



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501

**PERENCANAAN BENDUNG GERAK UNTUK
IRIGASI, AIR BAKU, DAN INDUSTRI DESA
SIDOMUKTI KECAMATAN BUNGAH
KABUPATEN GRESIK**

AGUNG HADI SAPUTRO
NRP. 3112030013

IDAYATI FARIKHA
NRP. 3112030034

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. SUHARJOKO, MT.
NIP.1956.0119.198403.1001

Dosen Pembimbing II
Ir. PUDIASTUTI
NIP. 1950.1015.1982.03.2001

PROGRAM STUDI DIPLOMA TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - RC 145501

**THE PLAN OF BARRAGE FOR IRRIGATION,
RAW WATER, AND INDUSTRY OF SIDOMUKTI
VILLAGE IN BUNGAH SUB-DISTRICT OF
GRESIK**

AGUNG HADI SAPUTRO
NRP. 3112030013

IDAYATI FARIKHA
NRP. 3112030034

Consellor Lecture I
Dr. Ir. SUHARJOKO, MT.
NIP.1956.0119.198403.1001

Consellor Lecture II
Ir. PUDIASTUTI
NIP. 1950.1015.1982.03.2001

DIPLOMA III CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Civil and Planing Faculty
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

**PERENCANAAN BENDUNG GERAK UNTUK
IRIGASI, AIR BAKU, DAN INDUSTRI DESA
SIDOMUKTI KECAMATAN BUNGAH KABUPATEN
GRESIK**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik
Pada
Konsentrasi Bangunan Air
Program Studi Diploma III Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Disusun Oleh :

Mahasiswa 1

Mahasiswa 2



AGUNG HADI SAPUTRO

Nrp : 3112030013

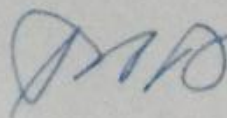


IDAYATI FARIKHA

Nrp : 3112030034

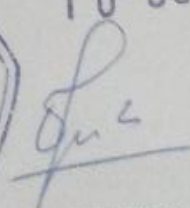
Disetujui oleh :
Dosen Pembimbing

10 JUL 2015



Dr. Ir. Suharjo, MT

NIP : 19561015.198403.1.001



Ir. PUDIASTUTI

NIP : 19501015.198203.2.001



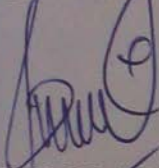
LEMBAR PENGESAHAN

EVALUASI KINERJA LALU LINTAS DI SIMPANG SATELIT
PASCA PEMBANGUNAN UNDERPASS

Surabaya, 14 Juli 2015

Disusun Oleh :

Mahasiswa I



FARID ROZAQ LAKSONO

3112030120

Mahasiswa II

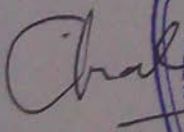


YUDHA WIDYA K

3112030138

Mengetahui

Dosen Pembimbing 1

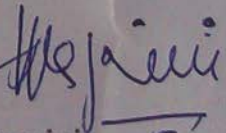


Amalia Firdaus M, ST, MT

NIP.19770218 200501 2002

Mengetahui,

Dosen Pembimbing 2



Hj. Ami Asparini

NIP.19511201 198502 2 001

15 JUL 2015

15
7 2015



PERENCANAAN BENDUNG GERAK UNTUK IRIGASI, AIR BAKU, DAN INDUSTRI DESA SIDOMUKTI KECAMATAN BUNGAH KABUPATEN GRESIK

Nama Mahasiswa 1 : Agung Hadi Saputro
NRP : 3112030013
Nama Mahasiswa 2 : Idayati Farikha
NRP : 3112030034
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Ir. Suharjoko, MT.
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Pudiastuti

Abstrak

Sungai Bengawan Solo terletak di Provinsi Jawa Tengah dan Jawa Timur dengan panjang 548,53 km. Lokasi DAS Bengawan Solo pada posisi $110^{\circ}18'$ BT sampai $112^{\circ}45'$ BT dan $6^{\circ}49'$ LS sampai $8^{\circ}08'$ LS. Secara administratif DAS Bengawan Solo mencakup 17 (tujuh belas) kabupaten dan 3 (tiga) kota. Dari 17 kabupaten tersebut Desa Sidomukti termasuk di dalam salah satu kabupaten Gresik. Pada musim hujan di Desa Sidomukti sering terjadi banjir dan pada musim kemarau sering mengalami kekeringan.

Upaya menyelesaikan masalah yang ada di Desa Sidomukti, maka direncanakan pembangunan bendung gerak di sungai Bengawan Solo. Bendung gerak ini memiliki fungsi menaikkan elevasi muka air sungai dan memberikan tampungan sehingga dapat memberikan solusi untuk memanfaatkan air sebagai air baku untuk wilayah Gresik Selatan dengan debit kebutuhan (Q) sebesar $0,746 \text{ m}^3/\text{detik}$, untuk irigasi di wilayah Gresik timur dan utara dengan debit kebutuhan (Q) sebesar $0,783 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan sawah seluas 820 hektar di kabupaten Lamongan, serta untuk industri di wilayah Gresik selatan dan tengah dengan debit kebutuhan (Q) sebesar $0,495 \text{ m}^3/\text{detik}$.

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, baik analisa hidrologi dan analisa hidrolika maka didapatkan debit banjir rencana dengan periode 50 tahun sebesar $1.312,82 \text{ m}^3/\text{det}$,

dengan lebar total bendung 168,7 m. Dari data dan perhitungan didapat jumlah pintu 13 pintu dengan tinggi pintu 7 m, lebar pintu + sponing 11 m, tinggi stang pintu 4,5 m, dan jumlah pilar 13 pilar dengan tinggi pilar 9,6 m, lebar pilar 3 m, panjang pilar 15 m. Dari hasil analisa perhitungan kesetabilan, bangunan bendung gerak aman dari rembesan, guling, geser, dan turun.

Setelah dibangunnya bendung gerak tersebut yang berfungsi untuk irigasi dan menampung air untuk air baku, maka masalah di desa Sidomukti tersebut bisa diatasi sesuai yang diharapkan.

Kata Kunci : Bendung Gerak

THE PLAN OF BARRAGE FOR IRRIGATION, RAW WATER, AND INDUSTRY OF SIDOMUKTI VILLAGE IN BUNGAH SUB-DISTRICT OF GRESIK

Student 1 : Agung Hadi Saputro
NRP : 3112030013
Student II : Idayati Farikha
NRP : 3112030034
Counsellor Instructor 1 : Dr. Ir. Suharjoko, MT.
Counsellor Instructor II : Ir. Pudiastuti

Abstract

Bengawan Solo River, which is located in Central Java and East Java, has 548,53 km length. Bengawan Solo watershed is located in 110°18' EL until 112°45' EL and 6°49' SL until 8°08' SL. Administratively, Bengawan Solo watershed covers 17 (seventeen) districts and 3 (three) cities. Sidomukti village is one of the villages in Gresik in which is included in 17 districts of Bengawan Solo watershed. In rainy season, water flooded Sidomukti village and drought in the dry season.

The construction of barrage in Bengawan Solo River is planned to solve the problem in Sidomukti village. The functions of this barrage are: to elevate the river water level and give reservoir that can provide solution to utilize water as raw water for the region of South Gresik with discharge need (Q) of 0,746 m³/sec, for irrigation in Eastern and Northern Gresik with discharge need (Q) of 0,783 m³/sec and 820 hectares of rice field in Lamongan district, as well as for industry in Southern and Central Gresik with discharge need (Q) of 0,495 m³/sec.

Based on the calculation, both hydrology and hydraulics analysis, flood discharge plan within 50-years period is 1.312,82 m³/sec, with total of barrage width is 168,7 m. From data and calculation, there are 13 doors with height 7 m, door width + sponing 11 m, handlebar door height 4,5 m, and 13 pillars with 9,6m in height, 3m in width, and 15 m in length. From

the analysis of stability calculation, the barrage is safe from leakage, roll, slide, and down. The problem in Sidomukti village is solved after the construction of barrage that serves for irrigation and store water for raw water.

Keyword : Barrage

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada kehadirat Allah SWT. yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya dalam menyelesaikan Tugas Akhir Terapan dengan judul **“Perencanaan Bendung Gerak Untuk Irigasi, Air Baku, Dan Industri Desa Sidomukti Kecamatan Bungah Kabupaten Gresik”**. Tugas akhir terapan ini merupakan salah satu syarat kelulusan bagi seluruh mahasiswa dalam menempuh pendidikan pada program studi Diploma Teknik Sipil FTSP ITS.

Kami ucapkan terima kasih atas segala bimbingan, arahan, dan bantuan dari :

1. Kedua orang tua kami yang selalu memberikan motivasi dan do'a.
2. Bapak Ir. Sigit Darmawan, M.EngSc, Ph.D. selaku Kepala Program Studi Diploma Teknik Sipil ITS.
3. Dr. Ir. Suharjoko, MT dan Ir.Pudiasuti, selaku dosen pembimbing tugas akhir terapan.
4. Kepada Ir. Agung Budipriyanto, M. End, Ph.D. dan Ir. Choirul Anwar selaku dosen wali.
5. Rekan-rekan Diploma Teknik Sipil ITS serta semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Kami menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir Terapan ini masih terdapat kekurangan dan kesalahan. Oleh karena itu kami mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun demi terciptanya hasil yang lebih baik.

Surabaya, Juni 2015

2.2.1.8	Perhitungan Model FJ.Mock	19
2.2.1.8.1	Curah Hujan	19
2.2.1.8.2	Perhitungan Evapotranspirasi ...	19
2.2.1.8.3	Perhitungan Debit Model FJ.Mock	20
2.2.2	Analisa Hidrolika Perencanaan Bendung	20
2.2.2.1	Perhitungan Panjang Mercu Bendung Dan Lebar Pintu	20
2.2.2.2	Tinggi Muka Air Yang Melimpas Di Atas Pintu	21
2.2.2.3	Perhitungan Debit Yang Lewat Bawah Pintu	21
2.2.3	Analisa Kestabilan Bendung	22
2.2.3.1	Perhitungan Gaya Tekanan Up-Lift ..	23
2.2.3.2	Syarat-Syarat Stabilitas Bangunan	23
BAB III	METODOLOGI	27
3.1	Survey Lapangan	27
3.2	Pengumpulan Data	27
3.3	Analisa Hidrologi	28
3.4	Analisa Hidrolika	28
3.5	Analisa Kestabilan Bendung	29
BAB IV	ANALISA HIDRLOGI	33
4.1	Analisa Curah Hujan Harian	33
4.1.1	Curah Hujan Rata-Rata Areal	33
4.2	Hujan Rencana	36
4.2.1	Pemilihan Metode Distribusi Curah Hujan	36
4.2.2	Metode Distribusi Normal	36
4.2.3	Metode Distribusi Gumbel	39
4.2.4	Metode Distribusi Frekwensi Log Person Tipe III	40
4.3	Uji Kecocokan	45
4.3.1	Uji Chi Square	46
4.3.2	Uji Smirnov-Kolmogorov	50

4.4	Debit Banjir Rencana	54
4.5	Perhitungan Debit Model FJ.Mock	72
4.5.1	Analisa Curah Hujan	72
4.5.2	Perhitungan Evapotranspirasi	73
4.5.3	Perhitungan Debit Aliran Model FJ.Mock	89
4.5.4	Analisa Keandalan FJ.Mock	111
BAB V PERENCANAAN BENDUNG		115
5.1	Analisa Kebutuhan Tampungan	115
5.1.1	Kemiringan dan Lebar Sungai Rata-Rata	115
5.1.2	Perhitungan Volume Kebutuhan	115
5.1.3	Kebutuhan Dilapangan	115
5.1.4	Perhitungan Volume Dengan Metode Lengkung-S	116
5.2	Dimensi Bendung.....	119
5.2.1	Perencanaan Lebar Bendung	119
5.2.2	Perencanaan Tembok Pilar	119
5.2.3	Perencanaan Pintu Air	119
5.2.4	Perencanaan Lebar Efektif Bendung	119
5.2.5	Perencanaan Tinggi Muka Air Diatas Mercu	120
5.2.6	Perencanaan Tebal Pintu Air Pada Bendung	120
5.2.7	Perhitungan Untuk Stang	123
5.2.8	Perhitungan Kolam Olak	129
5.3	Pengoprasian Pintu	131
5.3.1	Perhitungan dengan Metode Mass Curve	131
BAB IV STABILITAS BENDUNG		137
6.1	Persyaratan Teknis	137
6.2	Perhitungan Terhadap Piping.....	138
6.3	Perhitungan Tekanan Ke Atas (Up-Lift Pressure) ..	141
6.4	Perhitungan Daya Dukung Tanah	146
6.5	Perhitungan Stabilitas Bendung	148
6.5.1	Beban Akibat Gempa	148
6.5.2	Perhitungan Koefisien Gempa	149

BAB VII KESIMPULAN DAN PENUTUP	161
7.1 Kesimpulan	161
7.2 Saran	162
7.3 Penutup	163
DAFTAR PUSTAKA	165
BIOGRAFI PENULIS	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hubungan Reduksi Variat Rata-Rata (Y_n) dan Deviasi Standar (S_n) Terhadap Jumlah Data (n)	11
Tabel 2.2	Syarat-Syarat Jenis Distribusi	13
Tabel 2.3	Derajat Kepercayaan Uji Chi-Kuadrat	15
Tabel 2.4	Nilai Kritis	17
Tabel 2.5	Koefisien Pengaliran	19
Tabel 2.6	Harga-Harga Minimum Angka Rembesan Lane	25
Tabel 4.1	Data Curah Hujan Tahunan Maksimum Stasiun Penakar Hujan	34
Tabel 4.2	Perhitungan Curah Hujan Rata-Rata Areal dengan Metode Aritmatik	35
Tabel 4.3	Perhitungan Nilai Rata-Rata Variat dan Deviasi Standar untuk Distribusi Normal dan Distribusi Gumbel	37
Tabel 4.4	Perhitungan Tinggi Hujan Rencana dengan Berbagai Periode Ulang Metode Distribusi Normal	37
Tabel 4.5	Perhitungan Tinggi Hujan Rencana dengan Berbagai Periode Ulang Metode Distribusi Gumbel	40
Tabel 4.6	Perhitungan Hujan Rencana Metode Log-Person Tipe III	42
Tabel 4.7	Perhitungan Tinggi Hujan Rencana dengan Berbagai Periode Ulang Metode Log-Person Tipe III	44
Tabel 4.8	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tinggi Hujan Rencana	44
Tabel 4.9	Parameter C_s dan C_k untuk Distribusi Frekwensi Hujan	45

Tabel 4.10	Peringkat Peluang Periode Ulang Curah Hujan Bendung Gerak	46
Tabel 4.11	Perhitungan Uji Chi-Kuadrat Distribusi Frekwensi Gumbel	49
Tabel 4.12	Perhitungan Uji Chi-Kuadrat Distribusi Frekwensi Log-Person tipe III	50
Tabel 4.13	Uji Smirnov-Kolmogorov Distribusi Frekwensi Gumbel	52
Tabel 4.14	Uji Smirnov-Kolmogorov Distribusi Frekwensi Log-Person Tipe III	53
Tabel 4.15	Hasil Uji Chi – Square dan Uji Smirnov – Kolmogorov pada Distribusi Gumbel dan Log Person Tipe III	54
Tabel 4.16	Curah Hujan Jam-Jaman	56
Tabel 4.17	Distribusi Hujan Jam-Jaman	57
Tabel 4.18	Hidrograf Banjir Rencana $Q_{2\text{tahun}}$ Metode Nakyasu	65
Tabel 4.19	Hidrograf Banjir Rencana $Q_{5\text{tahun}}$ Metode Nakyasu	66
Tabel 4.20	Hidrograf Banjir Rencana $Q_{10\text{tahun}}$ Metode Nakyasu	67
Tabel 4.21	Hidrograf Banjir Rencana $Q_{20\text{tahun}}$ Metode Nakyasu	68
Tabel 4.22	Hidrograf Banjir Rencana $Q_{60\text{tahun}}$ Metode Nakyasu	69
Tabel 4.23	Hidrograf Banjir Rencana $Q_{100\text{tahun}}$ Metode Nakyasu	70
Tabel 4.24	Hasil Perhitungan Debit Banjir Rencana dengan Metode Nakayasu	72
Tabel 4.25	Data Hujan dan Hari Hujan	73
Tabel 4.26	Perhitungan Evapotranspirasi Tahun 2005	79
Tabel 4.27	Perhitungan Evapotranspirasi Tahun 2006	80
Tabel 4.28	Perhitungan Evapotranspirasi Tahun 2007	81
Tabel 4.29	Perhitungan Evapotranspirasi Tahun 2008	82
Tabel 4.30	Perhitungan Evapotranspirasi Tahun 2009	83

Tabel 4.31	Perhitungan Evapotranspirasi Tahun 2010	84
Tabel 4.32	Perhitungan Evapotranspirasi Tahun 2011	85
Tabel 4.33	Perhitungan Evapotranspirasi Tahun 2012	86
Tabel 4.34	Perhitungan Evapotranspirasi Tahun 2013	87
Tabel 4.35	Perhitungan Evapotranspirasi Tahun 2014	88
Tabel 4.36	Data Hujan Perhitungan FJ.Mock	89
Tabel 4.37	Tata Guna Lahan	90
Tabel 4.38	Model Perhitungan Debit Aliran FJ.Mock Tahun 2005	101
Tabel 4.39	Model Perhitungan Debit Aliran FJ.Mock Tahun 2006	102
Tabel 4.40	Model Perhitungan Debit Aliran FJ.Mock Tahun 2007	103
Tabel 4.41	Model Perhitungan Debit Aliran FJ.Mock Tahun 2008	104
Tabel 4.42	Model Perhitungan Debit Aliran FJ.Mock Tahun 2009	105
Tabel 4.43	Model Perhitungan Debit Aliran FJ.Mock Tahun 2010	106
Tabel 4.44	Model Perhitungan Debit Aliran FJ.Mock Tahun 2011	107
Tabel 4.45	Model Perhitungan Debit Aliran FJ.Mock Tahun 2012	108
Tabel 4.46	Model Perhitungan Debit Aliran FJ.Mock Tahun 2013	109
Tabel 4.47	Model Perhitungan Debit Aliran FJ.Mock Tahun 2014	110
Tabel 4.48	Debit Pengukuran Lapangan Dan Debit Perhitungan Model FJ.Mock Pada Tahun 2008	111
Tabel 4.49	Debit Pengukuran Lapangan Dan Debit Perhitungan Model FJ.Mock Pada Tahun 2009	112
Tabel 4.50	Perhitungan Debit Rata-Rata	114
Tabel 5.1	Perhitungan Volume Metode Lengkung S	116
Tabel 5.2	Perhitungan dengan Metode Mass Curve	131
Tabel 4.3	Perhitunga Tinggi Elevasi	133

Tabel 5.5	Pengoprasian Pintu Air	134
Tabel 6.1	Harga Minimum Angka Rembesan Lane	139
Tabel 6.2	Perhitungan Panjang Rembesan Ditinjau Saat Air Banjir	140
Tabel 6.3	Perhitungan Gaya Up-Lief Pada Titik Pada Saat Muka Air Banjir	142
Tabel 6.4	Perhitungan Gaya Up-Lief Pada Titik Pada Saat Muka Air Normal	143
Tabel 6.5	Faktor-Faktor Daya Dukung Tanah	146
Tabel 6.6	Koefisien Jenis Tanah	148
Tabel 6.7	Periode Ulang dan Percepatan Dasar Gempa ..	148
Tabel 6.8	Perhitungan Gaya Dan Momen Bekerja Pada Pilar (MAB)	155
Tabel 6.9	Perhitungan Gaya Dan Momen Bekerja Pada Pilar (MAN)	159

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Lokasi Studu Tugas Akhir	3
Gambar 1.2	Peta Situasi Sungai Bengawan Solo Hilir	4
Gambar 2.1	Pintu Aliran Bawah	21
Gambar 2.2	Koefisien K untuk Debit Tenggelam	22
Gambar 3.1	Diagram Alir Perencanaan Bendung Gerak ..	30
Gambar 4.1	Hidrograf Satuan Sintetik	59
Gambar 4.2	Unit Hidrograf Nakayasu	64
Gambar 4.3	Hidrograf Banjir Rencana Nakayasu	71
Gambar 4.4	Grafik Kalibrasi Debit FJ.Mock VS Pengamatan Tahun 2008	112
Gambar 4.5	Grafik Kalibrasi Debit FJ.Mock VS Pengamatan Tahun 2009	113
Gambar 5.1	Grafik Volume Metode Lengkung S	117
Gambar 5.2	Tampak Samping Pintu Air Pada Bendung .	121
Gambar 5.3	Profil Balok Baja Pada Pintu Air Bendung .	122
Gambar 5.4	Rencana Jarak Antara Balok Baja	123
Gambar 5.5	Tampak Depan Pintu Sorong Baja	128
Gambar 5.6	Potongan I-I Pintu Sorong Baja	129
Gambar 5.7	Penampang Kolam Olak	130
Gambar 5.8	Grafik Mass Curve	132
Gambar 6.1	Bendung Tampak Samping	140
Gambar 6.2	Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Bendung Gerak (MAB)	150
Gambar 6.3	Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Bendung Gerak (Muka Air Normal)	150
Gambar 6.4	Berat Sendiri Pada Bendung	151

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan manusia yang sangat mendasar, air pada umumnya berasal dari air hujan, mata air, air tanah, dan air permukaan sungai. Air tersebut dapat dimanfaatkan untuk irigasi pertanian, bahan baku air bersih, dan lain-lain.

