSF (mm)	3.25	3.29	3.42	3.54	3.55	3.54	3.52	3.50	3.48	3.47	3.49	3.58
DRO (mm)	0.00	58.14	109.66	38.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.09	67.06
TRO (mm)	3.25	61.42	113.08	41.80	3.55	3.54	3.52	3.50	3.48	3.47	54.58	70.65
Qcal. (m ³ /s)	0.031	0.578	1.065	0.394	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.514	0.665