Di desa Sidomukti kecamatan Bungah kabupaten Gresik pada saat musim hujan mengalami kelebihan air sehingga air tebuang sia-sia, sedangkan pada saat musim kemarau terjadi kekeringan dan kekurangan air, sehingga masyarakat daerah Sidomukti sulit untuk mendapatkan air baku dan air untuk irigasi sawah mereka. Dengan permasalahan seperti itu diperlukan pemanfaatan kelebihan air pada musim hujan dengan upaya menampung dan mengembangkan potensi air serta sumber air yang ada, yaitu diantaranya dengan perencanaan bendung gerak di sudetan sungai Bengawan Solo yang terletak di desa Sidomukti tersebut, fungsi bendung gerak ini menaikkan elevasi muka air dan menampung air sungai, dengan demikian dapat memberikan solusi untuk memanfaatkan air sebagai air baku untuk wilayah Gresik Selatan dengan debit kebutuhan (Q) sebesar 0,746 m³/detik, untuk irigasi di wilayah Gresik timur dan utara dengan debit kebutuhan (Q) sebesar 0,783 m³/detik dan sawah seluas 820 hektar di kabupaten Lamongan, serta untuk industri di wilayah Gresik selatan dan tengah dengan debit kebutuhan (Q) sebesar 0,495 m³/detik.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, adapun rumusan masalahnya sebagai berikut:

1. Berapa kapasitas tampungan air yang direncanakan pada bendung gerak tersebut untuk irigasi, air baku, dan industri serta tuntutan elevasi muka air untuk irigasi?
2. Berapa dimensi bendung gerak yang direncanakan di sudetan sungai Bengawan Solo di desa Sidomukti dan berapa jumlah pintu serta dimensi pintunya?
3. Bagaimana cara menghitung kestabilan bendung gerak tersebut?

1.3 Tujuan

Dengan rumusan masalah tersebut di atas maka tujuan yang diharapkan adalah sebagai berikut:

1. Menghitung kapasitas tampungan air untuk air baku dan irigasi, serta tuntutan elevasi muka air untuk irigasi.
2. Merencanakan dimensi bendung, menghitung jumlah pintu air, serta menghitung dimensi pintu air.
3. Menghitung kestabilan bendung gerak.

1.4 Manfaat

Dengan dilakukannya pembangunan bendung gerak Sembayat diharapkan bisa mencukupi tuntutan air baku untuk wilayah Gresik Selatan dengan debit kebutuhan (Q) sebesar 0,746 m³/detik, untuk irigasi di wilayah Gresik timur dan utara dengan debit kebutuhan (Q) sebesar 0,783 m³/detik dan sawah seluas 820 hektar di kabupaten Lamongan, serta untuk industri di wilayah Gresik selatan dan tengah dengan debit kebutuhan (Q) sebesar 0,495 m³/detik.

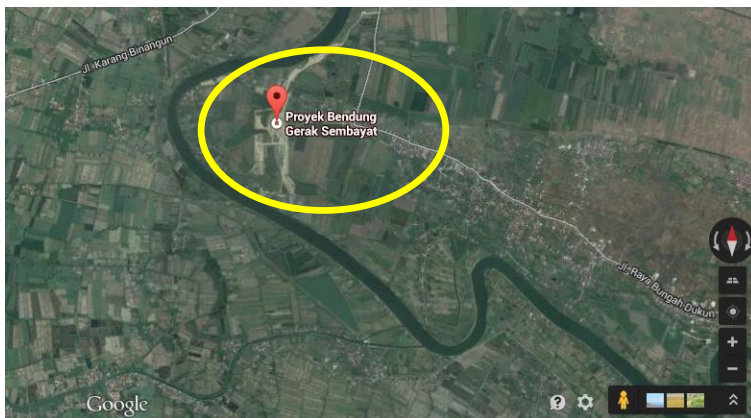
1.5 Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini dibatasi pada perencanaan bendung gerak yang ditinjau dari segi teknis yang didukung oleh data-data antara lain data hidrologi, data mekanika tanah, dan data-data penunjang lainnya. Batasan masalah yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

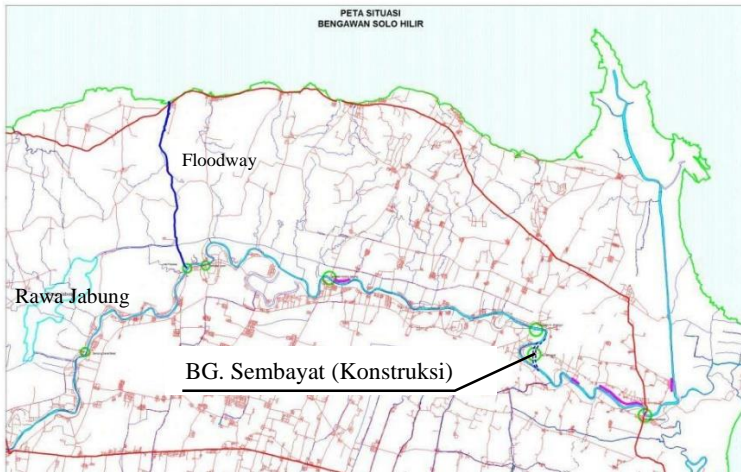
- Analisa Hidrologi.
- Analisa Hidrolika.
- Merencanakan bendung gerak.
- Menghitung dimensi pintu bendung.
- Stabilitas konstruksi Bendung.

1.6 Lokasi

Lokasi studi tugas akhir ini terletak di desa Sidomukti kecamatan Bungah kabupaten Gresik, seperti terlihat pada Gambar 1.1, sedangkan peta situasi terlihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.1 Peta Lokasi Studi Tugas Akhir



Gambar 1.2 Peta Situasi Sungai Bengawan Solo Hilir

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Terdahulu

Bengawan Solo merupakan sungai terbesar nomor satu di Pulau Jawa, dan bagian hilir sungai tersebut melewati beberapa Kabupaten di antaranya adalah sebelah utara kabupaten Gresik hingga kabupaten Lamongan. Sungai bengawan solo hilir ini memiliki daerah aliran sepanjang 61.868 km serta mengalir wilayah utara kabupaten Gresik dan beberapa kecamatan di kabupaten Lamongan dengan debit rata-rata 391,7 m³/det. Akan tetapi, jika musim kemarau debit tersebut tidak dapat terpenuhi dan mengakibatkan sungai-sungai di sekitarnya mengalami kekeringan. Mengingat kawasan Gresik utara hingga Lamongan ini dekat dengan pantai, maka pada musim kemarau air laut akan mengisi sungai-sungai yang keriiing tersebut. Sehingga pasokan air bersih dan air tawar menjadi sulit. Tujuan diadakan studi ini adalah untuk merencanakan pembangunan Bendung Gerak Sembayat pada DAS Bengawan Solo hilir yang bertujuan mengatasi kekurangan air bersih dan tawar saat musim kemarau, meminimalisasi bahaya banjir saat musim hujan dan untuk perbaikan system irigasi bagi petani. (Studi Perencanaan dan Pemodelan Tes Hidrolika Fishway Pada Bendung Gerak Sembayat oleh Mona Is Aziza, Teknik Sipil ITS 2014)

Gresik - Bendung gerak Sembayat ditargetkan tuntas pada februari 2016, manfaat bendung seluas 80 hektare itu sudah ditawarkan ke investor. PDAM Gresik mengundang investor untuk menanamkan modal hingga Rp 1,3 triliun. Hingga saat ini kemajuan penggarapan bendung gerak sembayat ini mencapai 67 persen. Proyek tersebut diharapkan memberikan tiga solusi strategis. yaitu, mencegah banjir tahunan akibat luapan Bengawan Solo, dan menyediakan bahan baku air bersih untuk PDAM.

Direktur Utama (Dirut) PDAM Gresik Muhammad menyatakan siap menambah kapasitas produksi air bersih dengan

memanfaatkan bendung gerak Sembayat. Menurut rencana, kapasitas air bersih yang bisa diproduksi mencapai 2.000 liter perdetik. Tidak tanggung-tanggung proyeksi biaya investasinya Rp 1,329 triliun.

Dirut PDAM Gresik mematangkan proses lelang. Di antaranya, membentuk tim lelang dari internal PDAM, konsultan pengawas, dan tim monitoring. Sebelumnya, santer beredar kabar K-Water, investor asal Korea, tertarik menanamkan modal di bidang pengolahan air bersih. Namun, kabarnya, investor tersebut batal menanamkan investasinya di bendung gerak Sembayat karena PDAM telah menolak studi kelayakan yang diajukan K-Water. Mengapa? Harga penawarannya terlalu mahal, yaitu 8.600 per meter kubik. Padahal PDAM Gresik hanya menawarkan Rp 4.300 per meter kubik.

Menurut rencana, peningkatan kapasitas produksi itu dilakukan bertahap mulai 2016 dengan kapasitas 500 liter perdetik. Kemudian pada 2017, kapasitasnya menjadi 1.000 liter per detik. Sisanya 500 liter per detik, diproduksi pada 2018. Produksi air bersih tersebut akan digunakan untuk menambah kapasitas pelanggan. Baik pelanggan industry maupun rumah tangga. Saat ini banyak perusahaan di Gresik yang protes karena PDAM tidak mampu menyuplai kebutuhan air bersih. Nah, dengan proyek itu kebutuhan air bersih bisa terpenuhi.

Dirut PDAM Gresik mengungkapkan dengan tambahan 2.000 liter per detik, jumlah pelanggan meningkat menjadi 56 persen dari total penduduk. Saat ini kapasitas produksi mencapai 1.300 liter perdetik. Pelayannya baru menjangkau 32 persen dari total penduduk kabupaten Gresik.

(Sumber : Jawa Pos, Rabu 21 Januari 2015. Hal 32)

2.2 Studi Literatur

Dalam Tugas Akhir Terapan ini penulis akan merencanakan bendung gerak Sembayat guna menaikkan elevasi muka air dan menampung air sungai, untuk air baku dan irigasi sawah. Untuk menunjang proses perencanaan bendung gerak maka berbagai teori dan rumus-rumus dari berbagai studi pustaka sangatlah diperlukan sebagai acuan perhitungan. Beberapa teori dan rumus-rumus yang dipakai antara lain :

2.2.1 Analisa Hidrologi Untuk Perencanaan Bendung

2.2.1.1 Curah Hujan Rata-Rata Wilayah

Metode yang digunakan untuk menghitung hujan rata-rata wilayah adalah dengan metode Aljabar. Metode ini cocok untuk kawasan dengan topografi rata atau datar, alat penakar tersebar merata/hampir merata, dan harga individual curah hujan tidak terlalu jauh dari harga rata-ratanya. Dengan metode Aljabar curah hujan rata-rata area dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

$$P = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{n}$$

Keterangan :

P = Tinggi curah hujan rata-rata wilayah (mm)

P_1, P_2, \dots, P_n = Tinggi curah hujan di stasiun 1, 2, ..., n (mm)

n = banyaknya pos penakar curah hujan

(Suripin, 1999. Hal 27)

2.2.1.2 Deviasi Standar

Pada umumnya ukuran dispersi yang paling banyak digunakan adalah deviasi standar. Apabila penyebaran data sangat besar terhadap nilai rata-rata maka nilai deviasi standar akan besar, akan tetapi apabila penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata-rata maka nilai deviasi standar akan kecil. Deviasi standar dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

Keterangan :

S = Deviasi standar

X_i = Tinggi curah hujan wilayah (mm)

\bar{X} = Nilai rata-rata curah hujan wilayah (mm)

n = Jumlah data

(Soewarno, 1995. Hal 75)

2.2.1.3 Koefisien Skewness (Kemencengan)

Koefisien Skewness (Kemencengan) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidak simetrisan dari suatu bentuk distribusi. Koefisien Skewness untuk sampel dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$CS = \frac{\frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{S^3}$$

Keterangan :

Cs = Koefisien skewness

S = Deviasi standar

\bar{X} = Nilai rata-rata curah hujan wilayah (mm)

X_i = Data curah hujan wilayah ke-i (mm)

n = Jumlah data

(Soewarno, 1995. Hal 81)

2.2.1.4 Koefesien Kurtosis

Koefesien kurtosis digunakan untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi. Koefesien kurtosis dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Ck = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4}$$

Keteranagn :

Ck = Koefesien kurtosis

S = Deviasi standar

\bar{X} = Nilai rata-rata curah hujan wilayah (mm)

X_i = Data curah hujan wilayah ke-i (mm)

n = Jumlah data

(Soewarno, 1995. Hal 89)

2.2.1.5 Curah Hujan Rencana

Curah hujan rencana adalah curah hujan terbesar tahunan dengan suatu kemungkinan terjadi pada periode ulang tertentu. Periode ulang (*return period*) diartikan sebagai waktu yang diduga, dimana hujan atau debit dengan besaran tertentu akan disamai atau dilampaui sekali dalam jangka waktu tersebut dan tidak melenceng dari kenyataan yang terjadi.

Metode-metode yang bisa digunakan untuk menghitung curah hujan rencana adalah sebagai berikut :

- Metode Distribusi Normal
- Metode Distribusi Gumbel
- Metode Distribusi Log Person Type III

2.2.1.5.1 Metode Distribusi Normal

Untuk menghitung curah hujan rencana dalam periode ulang tertentu dengan metode distribusi normal dapat dipakai perumusan sebagai berikut :

$$X = \bar{X} + k.S$$

Keterangan :

X = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang tertentu

\bar{X} = Nilai rata-rata hitung variat

S = Deviasi standar nilai variat

k = Faktor frekuensi, merupakan fungsi dari pada peluang atau periode ulang dan tipe model matematik dari distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang

(Soewarno, 1995. Hal 116)

2.2.1.5.2 Metode Distribusi Gumbel

Untuk menghitung curah hujan rencana dalam periode ulang tertentu dengan metode distribusi gumbel dapat dipakai perumusan sebagai berikut :

$$X = \bar{X} + \frac{S}{sn} (Y - Y_n)$$

Keterangan :

X = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang tertentu

\bar{X} = Nilai rata-rata hitung variat

S = Deviasi standar nilai variat

Y = nilai reduksi variat dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode ulang tertentu, atau dapat dihitung dengan rumus :

$$Y = -\ln \left[-\ln \frac{T-1}{T} \right]$$

Untuk $T \geq 20$, maka $Y = \ln T$

Y_n = nilai rata-rata dari reduksi variat. Nilainya tergantung dari jumlah data (n)

S_n = deviasi standar dari reduksi variat. Nilainya tergantung dari jumlah data (n)

Untuk mencari nilai besaran Y_n dan S_n dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2.1 hubungan reduksi variat rata-rata (Y_n) dan deviasi standar (S_n) terhadap jumlah data (n)

n	Y_n	S_n
10	0,4592	0,9496
11	0,4996	0,9676
12	0,5053	0,9933
13	0,5070	0,9971
14	0,5100	1,0095
15	0,5128	1,0206
16	0,5157	1,0316
17	0,5181	1,0411
18	0,5202	1,0493
19	0,5220	1,0565
20	0,5236	1,0628
21	0,5252	1,0696
22	0,5268	1,0754
23	0,5283	1,0811
24	0,5296	1,0864
25	0,5309	1,0915
26	0,5320	1,1961
27	0,5332	1,1004
28	0,5343	1,1047
29	0,5353	1,1086
30	0,5362	1,1124

(Soewarno, 1995. Hal 127;128;129)

2.2.1.5.3 Metode Distribusi Log Person Type III

Untuk menghitung curah hujan rencana dalam periode ulang tertentu dengan metode distribusi log person type III dapat dipakai perumusan sebagai berikut :

$$\log X = \overline{\log X} + k. (\overline{S \log X})$$

Keterangan :

$\log X$ = perkiraan nilai logaritma yang diharapkan terjadi dengan periode ulang tertentu

$\overline{\log X}$ = nilai rata-rata, dengan rumus :

$$\overline{\log X} = \frac{\sum \log x}{n}$$

n = jumlah data

$\overline{S \log X}$ = nilai deviasi standar dari $\log X$, dengan rumus :

$$\overline{S \log X} = \sqrt{\frac{\sum (\log X - \overline{\log X})^2}{n-1}}$$

Cs = nilai kemencengan, dengan rumus :

$$Cs = \frac{n \sum (\log x - \overline{\log X})^3}{(n-1)(n-2)(\overline{S \log X})^3}$$

Untuk mendapatkan nilai X yang diharapkan terjadi pada periode tertentu, hitung anti log dari $\log X$ sesuai dengan nilainya.

(Soewarno, 1995. Hal 143)

Dari ketiga metode diatas akan diambil satu metode yang akan digunakan dalam perhitungan selanjutnya dengan ketentuan sebagai berikut :

Tabel 2.2 Syarat-syarat Jenis Distribusi

Distribusi	Syarat Nilai
Distribusi Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$
Distribusi Gumbel	$C_s \leq 1,1396$ $C_k \leq 5,4002$
Distribusi Log Person Type III	$C_s \neq 0$ $C_k \neq 0$

2.2.1.6 Uji Kecocokan

Untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat menggambarkan atau mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisa, maka dilakukan perhitungan uji kecocokan (*Goodness of Fit Test*).

Ada dua jenis uji kecocokan yang dilakukan dalam analisa kali ini, yaitu :

- Uji Chi-Kuadratt
- Uji Smirnov-Kolmogorov

2.2.1.6.1 Uji Chi-Kuadrat

Uji chi-kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Parameter chi-kuadrat dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Dimana :

X_h^2 = Parameter chi-kuadrat terhitung

G = Jumlah sub kelompok

O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke i

E_i = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke i

Prosedur uji chi-kuadrat adalah:

1. Urutkan data pengamatan (dari besar ke kecil atau sebaliknya).
2. Kelompokkan data menjadi G sub-grup, tiap-tiap sub grup minimal 4 data pengamatan.
3. Jumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap-tiap sub grup.
4. Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i .
5. Tiap-tiap sub grup hitung nilai :

$$(O_i - E_i)^2 \quad \text{dan} \quad \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

6. Jumlah seluruh G sub grup nilai $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ untuk menentukan nilai chikuadrat hitung.
7. Tentukan derajat kebebasan $dk = G - R - 1$ (nilai $R = 2$, untuk distribusi normal dan binomial, dan nilai $R = 1$, untuk distribusi poisson).

Interpretasi hasilnya adalah :

1. Apabila peluang lebih dari 5%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
2. Apabila peluang lebih kecil 1%, makapersamaan distribusi teoritis yang digunakan tidak dapat diterima.
3. Apabila peluang berada diantara 1 – 5 % adalah tidak mungkin mengambil keputusan, missal perlu tambah data.

(Soewarno, 1995. Hal 194;195)

Tabel 2.3 Derajat Kepercayaan Uji Chi-Kuadrat

dk	α derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	31,410	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	35,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,980	45,558
25	10,520	11,524	13,120	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,773	46,979	50,892	53,672

Sumber : Bonnier, 1980

2.2.1.6.2 Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov sering disebut juga uji kecocokan non parametrik (*non parametric test*), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu.

Prosedurnya adalah sebagai berikut :

1. Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut.

$$X_1 P(X_1)$$

$$X_2 P(X_2)$$

$$X_m P(X_m)$$

$$X_n P(X_n)$$

2. Tentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya).

$$X_1 P'(X_1)$$

$$X_2 P'(X_2)$$

$$X_m P'(X_m)$$

$$X_n P'(X_n)$$

3. Dari kedua nilai peluang tersebut tentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.

$$D = \text{maksimum} [P(X_m) - P'(X_m)]$$

4. Berdasarkan tabel nilai kritis (Smirnov-Kolmogorov) tentukan harga D_0 (lihat tabel 2.3).
5. Apabila D lebih kecil dari D_0 maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima, apabila D lebih besar D_0 maka distribusi yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi tidak dapat diterima.

Tabel 2.4 Nilai Kritis Do Untuk Uji Smirnov-Kolmogorov

N	α			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
N > 50	$\frac{1,07}{N^{0,5}}$	$\frac{1,22}{N^{0,5}}$	$\frac{1,36}{N^{0,5}}$	$\frac{1,63}{N^{0,5}}$

Catatan : α = derajat kepercayaan
(Soewarno, 1995. Hal 198;199)

2.2.1.7 Banjir Rencana

Perhitungan debit banjir rencana sangat diperlukan untuk memperkirakan besarnya debit maksimum yang terjadi pada periode tertentu. Cara yang digunakan untuk menghitung debit rencana adalah metode Nakayasu.

2.2.1.7.1 Hidrograf Satuan Nakayasu

Untuk memprediksi unit hidrograf dari suatu DAS berdasarkan data-data karakteristik fisik DAS sungai yang bersangkutan, dapat digunakan metode unit hidrograf sintetik. Salah satu metode yang umum dipakai adalah metode Nakayasu.

Rumus dari hidrograf satuan sintetik Nakayasu adalah sebagai berikut:

$$Q_p = \frac{C.A.R_0}{3,6(0,3 T_p + T_{0,3})}$$

Dimana:

Q_p = Debit puncak banjir (m³/det)

R_o = Hujan satuan (mm)

A = Luas daerah pengaliran sampai outlet

C = Koefisien pengaliran

T_p = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam), dapat dihitung dengan rumus :

$$T_p = T_g + 0,8 \cdot T_r$$

$T_{0,3}$ = Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari puncak sampai 30% dari debit puncak, dapat dihitung dengan rumus :

$$T_{0,3} = \alpha \cdot T_g$$

T_r = Satuan waktu hujan (jam)

$$T_r = 0,5 T_g \text{ sampai } T_g$$

α = Parameter hidrograf, untuk :

- Daerah pengaliran biasa $\alpha = 2$
- Bagian naik hidrograf yang lambat dan bagian menurun yang cepat $\alpha = 1,5$
- Bagian naik hidrograf yang cepat dan bagian menurun yang lambat $\alpha = 3$

T_g = Waktu konsentrasi (jam). T_g dihitung dengan ketentuan sebagai berikut:

- Sungai dengan panjang alur $L > 15$ Km :

$$T_g = 0,4 + 0,058 \cdot L$$

- Sungai dengan panjang alur $L < 15$ Km :

$$T_g = 0,21 \cdot L^{0,7}$$

L = Panjang sungai (Km)

(Soemarto, 1995. Hal 100;102;103)

Tabel 2.5 Koefesien Pengaliran

Kondisi DAS	Angka Pengaliran
Bergunung	0,75 – 0,90
Pegunungan Tersier	0,70 – 0,80
Sungai dengan tanah dan hutan di bagian atas dan bawahnya	0,50 – 0,75
Tanah berelief berat dan berhutan	0,50 – 0,75
Tanah dasar yang ditanami	0,45 – 0,60
sawah waktu diairi	0,70 – 0,80
Sungai bergunung	0,75 – 0,85
Sungai dataran	0,45 – 0,75

(Soewarno, 1997)

2.2.1.8 Perhitungan Model FJ.Mock

2.2.1.8.1 Curah Hujan

Nilai hujan bulanan (P) didapat dari pencatatan data hujan bulanan (mm) dan jumlah hari hujan pada bulan yang bersangkutan (h).

2.2.1.8.2 Perhitungan Evapotranspirasi

Evapotranspirasi terbatas adalah evapotranspirasi aktual dengan mempertimbangkan kondisi vegetasi dan permukaan tanah sehingga didapat persamaannya sebagai berikut :

$$ET_o = C \{W \times R_n + (1 - W) \times f(u) \times (e_a - e_d)\}$$

Dimana :

ET_o = Evapotranspirasi potensial (mm/hari)

C = Faktor koreksi

W = Faktor bobot

R_n = Radiasi netto (mm/hari)

f(u) = Fungsi kecepatan angin (km/hari)

(e_a-e_d) = Perbedaan tekanan uap air jenuh dengan tekanan uap air nyata (mbar)

2.2.1.8.3 Perhitungan Debit Model FJ.Mock

Pemodelan FJ.Mock ini dihasilkan dari penelitian empiris dengan memasukkan data hujan bulanan, dan parameter-parameter fisik lainnya yang sifatnya juga bulanan, sehingga menghasilkan debit aliran simulasi bulanan. Dari hasil perhitungan FJ.Mock perlu dilakukan validasi dengan data pengamatan untuk mengetahui ketepatan nilai parameter sebagai data input perhitungan selanjutnya.

2.2.1.8.4 Debit Andalan

Debit andalan adalah debit yang dapat digunakan untuk pengembangan sumber daya air. Debit ini didapat dari 80% debit sungai FJ.Mock tiap tahun pada bulan yang sama.

2.2.2 Analisa Hidrolika Untuk Perencanaan Bendung

2.2.2.1 Perhitungan Panjang Mercu Bendung dan Lebar Pintu

Panjang mercu bendung atau disebut pula lebar bentang bendung yaitu jarak antara dua tembok pangkal bendung (abutment), termasuk lebar bangunan pembilas dan pilar-pilarnya. Ini disebut juga panjang mercu bruto. Panjang mercu bendung efektif dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Be = Bb - 20\% \sum b - \sum t$$

$$Be = Bb - 2(n kp + ka)H$$

Keterangan :

Be = panjang mercu efektif (m)

Bb = panjang mercu bruto (m)

Σb = jumlah lebar pembilas

Σt = jumlah pilar-pilar pembilas

n = jumlah pilar pembilas dan pilar jembatan

kp = koefesien kontraksi pilar

ka = koefesien kontraksi pangkal bendung

H = tinggi energy (m), yaitu $h+k$; h = tinggi air; $k = v^2/2g$

(Mawardi, 2006. Hal 44)

2.2.2.2 Tinggi Muka Air yang Melimpas di Atas Pintu

Pada saat debit puncak, air akan melimpas di atas pintu. Maka tinggi muka air di atas pintu dapat dihitung dengan rumus penurunan persamaan debit sebagai berikut :

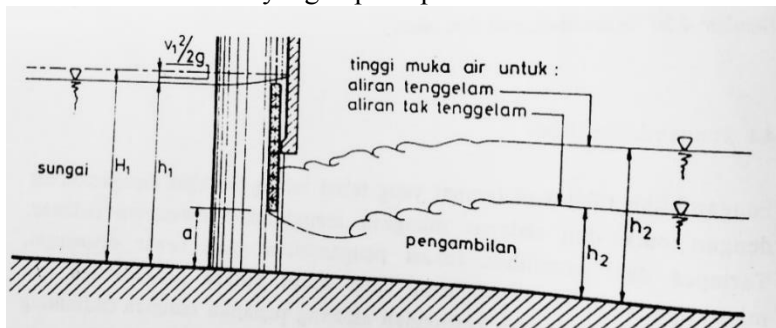
$$Q = \frac{2}{3} b \sqrt{2g} \left[h^{3/2} \right]$$

Keterangan :

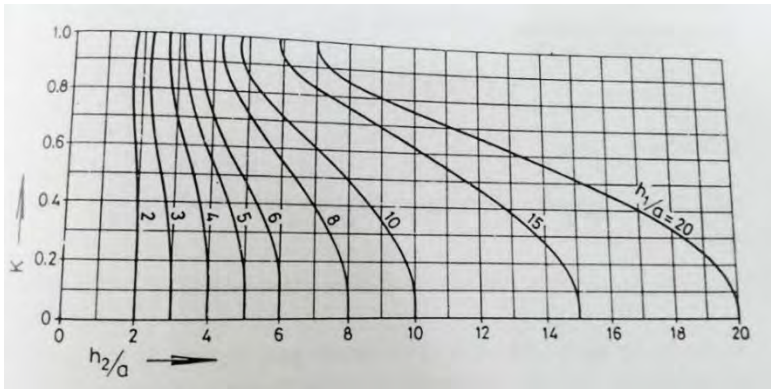
- Q = debit (m³/det)
 b = lebar pintu (m)
 g = percepatan gravitasi (m/det²)
 h = tinggi air di atas pintu (m)

2.2.2.3 Perhitungan Debit yang Lewat Bawah Pintu

Agar mampu mengatasi tinggi muka air yang berubah-ubah di sungai, pengambilan harus direncanakan sebagai pintu aliran bawah. Rumus yang dapat dipakai adalah :



Gambar 2.1 Pintu Aliran Bawah



Gambar 2.2 Koefisien K untuk Debit Tenggelam

$$Q = k \mu a b \sqrt{2 g h_1}$$

Keterangan :

Q = debit (m^3/det)

k = faktor aliran tenggelam

μ = koefisien debit

a = bukaan pintu (m)

b = lebar pintu (m)

g = percepatan gravitasi (m/det^2)

h_1 = kedalaman air di depan pintu di atas ambang (m)

(KP 02, 1986. Hal 70;71)

2.2.3 Analisa Kestabilan Bendung

Salah satu persyaratan keamanan bendung yaitu harus stabil terhadap geser, guling, turun, dan piping. Untuk itu harus dihitung gaya-gaya yang bekerja pada bangunan, yaitu :

- Berat sendiri bangunan
- Tekanan air normal setinggi bendung dan setinggi muka air banjir rencana
- Gaya gempa, tekanan uplift
- Tekanan sedimen

Selanjutnya gaya-gaya yang bekerja pada bangunan itu dianalisis dan dikontrol stabilitasnya terhadap faktor-faktor keamanannya.

2.2.3.1 Perhitungan Gaya Tekanan Uplift

Untuk menghitung gaya tekanan uplift disetiap titik untuk keadaan air normal dan banjir dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$U_x = (H_x - \frac{L_x}{\Sigma L} \Delta H) \gamma_w \quad L_x = L_v + 1/3 L_H$$

Keterangan :

U_x = gaya tekanan ke atas di titik x (ton/m²)

H_x = tinggi air upstream bendung sampai titik x (m)

L_x = jarak sepanjang bidang kontak dari elevasi muka air upstream sampai titik x (m)

L = panjang total bidang kontak (m)

ΔH = beda tinggi energi (m)

L_v = panjang bidang vertikal (m)

L_H = panjang bidang horizontal (m)

(Mawardi, 2006. Hal 128)

2.2.3.2 Syarat Stabilitas Bangunan

Untuk syarat stabilitas bangunan pada keadaan air normal dan keadaan air banjir.

- Bangunan stabil terhadap guling :

$$\text{faktor keamanan (FK)} = \frac{\Sigma Mt}{\Sigma Mg} \geq 1,5 - 2$$

- Bangunan stabil terhadap geser :

$$\text{faktor keamanan (FK)} = \frac{f \cdot \Sigma V}{\Sigma H} \geq 1,3$$

$$\text{koefisien geser (f)} = tg\phi$$

Keterangan :

ΣMt = jumlah momen tahan (ton.m)

ΣMg = jumlah momen guling (ton.m)

ΣV = jumlah gaya-gaya vertikal (ton)
 ΣH = jumlah gaya-gaya horizontal (ton)
 φ = sudut geser dalam sedalam pondasi bendung
 (Mawardi, 2006. Hal 128)

- Bangunan stabil terhadap turun

Untuk syarat terhadap daya dukung tanah pada keadaan air normal dan keadaan air banjir dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\sigma_{1,2} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right)$$

Keterangan :

$\sigma_{1,2}$ = tegangan tanah (kN/m²)
 ΣV = jumlah gaya-gaya vertikal (ton)
 B = lebar dasar (m)
 e = eksentrisitas
 persyaratannya yaitu bila $\sigma_1 < \bar{\sigma}$ dan $\sigma_2 > 0$
 (Mawardi, 2006. Hal 129)

- Bangunan stabil terhadap rembesan

Untuk syarat terhadap rembesan pada keadaan air normal dan keadaan banjir dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$C_L = \frac{\Sigma L_v + 1/3 \Sigma L_H}{H}$$

Keterangan :

C_L = angka rembesan Lane (lihat tabel 2.5)
 ΣL_v = jumlah panjang vertikal (m)
 ΣL_H = jumlah panjang horisontal (m)
 H = beda tinggi muka air (m)

Tabel 2.6 Harga-harga Minimum Angka Rembesan Lane (C_L)

Uraian	C_L
Pasir sangat halus atau lanau	8,5
Pasir halus	7,0
Pasir sedang	6,0
Pasir kasar	5,0
Kerikil halus	4,0
Kerikil sedang	3,5
Kerikil kasar termasuk berangkal	3,0
Bongkah dengan sedikit berangkal dan kerikil	2,5
Lempung lunak	3,0
Lempung sedang	2,0
Lempung keras	1,8
Lempung sangat keras	1,6

(*KP 02, 1986. Hal 124;125;126*)

BAB III METODOLOGI

Metode perencanaan disusun untuk mempermudah pelaksanaan perencanaan, dan untuk memperoleh penyelesaian masalah yang sesuai dengan tujuan perencanaan yang ditetapkan melalui prosedur kerja yang sistematis, teratur, dan tertib, sehingga dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah. Berikut adalah metode perencanaannya.

3.1 Survey Lapangan

Survey lapangan meliputi:

1. Kondisi sungai yang ada saat ini.
2. Kondisi lokasi.
3. Kondisi wilayah daerah pengaliran.
4. Kendala dan masalah yang sering terjadi pada daerah studi.

3.2 Pengumpulan Data

Data-data yang dikumpulkan untuk Tugas Akhir ini antara lain:

1. Peta Topografi
Untuk mengetahui lokasi yang akan ditinjau serta untuk mengetahui kondisi topografi di sekitar lokasi tersebut.
2. Data Hidrologi
Untuk perhitungan curah hujan rata-rata daerah, hujan harian maksimum, intensitas hujan dan pemilihan rumus intensitas serta pemilihan metode intensitas hujan.
3. Data Eksisting Sungai
Melakukan perhitungan long section sungai dan cross section penampang saluran sungai sehingga mendapat data-data yang diperlukan untuk membuat Tugas Akhir.

4. Data Mekanika Tanah
Untuk mengetahui karakteristik tanah, jenis-jenis tanah, dan perhitungan daya dukung tanah disekitar lokasi yang ditinjau.
5. Data Debit Sungai
Melakukan perhitungan debit sungai Bengawan Solo agar dapat memenuhi kebutuhan air baku dan kebutuhan irigasi sawah.

3.3 Analisa Hidrologi

Menganalisa data pada perencanaan bendung gerak Sembayat dalam penyusunan laporan tugas akhir yaitu:

1. Menentukan Chathmen Area atau Daerah Aliran Sungai (DAS)
2. Perhitungan curah hujan wilayah
3. Uji kecocokan
4. Perhitungan curah hujan rencana
5. Analisa debit rencana

3.4 Analisa Hidrolika

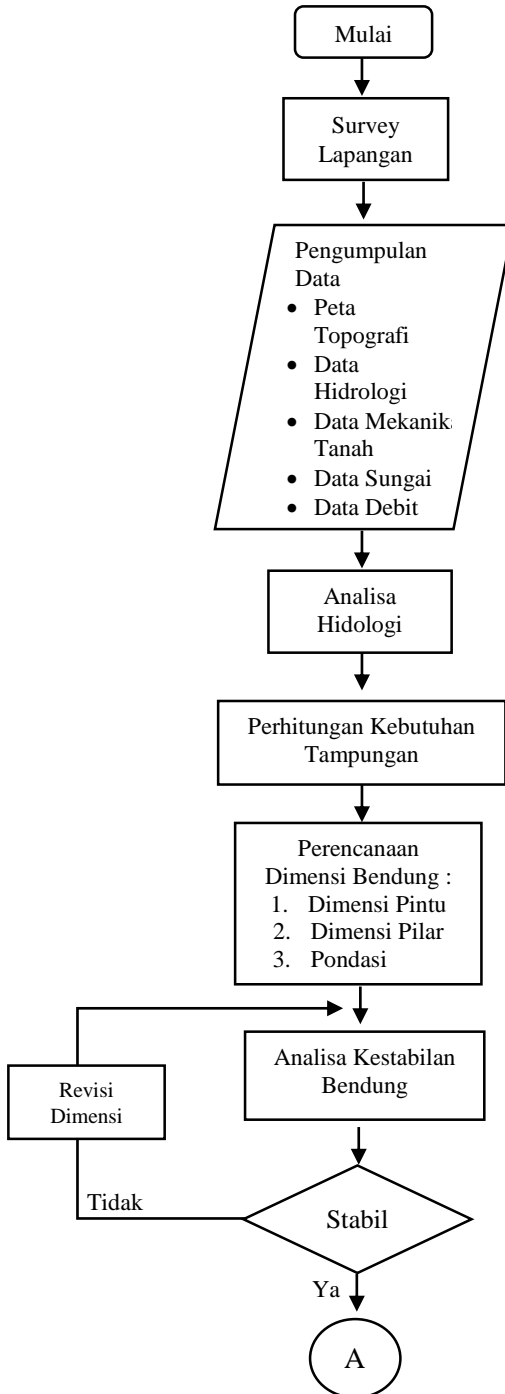
Data dari perhitungan hidrologi selanjutnya digunakan untuk melakukan perhitungan hidrolika antara lain :

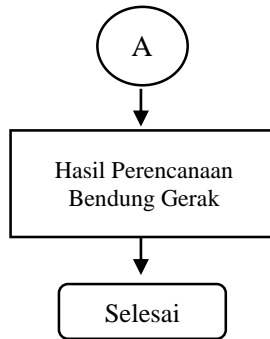
1. Perhitungan Panjang Mercu Bendung dan Lebar Pintu
2. Perhitungan Perbedaan Muka Air di Hulu dan Hilir Pintu
3. Perhitungan Tinggi Muka Air yang Melimpas di Atas Pintu

3.5 Analisa Kestabilan Bendung

Menganalisa kestabilan bendung gerak untuk tahan geser dan gulingnya agar syarat keamanan bendung gerak stabil. Untuk itu harus dihitung gaya-gaya yang bekerja pada bangunan antara lain berat sendiri bangunan, tekanan air normal setinggi bendung dan setinggi muka air banjir rencana, gaya gempa, tekanan air dibawah bendung atau uplift, serta tekanan sedimen.

Selanjutnya gaya-gaya yang bekerja pada bangunan itu dianalisa dan dikontrol stabilitasnya terhadap faktor-faktor keamanannya. Perhitungan dilakukan dengan tinjauan lebar pintu dan setengah lebar pilar di kanan dan kiri pintu. Jika kontrol stabilitas belum stabil, maka harus dicek kembali dimensi bendung. Perhitungan diulang sampai kontrol stabilitasnya stabil.





Gambar 3.1 Diagram Alir Perencanaan Bendung Gerak

BAB IV

ANALISA HIDROLOGI

4.1 Analisa Curah Hujan

4.1.1 Curah Hujan Rata-Rata Areal

Untuk menghitung curah hujan rata-rata areal pada Bendung Gerak Sembayat digunakan dua stasiun penakar hujan yang ada di Daerah Aliran Sungai (DAS) sungai Bengawan Solo hilir, yaitu Stasiun Kedungpring dan Stasiun Karangnongko dengan data hujan yang tersedia selama 20 tahun.

Metode yang akan digunakan dalam menentukan curah hujan rata-rata areal adalah dengan Metode Aritmatik. Pemilihan metode ini didasarkan karena wilayah disekitar aliran sungai yang relatif datar.

Adapun perhitungan curah hujan metode Aritmatik daerah aliran sungai bendung gerak sembayat, sebagai berikut:

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

$$P = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{n}$$

Keterangan :

P = Tinggi curah hujan rata-rata wilayah (mm)

P₁, P₂, ...P_n = Tinggi curah hujan di stasiun 1,2,...,n (mm)

n = Banyaknya pos penakar curah hujan

Tabel 4.1 Data Curah Hujan Tahunan Maksimum Stasiun Penakar Hujan

Tahun	Stasiun	
	Karangnongko (mm)	Kedungpring (mm)
1995	84,00	58,00
1996	105,00	107,00
1997	47,00	98,00
1998	90,00	95,00
1999	122,00	72,00
2000	100,00	96,00
2001	173,00	115,00
2002	90,00	78,00
2003	107,00	43,00
2004	121,00	111,00
2005	67,00	76,00
2006	105,00	65,00
2007	78,00	77,00
2008	105,00	50,00
2009	120,00	83,00
2010	135,00	59,00
2011	135,00	92,00
2012	105,00	56,00
2013	52,00	92,00
2014	40,00	114,00
Rata-Rata	99,05	81,85

Selanjutnya untuk mempermudah, perhitungan curah hujan rata-rata areal dengan Metode Aritmatik disajikan dalam bentuk Tabel 4.2 seperti dibawah ini:

Tabel 4.2 Perhitungan Curah Hujan Rata-Rata Areal dengan Metode Aritmatik

Tahun	Curah Hujan Maksimum (mm)		Curah Hujan Rata-rata Aritmatik mm
	Karangnongko	Kedungpring	
1	2	3	$4 = 1/n * (2+3)$
1995	84,00	58,00	71,00
1996	105,00	107,00	106,00
1997	47,00	98,00	72,50
1998	90,00	95,00	92,50
1999	122,00	72,00	97,00
2000	100,00	96,00	98,00
2001	173,00	115,00	144,00
2002	90,00	78,00	84,00
2003	107,00	43,00	75,00
2004	121,00	111,00	116,00
2005	67,00	76,00	71,50
2006	105,00	65,00	85,00
2007	78,00	77,00	77,50
2008	105,00	50,00	77,50
2009	120,00	83,00	101,50
2010	135,00	59,00	97,00
2011	135,00	92,00	113,50
2012	105,00	56,00	80,50
2013	52,00	92,00	72,00
2014	40,00	114,00	77,00

Sumber : Hasil Perhitungan

4.2 Hujan Rencana

4.2.1 Pemilihan Metode Distribusi Curah Hujan

Dari perhitungan curah hujan areal yang diperoleh, selanjutnya digunakan untuk menghitung hujan rencana pada masing-masing periode waktu. Ada beberapa metode yang bisa digunakan, tetapi disini akan digunakan 3 (tiga) metode yaitu:

- Metode Distribusi Normal
- Metode Distribusi Gumbel
- Metode Distribusi Log Person Type III

4.2.2 Metode Distribusi Normal

Untuk mendapatkan hujan rencana dengan metode Distribusi Normal, terlebih dahulu dilakukan perhitungan deviasi seperti dibawah ini:

Tabel 4.3 Perhitungan Nilai Rata-Rata Variat dan Deviasi Standar untuk Distribusi Normal dan Distribusi Gumbel

Tahun	CH Rata2 X (mm)	No	Rangking CH Rata2 (mm)	$X_i - X_{rata2}$	$(X_i - X_{rata2})^2$	$(X_i - X_{rata2})^3$	$(X_i - X_{rata2})^4$
1995	71,00	1	64,00	-25,80	665,64	-17173,51	443076,61
1996	106,00	2	71,00	-18,80	353,44	-6644,67	124919,83
1997	72,50	3	71,50	-18,30	334,89	-6128,49	112151,31
1998	92,50	4	72,00	-17,80	316,84	-5639,75	100387,59
1999	97,00	5	72,50	-17,30	299,29	-5177,72	89574,50
2000	98,00	6	75,00	-14,80	219,04	-3241,79	47978,52
2001	144,00	7	77,50	-12,30	151,29	-1860,87	22888,66
2002	84,00	8	77,50	-12,30	151,29	-1860,87	22888,66
2003	75,00	9	80,50	-9,30	86,49	-804,36	7480,52
2004	116,00	10	84,00	-5,80	33,64	-195,11	1131,65
2005	71,50	11	85,00	-4,80	23,04	-110,59	530,84
2006	85,00	12	92,50	2,70	7,29	19,68	53,14
2007	77,50	13	97,00	7,20	51,84	373,25	2687,39
2008	77,50	14	97,00	7,20	51,84	373,25	2687,39
2009	101,50	15	98,00	8,20	67,24	551,37	4521,22
2010	97,00	16	101,50	11,70	136,89	1601,61	18738,87
2011	113,50	17	106,00	16,20	262,44	4251,53	68874,75
2012	80,50	18	113,50	23,70	561,69	13312,05	315495,66
2013	72,00	19	116,00	26,20	686,44	17984,73	471199,87
2014	77,00	20	144,00	54,20	2937,64	159220,09	8629728,77
Jumlah			1796,00	0,00	7398,20	148849,83	10486995,76

Sumber : Hasil Perhitungan

Perhitungan dasar statistik

Rerata (\bar{X})

$$\begin{aligned}\bar{X} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X \\ &= \frac{1796,00}{20} \\ &= 89,80\end{aligned}$$

Standar Deviasi (S)

$$\begin{aligned}S &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X-\bar{X})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{7398,20}{14}} \\ &= 19,73\end{aligned}$$

Kemencengan (Cs)

$$\begin{aligned}Cs &= \frac{n \cdot \sum (X-\bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \\ &= \frac{20 \times 148849,83}{(20-1)(20-2)19,73^3} \\ &= 1,13\end{aligned}$$

Koefisien Kurtosis (Ck)

$$\begin{aligned}Ck &= \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X-\bar{X})^4}{S^4} \\ &= \frac{\frac{1}{20} \sum_{i=1}^n 10486995,76}{19,73^4} \\ &= 4,76\end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas dapat diketahui sebagai berikut:

- Rerata (\bar{X}) = 89,80
- Standar Deviasi (S) = 19,73
- Kemencengan (Cs) = 1,13
- Koefisien Variasi (Ck) = 4,76

Dari perhitungan didapat persamaan garis lurus untuk distribusi normal sebagai berikut:

$$X = \bar{X} + K \cdot S$$

$$X = 89,80 + K \cdot 19,73$$

Perhitungan tinggi hujan rencana dengan berbagai periode ulang metode distribusi normal dengan menggunakan persamaan diatas dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.4 Perhitungan Tinggi Hujan Rencana dengan Berbagai Periode Ulang Metode Distribusi Normal

T	X rata rata	K	S	X
1,001	89,80	-3,05	19,73	29,62
2		0,00		89,80
5		0,84		106,38
10		1,28		115,06
20		1,64		122,16
50		2,05		130,25
100		2,33		135,78

Sumber : Hasil Perhitungan

4.2.3 Metode Distribusi Gumbel

Untuk menghitung curah hujan dengan periode ulang tertentu menurut gumbel dipakai rumus sebagai berikut:

$$X = \bar{X} + K \cdot S$$

Perhitungan selengkapnya disajikan dalam Tabel 4.5

Tabel 4.5 Perhitungan Tinggi Hujan Rencana dengan Berbagai Periode Ulang Metode Distribusi Gumbel

T	T-1	Y _t	Y _n	σ _n	K	XT (mm)
1,001	0,001	-1,933	0,5235	1,0629	-2,311	44,199
2	1	0,367			-0,148	86,886
5	4	1,500			0,919	107,928
10	9	2,250			1,625	121,859
20	19	2,970			2,302	135,223
50	49	3,902			3,179	152,521
100	99	4,6			3,835	165,483

Sumber : Hasil Perhitungan

4.2.4 Metode distribusi frekwensi Log-Person tipe III

Untuk menghitung hujan perencanaan dalam praktek, menganjurkan pertama kali dalam mentransform data kehargaharga logaritmanya, kemudian menghitung parameter-parameter statistiknya.

Garis besar cara tersebut sebagai berikut:

1. Mengurutkan data curah hujan harian maksimum dari data terkecil ke data yang terbesar dan dihitung probabilitasnya dengan rumus :

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

Dimana:

m = nomor urut data

n = jumlah data

2. Ubahlah data hujan tahunan sebanyak n buah $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ menjadi $\log X_1, \log X_2, \log X_3, \dots, \log X_n$
3. Hitung nilai rata-ratanya dengan rumus berikut:

$$\overline{\log X} = \frac{\sum \log X}{n}$$

n = jumlah data

4. Hitung nilai standar deviasinya dengan rumus berikut :

$$\overline{S \text{ Log } X} = \sqrt{\frac{\sum(\log X - \overline{\log X})^2}{n - 1}}$$

5. Hitung nilai koefisien kemencengan dengan rumus berikut :

$$CS = \frac{n \sum(\log X - \overline{\log X})^3}{(n-1)(n-2)S^3}$$

6. Hitung logaritma hujan dengan waktu balik yang dikehendaki dengan rumus berikut:

$$\text{Log } X = \overline{\text{Log } X} + K \cdot \overline{S \text{ Log } X}$$

Harga-harga G dapat diambil dari tabel untuk harga-harga Cs positif, dan tabel untuk harga-harga Cs negatif. Jadi dengan harga Cs yang dihitung dan waktu nalik yang dikehendaki G dapat diketahui.

7. Cari anti log dari Log X untuk mendapatkan curah hujan dengan waktu balik yang dikehendaki Xt.

Tabel 4.6 Perhitungan Hujan Rencana Metode Log-Person Tipe III

Tahun	CH rata rata (X)	log X	(log X-log Xrat)	(log X-log Xrat) ²	(log X-log Xrat) ³	(log X-log Xrat) ⁴
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1995	71,00	1,85	-0,09	0,009	-0,0008	0,000074
1996	106,00	2,03	0,08	0,007	0,0005	0,000043
1997	72,50	1,86	-0,08	0,007	-0,0006	0,000049
1998	92,50	1,97	0,02	0,000	0,0000	0,000000
1999	97,00	1,99	0,04	0,002	0,0001	0,000003
2000	98,00	1,99	0,05	0,002	0,0001	0,000005
2001	144,00	2,16	0,21	0,046	0,0098	0,002105
2002	84,00	1,92	-0,02	0,000	0,0000	0,000000
2003	75,00	1,88	-0,07	0,005	-0,0003	0,000023
2004	116,00	2,06	0,12	0,014	0,0017	0,000209
2005	71,50	1,85	-0,09	0,008	-0,0007	0,000065
2006	85,00	1,93	-0,01	0,000	0,0000	0,000000
2007	77,50	1,89	-0,05	0,003	-0,0002	0,000009
2008	77,50	1,89	-0,05	0,003	-0,0002	0,000009
2009	101,50	2,01	0,06	0,004	0,0002	0,000015
2010	97,00	1,99	0,04	0,002	0,0001	0,000003
2011	113,50	2,05	0,11	0,012	0,0014	0,000151
2012	80,50	1,91	-0,04	0,001	-0,0001	0,000002
2013	72,00	1,86	-0,09	0,008	-0,0007	0,000057
2014	64,00	1,81	-0,14	0,019	-0,0026	0,000362
jumlah			0,000	0,153	0,008	0,003

Sumber: Hasil Perhitungan

$$\begin{aligned}
 \text{Rerata } (\bar{X}) \\
 \overline{\text{Log } X} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log X \\
 &= \frac{38,88}{20} \\
 &= 1,94
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Standar Deviasi (S)} \\
 S \overline{\text{Log } X} &= \sqrt{\frac{\sum(\log X - \overline{\log X})^2}{n-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{0,153}{19}} \\
 &= 0,090
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Koefisien Kemencengan (Cs)} \\
 CS &= \frac{n \sum(\log X - \overline{\log X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \\
 &= \frac{20 \times 0,008}{19 \times 18 \times 0,090^3} \\
 &= 0,6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Koefisien Kurtosis (Ck)} \\
 Ck &= \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \sum(\log x - \overline{\log x^4}) \\
 &= \frac{20^2}{(20-1)(20-2)(20-3)0,090^4} \times 0,003 \\
 &= 0,001
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan didapat persamaan ekstrapolasi sebagai berikut :

$$\text{Log } X = 1,94 + 0,090 \cdot K$$

Perhitungan tinggi hujan rencana dengan berbagai periode ulang dengan menggunakan persamaan diatas dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.7 Perhitungan Tinggi Hujan Rencana dengan Berbagai Periode Ulang Metode Log-Person Tipe III

Periode Ulang	K	log Xt	Xt (mm)
2	-0,099	1,935	86,16
5	0,800	2,016	103,72
10	1,328	2,063	115,66
20	1,532	2,081	120,62
50	2,359	2,156	143,08
100	2,755	2,191	155,26

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.8 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tinggi Hujan Rencana

Periode Ulang	Curah Hujan Rencana (mm)		
	Gumbel	Normal	Log Person III
2	86,89	89,80	86,16
5	107,93	106,38	103,72
10	121,86	115,06	115,66
20	135,22	122,16	120,62
50	152,52	130,25	143,08
100	165,48	135,78	155,26

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari beberapa metode di atas selanjutnya dilakukan pemilihan dengan menggunakan parameter C_s dan C_k untuk memilih distribusi yang akan digunakan.

Tabel 4.9 Parameter Cs dan Ck untuk Distribusi Frekwensi Hujan

Jenis Sebaran (Metode)	Syarat Teoritis	Hasil Hitungan	Kesimpulan Syarat
Normal	$C_s = 0$	$C_s = 1,13$	Tidak Memenuhi
	$C_k = 3$	$C_k = 4,76$	
Gumbel	$C_s \leq 1,1396$	$C_s = 1,13$	Memenuhi
	$C_k \leq 5,4002$	$C_k = 4,76$	
Log Person III	$C_s \pm 0$	$C_s = 0,6$	Memenuhi
	$C_k \pm 0$	$C_k = 0.001$	

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan pengujian tersebut maka metode yang cocok digunakan adalah Metode Gumbel dan Metode Log-Person tipe III.

4.3 Uji Kecocokan

Untuk menentukan kecocokan distribusi frekuensi dari sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan distribusi frekuensi tersebut diperlukan pengujian parameter yang akan disajikan pada sub bab ini, adalah sebagai berikut:

4.3.1 Uji Chi Square Test (Chi Kuadrat)

Nomor peringkat, peluang dari periode ulang disajikan dalam tabel 4.10 berikut ini:

Tabel 4.10 Peringkat Peluang Periode Ulang Curah Hujan Bendung Gerak

Tahun	CH rata rata	Tahun	CH rata rata	Peringkat	Peluang
1995	71,00	2014	64,00	1	0,0
1996	106,00	1995	71,00	2	0,1
1997	72,50	2005	71,50	3	0,1
1998	92,50	2013	72,00	4	0,2
1999	97,00	1997	72,50	5	0,2
2000	98,00	2003	75,00	6	0,3
2001	144,00	2007	77,50	7	0,3
2002	84,00	2008	77,50	8	0,4
2003	75,00	2012	80,50	9	0,4
2004	116,00	2002	84,00	10	0,5
2005	71,50	2006	85,00	11	0,5
2006	85,00	1998	92,50	12	0,6
2007	77,50	1999	97,00	13	0,6
2008	77,50	2010	97,00	14	0,7
2009	101,50	2000	98,00	15	0,7
2010	97,00	2009	101,50	16	0,8
2011	113,50	1996	106,00	17	0,8
2012	80,50	2011	113,50	18	0,9
2013	72,00	2004	116,00	19	0,9
2014	64,00	2001	144,00	20	0,95

$$\bar{X} = 89,80$$

$$n = 20$$

$$S = 19,733$$

Perhitungan :

$$G = 1 + 1,37 \ln n$$

$$= 1 + 1,37 \ln 20$$

$$= 5,1 \approx 5 \text{ sub kelompok}$$

$$dk = G - R - 1$$

$$= 5 - 2 - 1$$

$$= 2$$

$\alpha = 5\%$ (derajat kepercayaan)

$X^2_{teoritis} = 5,991$ (didapat dari tabel 2.3)

Berdasarkan peluang data pengamatan maka dijadikan 5 sub bagian dengan interval peluang (P) = 0,20 sehingga besarnya peluang dengan untuk tiap-tiap sub grup adalah sebagai berikut:

Sub Group 1	$P \leq 0,20$
Sub Group 2	$0,20 < P \leq 0,40$
Sub Group 3	$0,40 < P \leq 0,60$
Sub Group 4	$0,60 < P \leq 0,80$
Sub Group 5	$0,80 < P$

a. Uji Chi Kuadrat Distribusi Frekwensi Gumbel

Dengan menggunakan persamaan distribusi frekwensi Gumbel :

$$X = 89,80 + 19,73 \cdot K$$

$$\text{Untuk } P = 1 - 0,20 = 0,80 \longrightarrow K = -0,84$$

$$X = 89,80 + 19,73 \cdot K$$

$$X = 89,80 + 19,73 \cdot (-0,84)$$

$$X = 73,22$$

$$\text{Untuk } P = 1 - 0,40 = 0,60 \longrightarrow K = -0,25$$

$$X = 89,80 + 19,73 \cdot K$$

$$X = 89,80 + 19,73 \cdot (-0,25)$$

$$X = 84,87$$

$$\text{Untuk } P = 1 - 0,60 = 0,40 \longrightarrow K = 0,25$$

$$X = 89,80 + 19,73 \cdot K$$

$$X = 89,80 + 19,73 \cdot (0,25)$$

$$X = 94,73$$

$$\text{Untuk } P = 1 - 0,80 = 0,20 \longrightarrow K = 0,84$$

$$X = 89,80 + 19,73 \cdot K$$

$$X = 89,80 + 19,73 \cdot (0,84)$$

$$X = 106,38$$

Selanjutnya perhitungan uji Chi-Kuadrat, disajikan pada tabel berikut :

Tabel 4.11 Perhitungan Uji Chi-Kuadrat Distribusi Frekwensi Gumbel

No	Nilai Batas				O _i	E _i	(O _i -E _i) ²	X ²
1	Batas 1		X ≤	73,22	5	4	1,00	0,250
2	Batas 2	73,22	< X ≤	84,87	5	4	1,00	0,250
3	Batas 3	84,87	< X ≤	94,73	2	4	4,00	1,000
4	Batas 4	94,73	< X ≤	106,38	5	4	1,00	0,250
5	Batas 5	106,38	< X		3	4	1,00	0,250
Jumlah					20	20		1,75

Sumber : Hasil Hitungan

Kesimpulan :

$$X^2 \text{ teoritis} = 5,991$$

$$X^2 \text{ hitung} = 1,75$$

$X^2 \text{ teoritis} > X^2 \text{ hitung}$ (HIPOTESA DITERIMA)

Maka model distribusi gumbel tersebut dapat diterima.

b. Uji Chi Kuadrat Distribusi Frekwensi Log-Person Tipe III

Dengan menggunakan persamaan distribusi frekwensi Log-Person tipe III.

$$\text{Log } X = 1,94 + 0,090 \cdot K, \text{ maka}$$

$$\text{Untuk } P = 1 - 0,20 = 0,80 \longrightarrow K = -0,84$$

$$X = 1,94 + 0,090 \cdot K$$

$$X = 1,94 + 0,090 \cdot (-0,84)$$

$$X = 1,87$$

$$\text{Untuk } P = 1 - 0,40 = 0,60 \longrightarrow K = -0,25$$

$$X = 1,94 + 0,090 \cdot K$$

$$X = 1,94 + 0,090 \cdot (-0,25)$$

$$X = 1,92$$

$$\text{Untuk } P = 1 - 0,60 = 0,40 \longrightarrow K = 0,25$$

$$X = 1,94 + 0,090 \cdot K$$

$$X = 1,94 + 0,090 \cdot (0,25)$$

$$X = 1,97$$

$$\text{Untuk } P = 1 - 0,80 = 0,20 \longrightarrow K = 0,84$$

$$X = 1,94 + 0,090 \cdot K$$

$$X = 1,94 + 0,090 \cdot (0,84)$$

$$X = 2,02$$

Selanjutnya perhitungan uji Chi-Kuadrat, disajikan pada tabel berikut :

Tabel 4.12 Perhitungan Uji Chi-Kuadrat Distribusi Frekwensi Log-Person tipe III

No	Nilai Batas			O _i	E _i	(O _i -E _i) ²	X ²	
1	Batas 1		X ≤	1,87	5	4	1,00	0,250
2	Batas 2	1,87	< X ≤	1,92	5	4	1,00	0,250
3	Batas 3	1,92	< X ≤	1,97	2	4	4,00	1,000
4	Batas 4	1,97	< X ≤	2,02	4	4	0,00	0,000
5	Batas 5	2,02	< X		4	4	0,00	0,000
Jumlah					20	20		1,5

Sumber : Hasil Perhitungan

Kesimpulan :

$$X^2 \text{ teoritis} = 5,991$$

$$X^2 \text{ hitung} = 1,5$$

$$X^2 \text{ teoritis} > X^2 \text{ hitung (HIPOTESA DITERIMA)}$$

Maka model distribusi Log-Person Tipe III tersebut dapat diterima.

4.3.2 Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov, sering juga disebut uji kecocokan non parametric (non parametric test), karena pengujian ini tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu.

Prosedurnya adalah sebagai berikut:

- 1).Urutkan data pengamatan (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut.
- 2).Tentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya)
- 3).Dari kedua peluang tersebut tentkan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.
 $D = \max [P(X_m) - P'(X_m)]$
- 4).Berdasarkan tabel nilai kritis (Smirnov-Kolmogorov) tentukan harga D_0 .
- 5).Apabila D lebih kecil dari D_0 maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima, apabila D lebih besar D_0 maka distribusi yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima.

Tabel 4.13 Uji Smirnov-Kolmogorov Distribusi Frekwensi Gumbel

x	Peringkat (m)	$P(x) = m/(n+1)$	$P(x<)$	$f(t)$	$P'(x)$	$P'(x<)$	D	
a	b	$c = b/(n+1)$	$d = 1 - c$	$e = (a - X_{rat})/S$	f	$g = 1 - f$	$h = g - d$	
64,00	1	0,05	0,95	-1,31	0,0951	0,90	-0,0475	
71,00	2	0,10	0,90	-0,95	0,1711	0,83	-0,0759	
71,50	3	0,14	0,86	-0,93	0,1762	0,82	-0,0333	
72,00	4	0,19	0,81	-0,90	0,1841	0,82	0,0064	
72,50	5	0,24	0,76	-0,88	0,1894	0,81	0,0487	
75,00	6	0,29	0,71	-0,75	0,2266	0,77	0,0591	
77,50	7	0,33	0,67	-0,62	0,2676	0,73	0,0657	
77,50	8	0,38	0,62	-0,62	0,2676	0,73	0,1134	
80,50	9	0,43	0,57	-0,47	0,3192	0,68	0,1094	
84,00	10	0,48	0,52	-0,29	0,3859	0,61	0,0903	
85,00	11	0,52	0,48	-0,24	0,4052	0,59	0,1186	
92,50	12	0,57	0,43	0,14	0,5557	0,44	0,0157	
97,00	13	0,62	0,38	0,36	0,6406	0,36	-0,0216	
97,00	14	0,67	0,33	0,36	0,6406	0,36	0,0261	
98,00	15	0,71	0,29	0,42	0,6628	0,34	0,0515	
101,50	16	0,76	0,24	0,59	0,7224	0,28	0,0395	
106,00	17	0,81	0,19	0,82	0,7929	0,21	0,0166	
113,50	18	0,86	0,14	1,20	0,8489	0,15	0,0082	
116,00	19	0,90	0,10	1,33	0,9082	0,09	-0,0034	
144,00	20	0,95	0,05	2,75	0,9970	0,00	-0,0446	
							Dmax	0,1186
							D0	0,29

Sumber : Hasil Perhitungan

$$D_{max} = 0,1186$$

$$D_0 = 0,29$$

$D_{max} < D_0 \longrightarrow$ HIPOTESA DITERIMA

Tabel 4.14 Uji Smirnov-Kolmogorov Distribusi Frekwensi Log-Person Tipe III

x	Peringkat (m)	$P(x) = m/(n+1)$	$P(x <)$	f(t)	$P'(x)$	$P'(x <)$	D
a	b	$c = b/(n+1)$	$d = 1 - c$	$e = (a - X_{rat})/S$	f	$g = 1 - f$	$h = g - d$
1,81	1	0,05	0,95	-1,54	0,0618	0,94	-0,0142
1,85	2	0,10	0,90	-1,04	0,1492	0,85	-0,0540
1,85	3	0,14	0,86	-1,00	0,1587	0,84	-0,0158
1,86	4	0,19	0,81	-0,97	0,1660	0,83	0,0245
1,86	5	0,24	0,76	-0,94	0,1736	0,83	0,0645
1,88	6	0,29	0,71	-0,77	0,2206	0,78	0,0651
1,89	7	0,33	0,67	-0,61	0,2709	0,73	0,0624
1,89	8	0,38	0,62	-0,61	0,2709	0,73	0,1101
1,91	9	0,43	0,57	-0,43	0,3336	0,67	0,0950
1,92	10	0,48	0,52	-0,22	0,4129	0,59	0,0633
1,93	11	0,52	0,48	-0,16	0,4364	0,56	0,0874
1,97	12	0,57	0,43	0,25	0,5987	0,40	-0,0273
1,99	13	0,62	0,38	0,48	0,6844	0,32	-0,0654
1,99	14	0,67	0,33	0,48	0,6844	0,32	-0,0177
1,99	15	0,71	0,29	0,53	0,7019	0,30	0,0124
2,01	16	0,76	0,24	0,70	0,7580	0,24	0,0039
2,03	17	0,81	0,19	0,91	0,8186	0,18	-0,0091
2,05	18	0,86	0,14	1,24	0,8925	0,11	-0,0354
2,06	19	0,90	0,10	1,34	0,9099	0,09	-0,0051
2,16	20	0,95	0,05	2,39	0,9916	0,01	-0,0392
Dmax							0,1101
D0							0,29

Sumber : Hasil Perhitungan

$$D_{max} = 0,1101$$

$$D_0 = 0,29$$

$D_{max} < D_0 \longrightarrow$ HIPOTESA DITERIMA

Tabel 4.15 Hasil Uji Chi – Square dan Uji Smirnov – Kolmogorov pada Distribusi Gumbel dan Log Person Tipe III

Metode	Uji Chi-Square	Uji Smirnov
Gumbel	Diterima	Diterima
Log Pearson Tipe III	Diterima	Diterima

Dari kedua uji tersebut dapat disimpulkan bahwa kedua perhitungan hujan rencana yang dapat digunakan adalah distribusi metode Gumbel dan Log Person Tipe III. Sehingga dalam perencanaan dan perhitungan untuk debit banjir rencana digunakan R rencana metode Gumbel.

4.4 Debit Banjir Rencana

Untuk menentukan hidrograf di daerah aliran sungai, dilakukan dengan pendekatan Metode Statistik Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu.

a) Distribusi hujan jam-jaman

Perhitungan distribusi hujan setiap harinya dihitung dengan menggunakan metode Rasional sebagai berikut :

Diketahui data-data sebagai berikut :

- Luas DAS (A) = 537 Km²
- Panjang Sungai (L) = 40 Km
- Koef. Pengaliran (C) = 0,75
- α = 2
- R_o = 1 mm

Perhitungan rata-rata hujan sampai jam ke T :

Rumus yang digunakan :

$$R_o = \frac{R_{24}}{t}$$

$$R_t = R_o \left(\frac{t}{T} \right)^{2/3}$$

Dimana:

- R_0 = hujan harian rerata T (mm)
 R_{24} = curah hujan netto dalam 24 jam (mm)
 R_t = rerata hujan dari awal sampai T (mm)
 T = waktu mulai hujan hingga ke - t (jam)
 t_c = waktu konsentrasi (jam)

Untuk :

$$\begin{aligned}
 t = 1 \text{ jam } R_t &\longrightarrow = \frac{R_{24}}{5} \left(\frac{5}{1}\right)^{2/3} = 0,585 R_{24} \\
 t = 2 \text{ jam } R_t &\longrightarrow = \frac{R_{24}}{5} \left(\frac{5}{2}\right)^{2/3} = 0,5368 R_{24} \\
 t = 3 \text{ jam } R_t &\longrightarrow = \frac{R_{24}}{5} \left(\frac{5}{3}\right)^{2/3} = 0,281 R_{24} \\
 t = 4 \text{ jam } R_t &\longrightarrow = \frac{R_{24}}{5} \left(\frac{5}{4}\right)^{2/3} = 0,232 R_{24} \\
 t = 5 \text{ jam } R_t &\longrightarrow = \frac{R_{24}}{5} \left(\frac{5}{5}\right)^{2/3} = 0,200 R_{24}
 \end{aligned}$$

Curah Hujan pada jam ke - t

Rumus distribusi yang digunakan :

$$R_t' = t R_t - (t - 1)R_{(t-1)}$$

Dimana :

- R_t' = tinggi hujan pada jam ke T (mm)
 t = waktu konsentrasi (jam)
 R_t = rata-rata hujan sampai T (mm)
 $R_{(t-1)}$ = rata-rata hujan dari awal sampai ke T jam (jam)

Untuk :

$$\begin{aligned}
 t = 1 \text{ jam } &\longrightarrow R_t = 0,585 R_{24} \text{ maka :} \\
 R_t' &= 1 \times 0,585 R_{24} - (1 - 1) \times 0 = 0,585 R_{24}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t = 2 \text{ jam } &\longrightarrow R_t = 0,378 R_{24} \text{ maka :} \\
 R_t' &= 2 \times 0,378 R_{24} - (2 - 1) \times 0,585 = 0,171 R_{24}
 \end{aligned}$$

$$t = 3 \text{ jam} \longrightarrow R_t = 0,281 R_{24} \text{ maka :}$$

$$R_t' = 3 \times 0,281 R_{24} - (3 - 1) \times 0,378 = 0,087 R_{24}$$

$$t = 4 \text{ jam} \longrightarrow R_t = 0,232 R_{24} \text{ maka :}$$

$$R_t' = 4 \times 0,232 R_{24} - (4 - 1) \times 0,281 = 0,084 R_{24}$$

$$t = 5 \text{ jam} \longrightarrow R_t = 0,200 R_{24} \text{ maka :}$$

$$R_t' = 5 \times 0,200 R_{24} - (5 - 1) \times 0,232 = 0,072 R_{24}$$

Selanjutnya prosentase hujan tiap jam terhadap tinggi hujan total pada distribusi hujan ditetapkan seperti tabel dibawah ini :

Tabel 4.16 Curah Hujan Jam-Jaman

Jam ke T	Rt'	Distribusi Hujan (%)
1	0,585	59%
2	0,151	15%
3	0,107	11%
4	0,084	8%
5	0,072	7%

Sumber : Hasil Perhitungan

b) Koefisien pengaliran

Berdasarkan pada kondisi daerah dan karakteristik hujan yang jatuh di daerah Bendung Gerak Sembayat yang merupakan wilayah sawah-sawah dan pemukiman, maka koefisien pengalirannya diambil nilai 0,75

c) Hujan efektif

Hujan efektif adalah bagian hujan total yang menghasilkan limpasan langsung (*direct run-off*). Limpasan langsung ini terdiri atas limpasan permukaan (*surface run-off*) dan *interflow* (air yang masuk ke dalam lapisan tipis dibawah permukaan tanah dengan permeabilitas rendah, yang keluar lagi ditempat yang lebih rendah dan berubah menjadi limpasan permukaan).

Dengan menganggap bahwa proses transformasi hujan menjadi limpasan langsung mengikuti proses linier dan tidak berubah oleh waktu, maka hujan efektif (R_n) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$R_n = C \times R$$

Dimana :

R_n = Hujan efektif

C = Koefisien pengaliran

R = Hujan Jam-jaman

Perhitungan hujan efektif dan distribusi hujan jam-jaman selanjutnya seperti dalam tabel di bawah ini :

Tabel 4.17 Distribusi Hujan Jam-Jaman

CH Rencana	R_{2th}	R_{5th}	R_{10th}	R_{20th}	R_{50th}	R_{100th}	
		86,89	107,93	121,86	135,22	152,52	165,48
R_n	65,16	80,95	91,39	101,42	114,39	124,11	
T (Jam)	Distribusi	Hujan Jam-Jaman (mm)					
1	0,585	38,12	47,35	53,47	59,33	66,92	72,61
2	0,151	9,84	12,22	13,80	15,31	17,27	18,74
3	0,107	6,97	8,66	9,78	10,85	12,24	13,28
4	0,084	5,47	6,80	7,68	8,52	9,61	10,43
5	0,072	4,69	5,83	6,58	7,30	8,24	8,94

Sumber : Hasil Perhitungan

d) Hidrograf satuan sintetik nakayasu

Untuk penentuan hidrograf satuan Metode Nakayasu dalam penerapannya memerlukan karakteristik parameter daerah alirannya sebagai berikut :

- a. Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak hidrograf (*time to peak magnitude*)
- b. Tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf (*time long*)
- c. Tenggang waktu hidrograf (*time base of hydrograph*)
- d. Luas Daerah Aliran sungai (*catchment area*)
- e. Panjang alur sungai utama terpanjang (*length of the longest channel*)
- f. Koefisien pengaliran

Rumus hidrograf satuan Nakayasu adalah :

$$Q_p = \frac{C A R_0}{3,6 (0,3 T_p + T_{0,3})}$$

Dimana :

Q_p = Debit puncak banjir ($m^3/detik$)

R_0 = Hujan satuan (mm)

T_p = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai banjir (mm)

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

C = Koefisien pengaliran

- a. Bagian lengkung naik (rising limb) hidrograf satuan (lihat gambar) mempunyai persamaan :

$$Q_a = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4}$$

Dimana :

Q_a = Limpasan sebelum mencapai debit puncak ($m^3/detik$)

t = Waktu (jam)

b. Bagian lengkung turun (decreasing limb)

$$Q_d > 0,3 Q_p : Q_d = 0,3 \text{ pangkat } \frac{t-T_p}{T_{0,3}}$$

$$0,3 Q_p > Q_d > 0,3^2 Q_p :$$

$$Q_d = Q_p \cdot 0,3 \text{ pangkat } \frac{t-T_p+0,5 T_{0,3}}{1,5 T_{0,3}}$$

$$0,3^2 Q_p > Q_d : Q_d = 0,3 \text{ pangkat } \frac{t-T_p+0,5 T_{0,3}}{2 T_{0,3}}$$

$$\text{Tenggang waktu } T_p = T_g + 0,8 T_r$$

Bila :

$$\triangleright L > 15 \text{ km} \rightarrow T_g = (0,40) \cdot (0,058)$$

$$\triangleright L < 15 \text{ km} \rightarrow T_g = 0,1 L^{0,7}$$

$$T_r = 0,5 t_g \text{ sampai } t_g \text{ (jam)}$$

$$T_{0,3} = \alpha \cdot t_g \text{ (jam)}$$

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

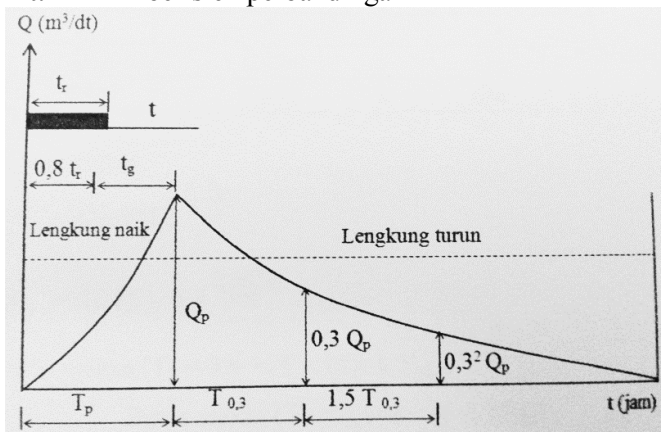
Dimana :

L = Panjang sungai (Km)

T_g = Waktu konsentrasi pada daerah pengalir (Jam)

T_r = Satuan waktu hujan atau time duration (Jam)

α = Koefisien perbandingan



Gambar 4.1 Hidrograf Satuan Sintetik

Untuk daerah pengaliran biasa $\alpha = 2$

Untuk bagian naik hidrograf yang lambat dan bagian menurun yang cepat $\alpha = 1,5$

Untuk bagian yang naik hidrograf yang cepat dan bagian menurun yang lambat $\alpha = 3$

Data-data bendung gerak sembayat :

- Luas DAS (A) = 537 Km²
- Panjang Sungai (L) = 40 Km
- Koef. Pengaliran (C) = 0,75
- α = 2
- Ro = 1 mm

Perhitungan :

a. Time lag (tg) : waktu antara hujan sampai debit puncak banjir untuk sungai yang mempunyai panjang > 15 Km

$$\begin{aligned} Tg &= 0,4 + 0,058 \cdot L \\ &= 2,72 \text{ jam} \end{aligned}$$

b. Satuan waktu hujan (Tr), ditentukan dengan rumus:

$$\begin{aligned} Tr &= 1 \times Tg \\ &= 0,5 \cdot Tg \\ &= 1,36 \text{ jam} \end{aligned}$$

c. Tenggang waktu permulaan hujan sampai puncak banjir (Tp) dengan rumus :

$$\begin{aligned} Tp &= Tg + 0,8 Tr \\ &= 2,72 + 0,8 \cdot 1,36 \\ &= 3,81 \text{ jam} \end{aligned}$$

d. Penurunan debit puncak dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_{0,3} &= \alpha \times Tg \\ &= 2 \cdot 2,72 \\ &= 5,44 \text{ jam} \end{aligned}$$

Menghitung debit puncak dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{C A R_0}{3,6 (0,3 T_p + T_{0,3})}$$

$$Q_p = \frac{0,75 \times 537 \times 1}{3,6 (0,3 \times 3,81 + 5,44)} = 17,00 \text{ m}^3/\text{det}$$

Perhitungan kurva

• Kurva naik :

$$Q_a = \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4}$$

$$Q_a = \left(\frac{t}{3,81} \right)^{2,4} \\ = 17,00 \text{ m}^3/\text{det}$$

Batas waktu (T) = $0 < T < T_p$

$0 < T < 3,81$

t (jam)	Debit (m ³ /det)
0	0,00
1	0,69
2	3,62
3	9,59
3,81	17,00

• Kurva turun :

$$Q_{d1} = Q_p \cdot 0,3 \frac{t-T_p}{T_{0,3}}$$

$$Q_{d1} = 17,00 \times 0,3 \frac{9,25-3,81}{5,44} \\ = 5,10 \text{ m}^3/\text{det}$$

Batas waktu (T) = $T_p < T < (T_p + T_{0,3})$

$3,81 < T < 9,25$

t (jam)	Debit (m ³ /det)
4	16,29
5	13,05
6	10,46
7	8,39
8	6,72
9	5,39
9,25	5,10

• Kurva turun :

$$Q_{d2} = 0,3 \left(\frac{t - T_p + 0,5 T_{0,3}}{1,5 T_{0,3}} \right) \times Q_p$$

$$Q_{d2} = 1,53 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$\text{Batas waktu (T)} = (T_p + T_{0,3}) < T < (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$$

$$9,25 < T < 17,41$$

t (jam)	Debit (m ³ /det)
10	4,56
11	3,94
12	3,40
13	2,93
14	2,53
15	2,18
16	1,88
17	1,62
17,41	1,53

- Kurva turun :

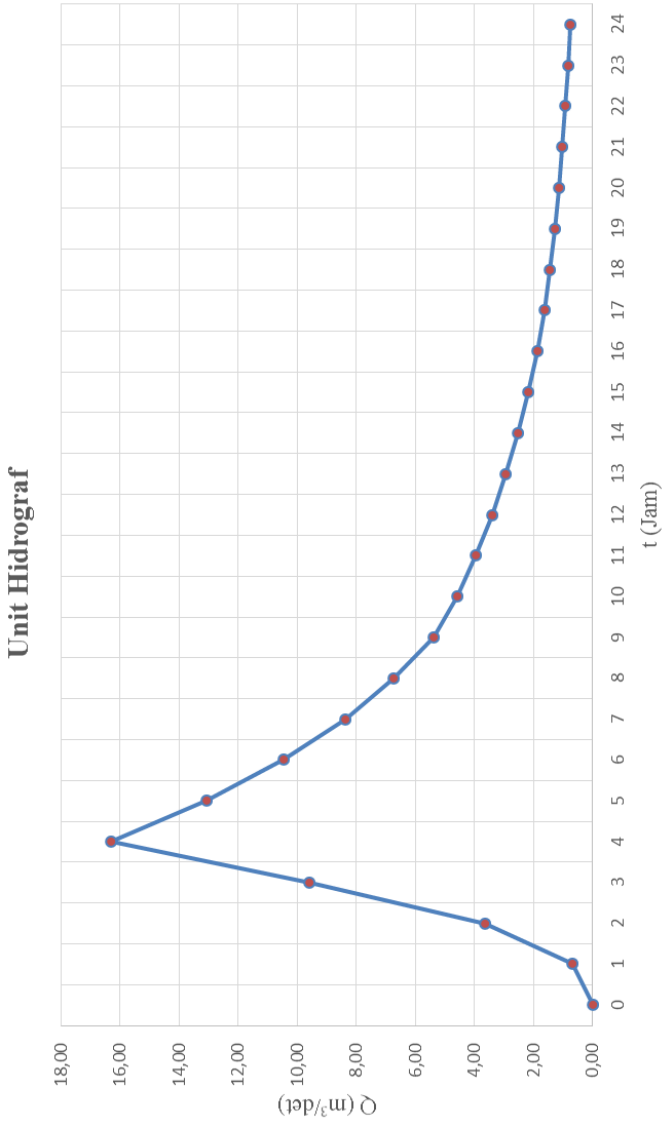
$$Q_{d2} = 0,3 \left(\frac{t - T_p + 0,5 T_{0,3}}{1,5 T_{0,3}} \right) \times Q_p$$

$$Q_{d2} = 1,53 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$\text{Batas waktu (T)} = T > (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$$

$$T > 17,41$$

t (jam)	Debit (m ³ /det)
18	1,43
19	1,28
20	1,15
21	1,03
22	0,92
23	0,82
24	0,74



Gambar 4.2 Unit Hidrograf Nakayasu

Tabel 4.18 Hidrograf Banjir Rencana $Q_{2\text{tahun}}$ Metode Nakyasu

T (Jam)	Unit	Hujan Rencana 2 tahun					Q (m^3/det)
	Hidrograf	R _{1jam}	R _{2jam}	R _{3jam}	R _{4jam}	R _{5jam}	
	Q (m^3/det)	38,12	9,84	6,97	5,47	4,69	
0	0,00	0,00	-				0,00
1	0,69	26,17	0,00	-			26,17
2	3,62	138,14	6,76	0,00	-		144,89
3	9,59	365,54	35,66	4,79	0,00	-	405,98
4	16,29	620,95	94,35	25,27	3,76	0,00	744,33
5	13,05	497,67	160,28	66,86	19,84	3,22	747,87
6	10,46	398,86	128,46	113,58	52,49	17,00	710,39
7	8,39	319,67	102,95	91,03	89,16	44,99	647,81
8	6,72	256,21	82,51	72,95	71,46	76,43	559,56
9	5,39	205,34	66,13	58,47	57,27	61,25	448,47
10	4,56	173,96	53,00	46,86	45,90	49,09	368,82
11	3,94	150,10	44,90	37,56	36,79	39,34	308,69
12	3,40	129,51	38,74	31,82	29,48	31,53	261,09
13	2,93	111,74	33,43	27,45	24,98	25,27	222,87
14	2,53	96,41	28,84	23,69	21,55	21,41	191,91
15	2,18	83,19	24,89	20,44	18,60	18,47	165,58
16	1,88	71,78	21,47	17,63	16,04	15,94	142,87
17	1,62	61,93	18,53	15,22	13,84	13,75	123,27
18	1,43	54,61	15,99	13,13	11,94	11,87	107,54
19	1,28	48,89	14,10	11,33	10,31	10,24	94,86
20	1,15	43,77	12,62	9,99	8,89	8,83	84,11
21	1,03	39,19	11,30	8,94	7,84	7,62	74,89
22	0,92	35,08	10,11	8,01	7,02	6,72	66,94
23	0,82	31,41	9,06	7,17	6,29	6,02	59,93
24	0,74	28,12	8,11	6,42	5,63	5,39	53,65

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.19 Hidrograf Banjir Rencana $Q_{5\text{tahun}}$ Metode Nakyasu

T (Jam)	Unit	Hujan Rencana 5 tahun					Q (m^3/det)
	Hidrograf	R _{1jam}	R _{2jam}	R _{3jam}	R _{4jam}	R _{5jam}	
	Q (m^3/det)	47,35	12,22	8,66	6,80	5,83	
0	0,00	0,00	-				0,00
1	0,69	32,51	0,00	-			32,51
2	3,62	171,59	8,39	0,00	-		179,98
3	9,59	454,06	44,29	5,95	0,00	-	504,30
4	16,29	771,34	117,20	31,39	4,67	0,00	924,59
5	13,05	618,20	199,10	83,05	24,64	4,00	928,98
6	10,46	495,46	159,57	141,08	65,20	21,12	882,43
7	8,39	397,09	127,89	113,07	110,76	55,88	804,69
8	6,72	318,25	102,50	90,62	88,77	94,93	695,07
9	5,39	255,07	82,15	72,63	71,14	76,09	557,08
10	4,56	216,09	65,84	58,21	57,02	60,98	458,14
11	3,94	186,45	55,78	46,65	45,70	48,87	383,45
12	3,40	160,87	48,13	39,52	36,63	39,17	324,31
13	2,93	138,80	41,52	34,10	31,03	31,39	276,85
14	2,53	119,76	35,83	29,42	26,77	26,60	238,38
15	2,18	103,33	30,91	25,39	23,10	22,95	205,68
16	1,88	89,16	26,67	21,91	19,93	19,80	177,47
17	1,62	76,93	23,01	18,90	17,20	17,08	153,12
18	1,43	67,84	19,86	16,31	14,84	14,74	133,58
19	1,28	60,73	17,51	14,07	12,80	12,72	117,84
20	1,15	54,37	15,68	12,41	11,05	10,97	104,48
21	1,03	48,68	14,03	11,11	9,74	9,47	93,03
22	0,92	43,58	12,56	9,94	8,72	8,35	83,16
23	0,82	39,01	11,25	8,90	7,81	7,47	74,45
24	0,74	34,93	10,07	7,97	6,99	6,69	66,65

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.20 Hidrograf Banjir Rencana $Q_{10\text{tahun}}$ Metode Nakyasu

T (Jam)	Unit Hidrograf	Hujan Rencana 10 tahun					Q (m^3/det)
		R _{1jam}	R _{2jam}	R _{3jam}	R _{4jam}	R _{5jam}	
	Q (m^3/det)	53,47	13,80	9,78	7,68	6,58	
0	0,00	0,00	-				0,00
1	0,69	36,71	0,00	-			36,71
2	3,62	193,74	9,47	0,00	-		203,22
3	9,59	512,68	50,01	6,71	0,00	-	569,40
4	16,29	870,90	132,33	35,44	5,27	0,00	1043,94
5	13,05	697,99	224,80	93,77	27,82	4,52	1048,90
6	10,46	559,42	180,17	159,29	73,61	23,85	996,34
7	8,39	448,35	144,40	127,67	125,05	63,10	908,57
8	6,72	359,34	115,73	102,32	100,22	107,19	784,80
9	5,39	287,99	92,75	82,01	80,33	85,91	628,98
10	4,56	243,98	74,34	65,72	64,38	68,85	517,27
11	3,94	210,51	62,98	52,68	51,60	55,18	432,94
12	3,40	181,64	54,34	44,63	41,35	44,23	366,18
13	2,93	156,72	46,88	38,50	35,03	35,45	312,59
14	2,53	135,22	40,45	33,22	30,23	30,03	269,15
15	2,18	116,67	34,90	28,66	26,08	25,91	232,23
16	1,88	100,67	30,12	24,73	22,50	22,36	200,37
17	1,62	86,86	25,98	21,34	19,42	19,29	172,89
18	1,43	76,60	22,42	18,41	16,75	16,64	150,83
19	1,28	68,57	19,77	15,89	14,45	14,36	133,05
20	1,15	61,39	17,70	14,01	12,47	12,39	117,96
21	1,03	54,96	15,85	12,54	11,00	10,69	105,04
22	0,92	49,20	14,19	11,23	9,85	9,43	93,89
23	0,82	44,05	12,70	10,05	8,81	8,44	84,05
24	0,74	39,43	11,37	9,00	7,89	7,56	75,25

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.21 Hidrograf Banjir Rencana Q_{20tahun} Metode Nakyasu

T (Jam)	Unit	Hujan Rencana 20 tahun					Q (m ³ /det)
	Hidrograf	R _{1jam}	R _{2jam}	R _{3jam}	R _{4jam}	R _{5jam}	
	Q (m ³ /det)	59,33	15,31	10,85	8,52	7,30	
0	0,00	0,00	-				0,00
1	0,69	40,73	0,00	-			40,73
2	3,62	214,99	10,51	0,00	-		225,50
3	9,59	568,90	55,49	7,45	0,00	-	631,84
4	16,29	966,41	146,84	39,32	5,85	0,00	1158,42
5	13,05	774,54	249,45	104,05	30,87	5,01	1163,93
6	10,46	620,76	199,92	176,76	81,69	26,46	1105,60
7	8,39	497,52	160,23	141,67	138,77	70,02	1008,20
8	6,72	398,74	128,42	113,54	111,22	118,94	870,86
9	5,39	319,58	102,92	91,00	89,14	95,33	697,96
10	4,56	270,74	82,49	72,93	71,44	76,40	574,00
11	3,94	233,60	69,88	58,45	57,26	61,23	480,42
12	3,40	201,56	60,30	49,52	45,89	49,08	406,34
13	2,93	173,91	52,03	42,73	38,88	39,33	346,87
14	2,53	150,05	44,89	36,87	33,54	33,32	298,67
15	2,18	129,47	38,73	31,81	28,94	28,75	257,70
16	1,88	111,71	33,42	27,45	24,97	24,81	222,35
17	1,62	96,38	28,83	23,68	21,55	21,40	191,85
18	1,43	85,00	24,88	20,43	18,59	18,47	167,37
19	1,28	76,09	21,94	17,63	16,04	15,93	147,64
20	1,15	68,12	19,64	15,55	13,84	13,75	130,90
21	1,03	60,99	17,58	13,92	12,20	11,86	116,56
22	0,92	54,60	15,74	12,46	10,93	10,46	104,19
23	0,82	48,88	14,09	11,15	9,78	9,37	93,27
24	0,74	43,76	12,62	9,99	8,76	8,38	83,50

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.22 Hidrograf Banjir Rencana Q_{50tahun} Metode Nakyasu

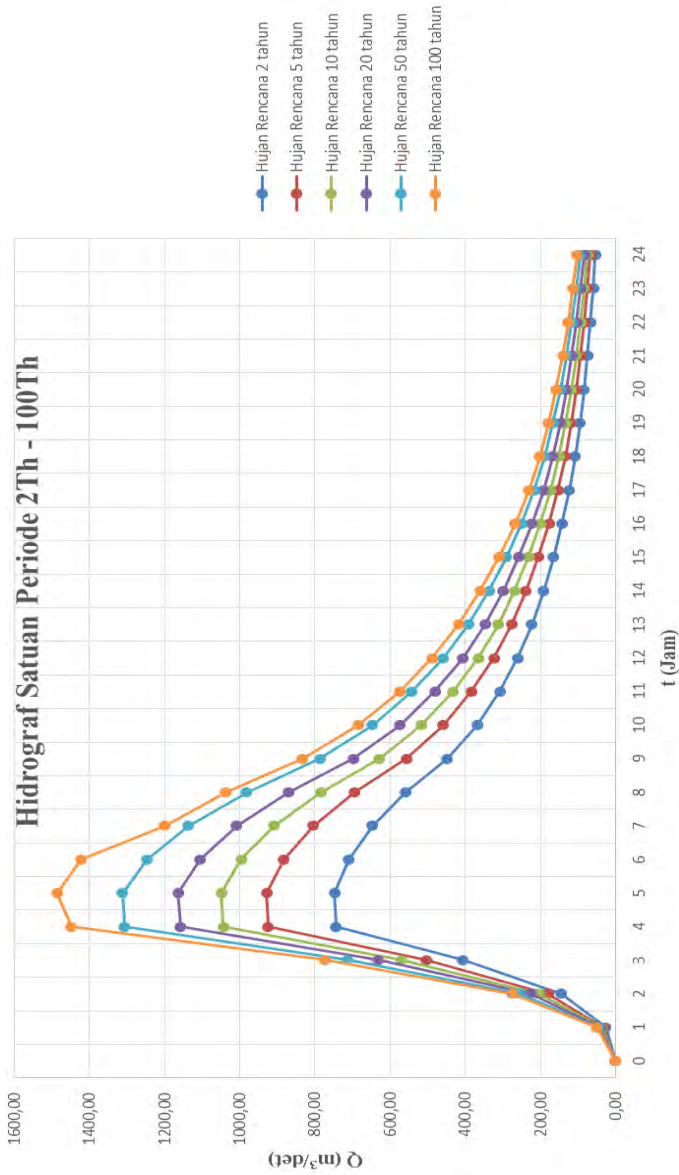
T (Jam)	Unit	Hujan Rencana 50 tahun					Q (m ³ /det)
	Hidrograf	R _{1jam}	R _{2jam}	R _{3jam}	R _{4jam}	R _{5jam}	
	Q (m ³ /det)	66,92	17,27	12,24	9,61	8,24	
0	0,00	0,00	-				0,00
1	0,69	45,94	0,00	-			45,94
2	3,62	242,49	11,86	0,00	-		254,35
3	9,59	641,67	62,59	8,40	0,00	-	712,67
4	16,29	1090,03	165,63	44,35	6,60	0,00	1306,61
5	13,05	873,62	281,36	117,37	34,82	5,65	1312,82
6	10,46	700,17	225,50	199,37	92,14	29,84	1247,03
7	8,39	561,16	180,73	159,79	156,52	78,97	1137,17
8	6,72	449,75	144,85	128,07	125,44	134,16	982,26
9	5,39	360,46	116,09	102,64	100,54	107,52	787,24
10	4,56	305,37	93,04	82,26	80,58	86,18	647,43
11	3,94	263,48	78,82	65,93	64,58	69,07	541,88
12	3,40	227,34	68,01	55,85	51,76	55,35	458,31
13	2,93	196,15	58,68	48,19	43,85	44,36	391,24
14	2,53	169,24	50,63	41,58	37,83	37,58	336,87
15	2,18	146,03	43,69	35,88	32,64	32,43	290,66
16	1,88	126,00	37,69	30,96	28,17	27,98	250,79
17	1,62	108,71	32,52	26,71	24,30	24,14	216,39
18	1,43	95,87	28,06	23,05	20,97	20,83	188,78
19	1,28	85,83	24,75	19,88	18,09	17,97	166,52
20	1,15	76,84	22,15	17,54	15,61	15,51	147,64
21	1,03	68,79	19,83	15,70	13,77	13,38	131,47
22	0,92	61,58	17,76	14,05	12,32	11,80	117,51
23	0,82	55,13	15,90	12,58	11,03	10,56	105,20
24	0,74	49,36	14,23	11,26	9,88	9,46	94,18

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.23 Hidrograf Banjir Rencana $Q_{100\text{tahun}}$ Metode Nakyasu

T (Jam)	Unit Hidrograf	Hujan Rencana 100 tahun					Q (m^3/det)
		$R_{1\text{jam}}$	$R_{2\text{jam}}$	$R_{3\text{jam}}$	$R_{4\text{jam}}$	$R_{5\text{jam}}$	
	Q (m^3/det)	72,61	18,74	13,28	10,43	8,94	
0	0,00	0,00	-				0,00
1	0,69	49,85	0,00	-			49,85
2	3,62	263,10	12,87	0,00	-		275,97
3	9,59	696,20	67,91	9,12	0,00	-	773,23
4	16,29	1182,67	179,70	48,12	37,78	0,00	1448,28
5	13,05	947,87	305,27	127,34	99,97	6,14	1486,58
6	10,46	759,68	244,66	216,32	169,82	32,38	1422,86
7	8,39	608,85	196,09	173,37	136,10	85,69	1200,10
8	6,72	487,97	157,16	138,95	109,08	145,56	1038,72
9	5,39	391,09	125,96	111,36	87,42	116,66	832,49
10	4,56	331,32	100,95	89,25	70,07	93,50	685,09
11	3,94	285,87	85,52	71,53	56,16	74,94	574,02
12	3,40	246,66	73,79	60,60	47,57	60,06	488,68
13	2,93	212,82	63,67	52,29	41,05	48,13	417,96
14	2,53	183,63	54,93	45,12	35,42	40,78	359,87
15	2,18	158,44	47,40	38,93	30,56	35,18	310,51
16	1,88	136,70	40,90	33,59	26,37	30,36	267,91
17	1,62	117,95	35,29	28,98	22,75	26,19	231,16
18	1,43	104,02	30,45	25,00	19,63	22,60	201,70
19	1,28	93,12	26,85	21,57	16,94	19,50	177,98
20	1,15	83,37	24,04	19,03	14,94	16,83	158,19
21	1,03	74,63	21,52	17,03	13,37	14,52	141,07
22	0,92	66,82	19,26	15,25	11,97	12,80	126,10
23	0,82	59,82	17,25	13,65	11,97	11,46	114,14
24	0,74	53,55	15,44	12,22	10,72	10,26	102,19

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.3 Hidrograf Banjir Rencana Nakayasu

Debit banjir rencana dengan periode ulang T tahun dengan menggunakan Metode Nakayasu adalah sebagai berikut :

Tabel 4.24 Hasil Perhitungan Debit Banjir Rencana dengan Metode Nakayasu

Tahun	Hujan Rencana (mm)	Debit Rencana (m^3/det)
2	86,89	747,87
5	107,93	928,98
10	121,86	1.048,90
20	135,22	1.163,93
50	152,52	1.312,82
100	165,48	1.486,58

Dari perhitungan debit banjir rencana metode hidrograf Nakayasu untuk debit banjir rencana maksimum diambil periode 50 tahun sebesar 1312,82 m^3/det .

4.5 Perhitungan Debit Model FJ.Mock

4.5.1 Analisa Curah Hujan

Nilai hujan bulanan (P) didapat dari pencatatan data hujan bulanan (mm) jumlah hari hujan pada bulan yang bersangkutan (h).

Tabel 4.25 Data Hujan dan Hari Hujan

Bulan	Data hujan	
	Curah hujan (P)	Hari hujan (h)
	mm/bulan	
Januari	227	15
Februari	179	12
Maret	215	16
April	278	15
Mei	22	3
Juni	56	3
Juli	8	2
Agustus	42	2
September	41	5
Oktober	82	9
Nopember	107	9
Desember	319	20

4.5.2 Perhitungan Evapotranspirasi

Evapotranspirasi terbatas adalah evapotranspirasi aktual dengan mempertimbangkan kondisi vegetasi dan permukaan tanah sehingga didapat persamaannya sebagai berikut :

$$ET_o = C \{W \times R_n + (1 - W) \times f(u) \times (e_a - e_d)\}$$

Dimana :

E_{to} = Evapotranspirasi potensial (mm/hari)

C = Faktor koreksi

W = Faktor bobot

R_n = Radiasi netto (mm/hari)

$f(u)$ = Fungsi kecepatan angin (km/hari)

$(e_a - e_d)$ = Perbedaan tekanan uap air jenuh dengan tekanan uap air nyata (mbar)

Contoh perhitungan evapotranspirasi

➤ Tekanan uap jenuh (ea)

Diketahui temperatur pada bulan Januari 2005 = 29,90 °C

Temperatur awal = 29,00 → 40,10 mbar

Temperatur akhir = 30,00 → 42,40 mbar

$$ea = \frac{(29,00 - 29,00) \times (42,40 - 40,10)}{30,00 - 29,00}$$

$$ea = 42,17 \text{ mbar}$$

➤ Tekanan uap nyata (ed)

$$\begin{aligned} ed &= \frac{ea \times RH}{100} \\ &= \frac{42,17 \times 96,40}{100} \\ &= 40,65 \text{ mbar} \end{aligned}$$

➤ Perbedaan tekanan uap (ea-ed)

$$\begin{aligned} \Delta e &= ea - ed \\ &= 42,17 \text{ mbar} - 40,65 \text{ mbar} \\ &= 1,52 \text{ mbar} \end{aligned}$$

➤ Fungsi angin (f(u))

$$f(u) = 0,27 \left(1 + \frac{U2}{100} \right)$$

$$U2 = U \times 1,06$$

Dimana :

U2 = Kecepatan angin pada ketinggian 1,5 m di atas permukaan tanah (m/dt)

Karena ketinggian tempat pengukuran adalah 1,5 m, maka dihitung:

$$U2 = U \times 1,06$$

$$U2 = 23,20 \times 1,06$$

$$= 24,59 \text{ km/hari}$$

Lalu dapat dihitung $f(u)$:

$$f(u) = 0,27 \left(1 + \frac{U^2}{100} \right)$$

$$f(u) = 0,27 \left(1 + \frac{24,59 \frac{\text{km}}{\text{hari}}}{100} \right)$$

$$= 0,336 \text{ km/hari}$$

➤ Faktor pembobot (W)

Dengan temperatur bulan Januari 2005 = 29,90 °C

Temperatur awal = 29,00 → 0,78 mm/hari

Temperatur akhir = 30,00 → 0,78 mm/hari

$$W = \frac{(29,00 - 29,00) \times (0,78 - 0,78)}{30,00 - 29,00}$$

$$W = 0,785 \text{ mm/hari}$$

➤ Radiasi Terrestrial Ekstra (Ra)

Menggunakan tabel Extra terrestrial Radiation (Ra) Expressed in equivalent Evaporation in mm/day. Dengan koordinat stasiun klimatologi padangan 7°9'51,06" maka didapat Ra bulan januari adalah 15,95 mm/hari.

➤ Radiasi Sinar Matahari (Rs)

Dihitung dengan rumus:

$$R_s = R_a \times \left(0,25 + 0,5 \times \frac{n/N}{100} \right)$$

$$R_s = 15,95 \text{ mm/hari} \left(0,25 + 0,50 \times \frac{31,36}{100} \right)$$

$$= 6,46 \text{ mm/hari}$$

➤ Radiasi gelombang pendek netto (Rns)

$$\alpha = 0,25$$

$$R_{ns} = R_s \times (1 - \alpha)$$

$$= 6,46 \times (1 - 0,25)$$

$$= 4,84 \text{ mm/hari}$$

➤ Efek radiasi gelombang panjang (Rnl)

- $f(T) = 2 \times 10^{-9} \times (T + 273,16)^4$
 $f(T) = 2 \times 10^{-9} \times (29,90 + 273,16)^4$
 $= 16,87$
- $f(ed) = 0,34 - 0,044 \times ed^{0,5}$
 $f(ed) = 0,34 - 0,044 \times 40,65^{0,5}$
 $= 0,06$
- $f(n/N) = 0,1 + 0,9 \times (n/N)$
 $f(n/N) = 0,1 + 0,9 \times (0,31)$
 $= 0,38$

Maka Rnl dapat dihitung dengan rumus:

$$\begin{aligned} Rnl &= f(T) \times f(ed) \times f(n/N) \\ &= 16,87 \times 0,06 \times 0,31 \\ &= 0,38 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

➤ Radiasi netto (Rn)

$$Rn = Rns - Rnl$$

$$Rn = 4,46 \text{ mm/hari}$$

➤ Faktor koreksi (C)

Menggunakan tabel *adjustment factor (C) in presented penman equation* dan diinterpolasikan sesuai dengan RH max = 90% dan nilai Rs

Tabel 4.2 *adjustment factor (C) in presented penman equation*

$$Rs \text{ awal} = 6$$

$$Rs \text{ akhir} = 9$$

$$C \text{ awal} = 1,06$$

$$C \text{ akhir} = 1,1$$

$$C = \frac{(Rs - Rs \text{ awal}) \times (C \text{ akhir} - C \text{ awal})}{Rs \text{ akhir} - Rs \text{ awal}} + C \text{ awal}$$

$$C = \frac{(6,46) \times (1,1 - 1,06)}{9 - 6} + 6$$

$$C = 1,07$$

➤ Evapotranspirasi

$$ET_o = C \{WxR_n + (1 - W) \times f(u)(e_a - e_d)\} \times 31 \text{ hari}$$

$$ET_o = 1,07 \{0,785 \times 4,46 + (1 - 0,785) \times 0,336 \times (42,17 - 40,65)\} \times 31$$

$$ET_o = 119,39 \text{ mm/bulan}$$

Selanjutnya untuk mempermudah, perhitungan evapotranspirasi disajikan dalam bentuk tabel seperti dibawah ini :

Tabel 4.26 Perhitungan Evapotranspirasi Tahun 2005

No	DATA BULANAN	Satuan	B U L A N											
			Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agust	Sept	Okt	Nop	Des
1	Temperatur ; T	(°C)	29,90	29,10	29,10	28,00	92,30	97,60	97,80	97,80	98,10	98,70	98,10	96,20
2	Kelembaban udara relatif ; Rh	(%)	96,40	94,10	96,60	95,20	92,30	97,60	97,80	97,80	98,10	98,70	98,10	96,20
3	Lama jam penyinaran ; n/N	(%)	31,00	51,00	42,90	52,90	63,10	51,80	12,00	48,90	31,80	59,67	56,03	40,18
4	Kecepatan angin ; U	(Km/Jam)	23,20	25,20	26,20	26,50	31,50	31,90	24,20	24,20	20,40	26,20	23,50	26,70
5	Kecepatan angin ; U	(m/detik)	6,44	7,00	7,28	7,36	8,75	8,86	6,72	6,72	5,67	7,28	6,53	7,42
PERHITUNGAN														
6	Tekanan uap jenuh ; ea	(mbar)	42,17	40,33	40,33	37,60	39,85	27,25	37,60	37,60	49,49	37,60	36,84	39,60
7	Tekanan uap nyata ; ed	(mbar)	40,65	37,95	38,96	35,80	36,78	26,60	36,77	36,77	48,55	37,11	36,14	38,10
8	Perbedaan tekanan uap ; ea - ed	(mbar)	1,52	2,38	1,37	1,80	3,07	0,65	0,83	0,83	0,94	0,49	0,70	1,50
9	Fungsi angin ; $f(U) = 0,27 * (1 + U^2/100)$	(km/hari)	0,336	0,342	0,345	0,346	0,360	0,361	0,339	0,339	0,328	0,345	0,337	0,346
10	Faktor pembobot U & RH ; (w)		0,785	0,781	0,781	0,775	0,789	0,725	0,775	0,775	0,817	0,775	0,776	0,779
11	Radiasi Terrestrial Ekstra ; Ra	(mm/hari)	15,95	16,05	15,55	14,55	13,25	12,60	12,90	13,85	14,95	15,75	15,90	15,85
12	Radiasi sinar matahari ; Rs	(mm/hari)	6,46	8,11	5,42	7,49	7,49	6,41	4,00	6,85	6,11	7,69	8,20	8,48
13	Radiasi gelombang pendek netto ; Rns	(mm/hari)	4,84	6,08	5,42	5,61	5,62	4,81	3,00	5,14	4,59	5,77	6,15	6,36
14	Efek radiasi gelombang panjang :													
	a. f(T)		16,87	16,69	16,69	16,45	16,65	15,28	16,45	16,45	17,50	16,45	16,36	16,63
	b. f(ed)		0,06	0,07	0,07	0,08	0,07	0,11	0,07	0,07	0,03	0,07	0,08	0,07
	c. f(n/N)		0,38	0,56	0,49	0,58	0,67	0,57	0,21	0,54	0,39	0,53	0,58	0,61
15	Radiasi gelombang panjang netto ; Rnl													
	$f(T) \times f(ed) \times f(n/N)$	(mm/hari)	0,38	0,64	0,62	0,69	0,81	0,98	0,25	0,65	0,23	0,63	0,72	0,70
16	Radiasi netto (mm/hari) ; Rn	(mm/hari)	4,46	5,44	4,79	4,92	4,81	3,83	2,75	4,49	4,36	5,14	5,44	5,66
17	Faktor koreksi ; C		1,07	1,09	1,08	1,08	1,06	1,06	1,03	1,07	1,06	1,06	1,06	1,06
18	Evapotranspirasi ; $ETo = C \{W.Rn + (1-W) \times f(u) \times (ea - ed)\}$	(mm/hari)	119,39	149,13	130,73	131,48	132,27	93,42	70,26	117,57	119,08	132,24	140,41	148,73

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.27 Perhitungan Evapotranspirasi Tahun 2006

No	DATA BULANAN	Satuan	B U L A N												
			Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agust	Sept	Okt	Nop	Des	
1	Temperatur ; T	(°C)	26,80	26,40	29,00	28,80	94,20	99,90	94,90	98,90	98,30	99,40	98,40	98,00	
2	Kelembaban udara relatif ; Rh	(%)	93,40	93,10	93,10	94,60	94,20	99,90	94,90	98,90	98,30	99,40	98,40	98,00	
3	Lama jam penyinaran ; n/N	(%)	60,80	64,80	76,29	70,10	87,60	68,10	65,30	68,30	73,17	59,67	56,03	40,18	
4	Kecepatan angin ; U	(Km/Jam)	34,80	41,70	47,50	43,50	21,91	21,22	38,40	52,10	54,30	63,83	53,51	15,17	
5	Kecepatan angin ; U	(m/detik)	9,67	11,58	13,19	12,08	6,09	5,89	10,67	14,47	15,08	17,73	14,86	4,21	
PERHITUNGAN															
6	Tekanan uap jenuh ; ea	(mbar)	35,28	34,44	40,10	39,60	38,35	37,22	35,89	46,52	39,60	41,94	43,15	38,85	
7	Tekanan uap nyata ; ed	(mbar)	32,95	32,06	37,33	37,46	36,13	37,18	34,06	46,01	38,93	41,69	42,46	38,07	
8	Perbedaan tekanan uap ; ea - ed	(mbar)	2,33	2,38	2,77	2,14	2,22	0,04	1,83	0,51	0,67	0,25	0,69	0,78	
9	Fungsi angin ; $f(U) = 0,27 * (1 + U^2/100)$	(km/hari)	0,370	0,389	0,406	0,394	0,333	0,331	0,380	0,419	0,425	0,453	0,423	0,313	
10	Faktor pembobot U & RH ; (w)		0,768	0,764	0,780	0,779	0,783	0,778	0,771	0,806	0,779	0,784	0,793	0,778	
11	Radiasi Terrestrial Ekstra ; Ra	(mm/hari)	15,95	16,05	15,55	14,55	13,25	12,60	12,90	13,85	14,95	15,75	15,90	15,85	
12	Radiasi sinar matahari ; Rs	(mm/hari)	8,84	9,21	7,36	8,74	9,12	7,44	7,44	8,19	9,21	9,51	8,54	5,00	
13	Radiasi gelombang pendek netto ; Rns	(mm/hari)	6,63	6,91	7,36	6,55	6,84	5,58	5,58	6,14	6,91	7,13	6,40	3,75	
14	Efek radiasi gelombang panjang :														
	a. f(T)		16,19	16,11	16,67	16,63	16,52	16,41	16,26	17,25	16,63	16,85	16,96	16,56	
	b. f(ed)		0,09	0,09	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08	0,04	0,07	0,06	0,05	0,07	
	c. f(n/N)		0,65	0,68	0,79	0,73	0,89	0,71	0,69	0,71	0,76	0,74	0,62	0,22	
15	Radiasi gelombang panjang netto ; Rnl														
	$f(T) \times f(ed) \times f(n/N)$	(mm/hari)	0,92	1,00	0,93	0,92	1,11	0,84	0,93	0,51	0,83	0,69	0,56	0,25	
16	Radiasi netto (mm/hari) ; Rn	(mm/hari)	5,71	5,91	6,44	5,63	5,73	4,74	4,65	5,63	6,08	6,44	5,85	3,50	
17	Faktor koreksi ; C		1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,06	1,06	1,09	1,10	1,09	1,06	1,05	
18	Evapotranspirasi ; $ET_o = C \{W.R_n + (1-W) \times f(u) \times (ea - ed)\}$	(mm/hari)	156,06	161,41	179,48	157,11	158,21	121,31	122,97	154,68	163,65	171,82	154,36	90,14	

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.28 Perhitungan Evapotranspirasi Tahun 2007

No	DATA BULANAN	Satuan	B U L A N											
			Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agust	Sept	Okt	Nop	Des
1	Temperatur ; T	(°C)	27,10	28,30	28,60	28,80	100,00	97,20	99,60	100,00	98,70	99,40	97,50	98,30
2	Kelembaban udara relatif ; Rh	(%)	91,30	97,10	97,10	99,70	100,00	97,20	99,60	100,00	98,70	99,40	97,50	98,30
3	Lama jam penyinaran ; n/N	(%)	59,40	58,00	41,00	33,00	54,60	57,70	62,20	65,81	64,98	59,67	56,03	40,18
4	Kecepatan angin ; U	(Km/Jam)	73,50	24,80	26,20	24,70	23,10	32,10	27,70	34,51	22,00	25,30	29,70	30,40
5	Kecepatan angin ; U	(m/detik)	20,42	6,89	7,28	6,86	6,42	8,92	7,69	9,59	6,11	7,03	8,25	8,44
PERHITUNGAN														
6	Tekanan uap jenuh ; ea	(mbar)	35,89	38,35	39,10	39,60	35,70	36,46	36,08	34,86	35,89	35,49	35,07	35,70
7	Tekanan uap nyata ; ed	(mbar)	32,77	37,24	37,97	39,48	35,70	35,44	35,94	34,86	35,42	35,28	34,19	35,09
8	Perbedaan tekanan uap ; ea - ed	(mbar)	3,12	1,11	1,13	0,12	0,00	1,02	0,14	0,00	0,47	0,21	0,88	0,61
9	Fungsi angin ; $f(U) = 0,27 * (1 + U^2/100)$	(km/hari)	0,480	0,341	0,345	0,341	0,336	0,362	0,349	0,369	0,333	0,342	0,355	0,357
10	Faktor pembobot U & RH ; (w)		0,771	0,777	0,778	0,779	0,780	0,774	0,772	0,766	0,771	0,769	0,767	0,775
11	Radiasi Terrestrial Ekstra ; Ra	(mm/hari)	15,95	16,05	15,55	14,55	13,25	12,60	12,90	13,85	14,95	15,75	15,90	15,85
12	Radiasi sinar matahari ; Rs	(mm/hari)	8,72	8,67	5,31	6,04	6,93	6,79	7,24	8,02	8,59	7,88	7,91	7,29
13	Radiasi gelombang pendek netto ; Rns	(mm/hari)	6,54	6,50	5,31	4,53	5,20	5,09	5,43	6,01	6,45	5,91	5,93	5,47
14	Efek radiasi gelombang panjang :													
	a. f(T)		16,26	16,52	16,58	16,63	16,23	16,32	16,28	16,15	16,26	16,21	16,17	16,23
	b. f(ed)		0,09	0,07	0,07	0,06	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
	c. f(n/N)		0,63	0,62	0,47	0,40	0,59	0,62	0,66	0,69	0,68	0,55	0,55	0,48
15	Radiasi gelombang panjang netto ; Rnl													
	$f(T) \times f(ed) \times f(n/N)$	(mm/hari)	0,91	0,73	0,49	0,51	0,74	0,79	0,82	0,90	0,87	0,70	0,73	0,62
16	Radiasi netto (mm/hari) ; Rn	(mm/hari)	5,63	5,77	4,81	4,02	4,46	4,30	4,61	5,12	5,58	5,20	5,20	4,85
17	Faktor koreksi ; C		1,10	1,10	1,07	1,06	1,06	1,06	1,06	1,09	1,09	1,06	1,06	1,06
18	Evapotranspirasi ; $ET_o = C \{W.R_n + (1-W) \times f(u) \times (ea - ed)\}$	(mm/hari)	159,31	154,93	126,50	105,53	114,24	112,10	117,30	132,10	147,10	132,08	133,52	125,18

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.29 Perhitungan Evapotranspirasi Tahun 2008

No	DATA BULANAN	Satuan	B U L A N											
			Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agust	Sept	Okt	Nop	Des
1	Temperatur ; T	(°C)	27,50	28,60	29,00	28,90	91,20	93,50	96,50	97,00	97,70	98,60	99,20	97,60
2	Kelembaban udara relatif ; Rh	(%)	92,90	92,70	91,10	92,30	91,20	93,50	96,50	97,00	97,70	98,60	99,20	97,60
3	Lama jam penyinaran ; n/N	(%)	40,60	30,20	60,80	90,00	76,20	68,10	75,50	77,10	68,20	59,67	56,03	40,18
4	Kecepatan angin ; U	(Km/Jam)	39,00	24,50	31,60	39,48	47,73	8,79	38,90	45,20	38,10	31,98	23,09	42,60
5	Kecepatan angin ; U	(m/detik)	10,83	6,81	8,78	10,97	13,26	2,44	10,81	12,56	10,58	8,88	6,41	11,83
PERHITUNGAN														
6	Tekanan uap jenuh ; ea	(mbar)	36,65	39,10	40,10	39,85	39,10	35,89	37,60	38,10	38,85	35,49	38,35	36,84
7	Tekanan uap nyata ; ed	(mbar)	34,05	36,25	36,53	36,78	35,66	33,56	36,28	36,96	37,96	34,99	38,04	35,96
8	Perbedaan tekanan uap ; ea - ed	(mbar)	2,60	2,85	3,57	3,07	3,44	2,33	1,32	1,14	0,89	0,50	0,31	0,88
9	Fungsi angin ; $f(U) = 0,27 * (1 + U^2/100)$	(km/hari)	0,382	0,340	0,360	0,383	0,407	0,295	0,381	0,399	0,379	0,362	0,336	0,392
10	Faktor pembobot U & RH ; (w)		0,775	0,778	0,780	0,780	0,786	0,771	0,775	0,776	0,778	0,769	0,777	0,776
11	Radiasi Terrestrial Ekstra ; Ra	(mm/hari)	15,95	16,05	15,55	14,55	13,25	12,60	12,90	13,85	14,95	15,75	15,90	15,85
12	Radiasi sinar matahari ; Rs	(mm/hari)	7,23	6,44	6,46	10,19	8,36	7,44	8,09	8,80	8,84	6,79	6,11	6,98
13	Radiasi gelombang pendek netto ; Rns	(mm/hari)	5,42	4,83	6,46	7,64	6,27	5,58	6,07	6,60	6,63	5,09	4,58	5,24
14	Efek radiasi gelombang panjang :													
	a. f(T)		16,34	16,58	16,67	16,65	16,58	16,26	16,45	16,50	16,56	16,21	16,52	16,36
	b. f(ed)		0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,09	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08
	c. f(n/N)		0,47	0,37	0,65	0,91	0,79	0,71	0,78	0,79	0,71	0,43	0,34	0,44
15	Radiasi gelombang panjang netto ; Rnl													
	$f(T) \times f(ed) \times f(n/N)$	(mm/hari)	0,63	0,46	0,79	1,17	1,01	0,99	0,96	0,95	0,81	0,55	0,39	0,55
16	Radiasi netto (mm/hari) ; Rn	(mm/hari)	4,79	4,36	5,67	6,47	5,26	4,59	5,11	5,65	5,81	4,54	4,19	4,68
17	Faktor koreksi ; C		1,08	1,07	1,09	1,10	1,06	1,06	1,06	1,10	1,10	1,06	1,06	1,06
18	Evapotranspirasi ; $ETo = C \{W.Rn + (1-W) \times f(u) \times (ea - ed)\}$	(mm/hari)	131,21	119,30	159,50	182,42	145,79	121,57	133,84	152,67	156,34	116,11	107,80	122,00

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.30 Perhitungan Evapotranspirasi Tahun 2009

No	DATA BULANAN	Satuan	B U L A N											
			Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agust	Sept	Okt	Nop	Des
1	Temperatur ; T	(°C)	28,80	29,10	30,50	30,30	98,80	92,30	99,00	97,90	99,00	96,50	95,30	96,00
2	Kelembaban udara relatif ; Rh	(%)	94,50	84,80	92,00	94,40	98,80	92,30	99,00	97,90	99,00	96,50	95,30	96,00
3	Lama jam penyinaran ; n/N	(%)	6,10	44,70	78,14	64,60	46,21	29,80	24,50	31,60	36,50	59,67	56,03	40,18
4	Kecepatan angin ; U	(Km/Jam)	36,10	21,23	34,90	28,90	16,10	19,10	15,10	19,61	22,40	18,30	21,40	21,50
5	Kecepatan angin ; U	(m/detik)	10,03	5,90	9,69	8,03	4,47	5,31	4,19	5,45	6,22	5,08	5,94	5,97
PERHITUNGAN														
6	Tekanan uap jenuh ; ea	(mbar)	39,60	40,33	43,65	43,15	38,35	36,46	36,84	40,33	41,71	40,79	40,79	39,35
7	Tekanan uap nyata ; ed	(mbar)	37,42	34,20	40,16	40,73	37,89	33,65	36,47	39,48	41,29	39,36	38,87	37,78
8	Perbedaan tekanan uap ; ea - ed	(mbar)	2,18	6,13	3,49	2,42	0,46	2,81	0,37	0,85	0,42	1,43	1,92	1,57
9	Fungsi angin ; $f(U) = 0,27 * (1 + U^2/100)$	(km/hari)	0,373	0,331	0,370	0,353	0,316	0,325	0,313	0,326	0,334	0,322	0,331	0,332
10	Faktor pembobot U & RH ; (w)		0,779	0,781	0,795	0,793	0,783	0,774	0,776	0,781	0,784	0,782	0,782	0,779
11	Radiasi Terrestrial Ekstra ; Ra	(mm/hari)	15,95	16,05	15,55	14,55	13,25	12,60	12,90	13,85	14,95	15,75	15,90	15,85
12	Radiasi sinar matahari ; Rs	(mm/hari)	4,47	7,60	7,47	8,34	6,37	5,03	4,81	5,65	6,47	6,80	5,02	4,47
13	Radiasi gelombang pendek netto ; Rns	(mm/hari)	3,36	5,70	7,47	6,25	4,78	3,77	3,60	4,24	4,85	5,10	3,77	3,35
14	Efek radiasi gelombang panjang :													
	a. f(T)		16,63	16,69	17,01	16,96	16,52	16,32	16,36	16,69	16,83	16,74	16,74	16,61
	b. f(ed)		0,07	0,08	0,06	0,06	0,07	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07
	c. f(n/N)		0,15	0,50	0,80	0,68	0,52	0,37	0,32	0,38	0,43	0,43	0,22	0,16
15	Radiasi gelombang panjang netto ; Rnl													
	$f(T) \times f(ed) \times f(n/N)$	(mm/hari)	0,18	0,69	0,81	0,80	0,59	0,51	0,39	0,41	0,41	0,46	0,24	0,18
16	Radiasi netto (mm/hari) ; Rn	(mm/hari)	3,17	5,01	6,66	5,45	4,19	3,26	3,21	3,83	4,44	4,64	3,53	3,17
17	Faktor koreksi ; C		1,06	1,08	1,10	1,09	1,06	1,05	1,04	1,09	1,07	1,06	1,05	1,04
18	Evapotranspirasi ; $ETo = C \{W.Rn + (1-W) \times f(u) \times (ea - ed)\}$	(mm/hari)	87,07	145,90	188,94	155,35	108,87	88,62	81,57	103,13	115,89	122,47	93,99	83,26

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.31 Perhitungan Evapotranspirasi Tahun 2010

No	DATA BULANAN	Satuan	B U L A N												
			Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agust	Sept	Okt	Nop	Des	
1	Temperatur ; T	(°C)	27,90	28,90	35,10	30,50	97,50	95,00	97,50	98,00	98,10	97,10	97,30	97,10	
2	Kelembaban udara relatif ; Rh	(%)	98,00	95,50	96,20	95,80	97,50	95,00	97,50	98,00	98,10	97,10	97,30	97,10	
3	Lama jam penyinaran ; n/N	(%)	61,30	73,80	76,11	6,60	16,20	47,20	29,10	44,20	41,20	59,67	56,03	40,18	
4	Kecepatan angin ; U	(Km/Jam)	29,80	34,30	44,80	43,31	2,42	1,72	22,60	30,10	28,60	26,06	23,63	16,59	
5	Kecepatan angin ; U	(m/detik)	8,28	9,53	12,44	12,03	0,67	0,48	6,28	8,36	7,94	7,24	6,56	4,61	
PERHITUNGAN															
6	Tekanan uap jenuh ; ea	(mbar)	37,41	39,85	56,52	43,65	44,90	39,10	39,85	41,48	40,79	42,17	41,02	41,35	
7	Tekanan uap nyata ; ed	(mbar)	36,66	38,06	54,37	41,82	43,78	37,15	38,85	40,65	40,01	40,95	39,91	40,15	
8	Perbedaan tekanan uap ; ea - ed	(mbar)	0,75	1,79	2,15	1,83	1,12	1,96	1,00	0,83	0,78	1,22	1,11	1,20	
9	Fungsi angin ; $f(U) = 0,27 * (1 + U^2/100)$	(km/hari)	0,355	0,368	0,398	0,394	0,277	0,275	0,335	0,356	0,352	0,345	0,338	0,317	
10	Faktor pembobot U & RH ; (w)		0,779	0,780	0,831	0,795	0,780	0,778	0,780	0,783	0,782	0,785	0,782	0,783	
11	Radiasi Terrestrial Ekstra ; Ra	(mm/hari)	15,95	16,05	15,55	14,55	13,25	12,60	12,90	13,85	14,95	15,75	15,90	15,85	
12	Radiasi sinar matahari ; Rs	(mm/hari)	8,88	9,93	7,35	4,12	4,39	6,12	5,10	6,52	6,82	7,73	4,60	4,30	
13	Radiasi gelombang pendek netto ; Rns	(mm/hari)	6,66	7,45	7,35	3,09	3,29	4,59	3,83	4,89	5,11	5,80	3,45	3,22	
14	Efek radiasi gelombang panjang :														
	a. f(T)		16,43	16,65	18,06	17,01	17,12	16,58	16,65	16,80	16,74	16,87	16,76	16,78	
	b. f(ed)		0,07	0,07	0,02	0,06	0,05	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	
	c. f(n/N)		0,65	0,76	0,78	0,16	0,25	0,52	0,36	0,50	0,47	0,53	0,17	0,14	
15	Radiasi gelombang panjang netto ; Rnl														
	$f(T) \times f(ed) \times f(n/N)$	(mm/hari)	0,79	0,87	0,79	0,13	0,21	0,63	0,40	0,50	0,49	0,53	0,18	0,14	
16	Radiasi netto (mm/hari) ; Rn	(mm/hari)	5,87	6,58	6,57	2,96	3,08	3,97	3,43	4,40	4,63	5,27	3,27	3,08	
17	Faktor koreksi ; C		1,18	1,11	1,10	1,03	1,06	1,06	1,05	1,11	1,07	1,06	1,04	1,04	
18	Evapotranspirasi ; $ETo = C \{W.Rn + (1-W) \times f(u) \times (ea - ed)\}$	(mm/hari)	168,92	181,87	206,96	79,68	81,28	105,51	89,26	121,05	122,02	138,93	85,29	80,16	

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.32 Perhitungan Evapotranspirasi Tahun 2011

No	DATA BULANAN	Satuan	B U L A N											
			Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agust	Sept	Okt	Nop	Des
1	Temperatur ; T	(°C)	28,00	28,70	28,60	29,50	97,10	99,40	97,50	98,00	98,20	97,80	97,20	97,30
2	Kelembaban udara relatif ; Rh	(%)	97,50	94,70	97,00	98,30	97,10	99,40	97,50	98,00	98,20	97,80	97,20	97,30
3	Lama jam penyinaran ; n/N	(%)	6,30	94,70	56,19	45,60	40,49	24,20	33,40	39,20	49,70	59,67	56,03	40,18
4	Kecepatan angin ; U	(Km/Jam)	18,50	17,85	13,90	14,50	14,80	21,30	7,30	9,46	11,30	14,20	14,20	17,40
5	Kecepatan angin ; U	(m/detik)	5,14	4,96	3,86	4,03	4,11	5,92	2,03	2,63	3,14	3,94	3,94	4,83
PERHITUNGAN														
6	Tekanan uap jenuh ; ea	(mbar)	37,60	39,35	39,10	41,25	41,71	38,10	40,56	41,25	32,46	41,48	41,48	40,56
7	Tekanan uap nyata ; ed	(mbar)	36,66	37,26	37,93	40,55	40,50	37,87	39,55	40,43	31,88	40,57	40,32	39,46
8	Perbedaan tekanan uap ; ea - ed	(mbar)	0,94	2,09	1,17	0,70	1,21	0,23	1,01	0,83	0,58	0,91	1,16	1,10
9	Fungsi angin ; $f(U) = 0,27 * (1 + U^2/100)$	(km/hari)	0,323	0,321	0,310	0,311	0,312	0,331	0,291	0,297	0,302	0,311	0,311	0,320
10	Faktor pembobot U & RH ; (w)		0,775	0,779	0,778	0,783	0,784	0,776	0,781	0,783	0,754	0,783	0,783	0,781
11	Radiasi Terrestrial Ekstra ; Ra	(mm/hari)	15,95	16,05	15,55	14,55	13,25	12,60	12,90	13,85	14,95	15,75	15,90	15,85
12	Radiasi sinar matahari ; Rs	(mm/hari)	4,49	11,61	6,19	6,95	5,99	4,67	5,38	6,18	7,45	6,86	4,59	4,07
13	Radiasi gelombang pendek netto ; Rns	(mm/hari)	3,37	8,71	6,19	5,22	4,50	3,51	4,03	4,63	5,59	5,14	3,44	3,05
14	Efek radiasi gelombang panjang :													
	a. f(T)		16,45	16,61	16,58	16,78	16,83	16,50	16,72	16,78	15,89	16,80	16,80	16,72
	b. f(ed)		0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,09	0,06	0,06	0,06
	c. f(n/N)		0,16	0,95	0,61	0,51	0,46	0,32	0,40	0,45	0,55	0,43	0,17	0,11
15	Radiasi gelombang panjang netto ; Rnl													
	$f(T) \times f(ed) \times f(n/N)$	(mm/hari)	0,19	1,13	0,60	0,51	0,47	0,36	0,42	0,46	0,80	0,44	0,17	0,12
16	Radiasi netto (mm/hari) ; Rn	(mm/hari)	3,18	7,58	5,59	4,70	4,03	3,14	3,61	4,18	4,79	4,71	3,27	2,93
17	Faktor koreksi ; C		1,06	1,10	1,09	1,07	1,06	1,04	1,05	1,06	1,08	1,06	1,04	1,03
18	Evapotranspirasi ; $ETo = C \{W.Rn + (1-W) \times f(u) \times (ea - ed)\}$	(mm/hari)	83,15	206,28	147,29	123,98	106,37	79,36	94,04	109,35	122,38	123,17	85,11	75,83

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.33 Perhitungan Evapotranspirasi Tahun 2012

No	DATA BULANAN	Satuan	B U L A N											
			Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agust	Sept	Okt	Nop	Des
1	Temperatur ; T	(°C)	29,20	29,90	30,70	30,80	98,40	98,30	99,70	99,50	99,40	99,70	98,20	96,10
2	Kelembaban udara relatif ; Rh	(%)	97,00	96,50	95,90	97,00	98,40	98,30	99,70	99,50	99,40	99,70	98,20	96,10
3	Lama jam penyinaran ; n/N	(%)	12,70	49,20	81,65	57,30	39,65	36,60	27,00	4,20	48,00	59,67	56,03	40,18
4	Kecepatan angin ; U	(Km/Jam)	16,20	26,40	29,80	37,86	16,99	5,87	23,00	31,10	41,30	26,13	3,54	8,35
5	Kecepatan angin ; U	(m/detik)	4,50	7,33	8,28	10,52	4,72	1,63	6,39	8,64	11,47	7,26	0,98	2,32
PERHITUNGAN														
6	Tekanan uap jenuh ; ea	(mbar)	40,56	42,17	44,15	44,40	40,56	41,25	37,85	56,20	40,33	30,37	39,35	24,15
7	Tekanan uap nyata ; ed	(mbar)	39,34	40,69	42,34	43,07	39,91	40,55	37,74	55,92	40,09	30,28	38,64	23,21
8	Perbedaan tekanan uap ; ea - ed	(mbar)	1,22	1,48	1,81	1,33	0,65	0,70	0,11	0,28	0,24	0,09	0,71	0,94
9	Fungsi angin ; f(U) = 0,27 * (1 + U ² /100)	(km/hari)	0,316	0,346	0,355	0,378	0,319	0,287	0,336	0,359	0,388	0,345	0,280	0,294
10	Faktor pembobot U & RH ; (w)		0,781	0,785	0,797	0,798	0,781	0,783	0,776	0,830	0,781	0,743	0,779	0,705
11	Radiasi Terrestrial Ekstra ; Ra	(mm/hari)	15,95	16,05	15,55	14,55	13,25	12,60	12,90	13,85	14,95	15,75	15,90	15,85
12	Radiasi sinar matahari ; Rs	(mm/hari)	5,00	7,96	7,68	7,81	5,94	5,46	4,97	3,75	7,33	5,87	4,87	9,56
13	Radiasi gelombang pendek netto ; Rns	(mm/hari)	3,75	5,97	7,68	5,85	4,45	4,09	3,72	2,82	5,49	4,41	3,66	7,17
14	Efek radiasi gelombang panjang :													
	a. f(T)		16,72	16,87	17,05	17,07	16,72	16,78	16,47	18,04	16,69	15,66	16,61	14,87
	b. f(ed)		0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,01	0,06	0,10	0,07	0,13
	c. f(n/N)		0,21	0,54	0,83	0,62	0,46	0,43	0,34	0,14	0,53	0,32	0,20	0,74
15	Radiasi gelombang panjang netto ; Rnl													
	f(T) x f(ed) x f(n/N)	(mm/hari)	0,23	0,54	0,73	0,65	0,47	0,43	0,39	0,03	0,55	0,49	0,22	1,40
16	Radiasi netto (mm/hari) ; Rn	(mm/hari)	3,52	5,43	6,95	5,20	3,98	3,66	3,33	2,79	4,95	3,91	3,43	5,77
17	Faktor koreksi ; C		1,07	1,09	1,10	1,08	1,06	1,05	1,05	1,04	1,08	1,06	1,04	1,09
18	Evapotranspirasi ; ETo = C {W.Rn + (1-W) x f(u) x (ea - ed)}	(mm/hari)	94,30	147,06	192,32	145,98	103,57	94,91	84,06	75,16	129,73	95,66	87,98	140,49

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.34 Perhitungan Evapotranspirasi Tahun 2013

No	DATA BULANAN	Satuan	B U L A N											
			Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agust	Sept	Okt	Nop	Des
1	Temperatur ; T	(°C)	29,40	30,30	30,80	30,90	96,70	96,90	97,20	96,10	96,40	95,50	95,30	97,20
2	Kelembaban udara relatif ; Rh	(%)	96,10	95,80	95,80	96,20	96,70	96,90	97,20	96,10	96,40	95,50	95,30	97,20
3	Lama jam penyinaran ; n/N	(%)	8,30	39,00	74,77	59,02	47,30	52,80	90,00	76,20	68,10	59,67	56,03	40,18
4	Kecepatan angin ; U	(Km/Jam)	22,80	18,52	19,80	20,30	17,20	13,10	37,00	42,00	46,50	34,40	17,70	7,70
5	Kecepatan angin ; U	(m/detik)	6,33	5,14	5,50	5,64	4,78	3,64	10,28	11,67	12,92	9,56	4,92	2,14
PERHITUNGAN														
6	Tekanan uap jenuh ; ea	(mbar)	41,02	43,15	44,40	44,65	43,09	40,56	39,10	41,25	43,65	45,98	42,90	40,10
7	Tekanan uap nyata ; ed	(mbar)	39,42	41,34	42,54	42,95	41,67	39,30	38,01	39,64	42,08	43,91	40,88	38,98
8	Perbedaan tekanan uap ; ea - ed	(mbar)	1,60	1,81	1,86	1,70	1,42	1,26	1,09	1,61	1,57	2,07	2,02	1,12
9	Fungsi angin ; $f(U) = 0,27 * (1 + U^2/100)$	(km/hari)	0,335	0,323	0,327	0,328	0,319	0,307	0,376	0,390	0,403	0,368	0,321	0,292
10	Faktor pembobot U & RH ; (w)		0,782	0,793	0,798	0,799	0,787	0,781	0,778	0,783	0,795	0,804	0,792	0,780
11	Radiasi Terrestrial Ekstra ; Ra	(mm/hari)	15,95	16,05	15,55	14,55	13,25	12,60	12,90	13,85	14,95	15,75	15,90	15,85
12	Radiasi sinar matahari ; Rs	(mm/hari)	4,65	7,14	7,28	7,93	6,45	6,48	9,03	8,74	8,83	9,88	10,10	9,37
13	Radiasi gelombang pendek netto ; Rns	(mm/hari)	3,49	5,36	7,28	5,95	4,83	4,86	6,77	6,55	6,62	7,41	7,58	7,03
14	Efek radiasi gelombang panjang :													
	a. f(T)		16,76	16,96	17,07	17,09	16,96	16,72	16,58	16,78	17,01	17,21	16,94	16,67
	b. f(ed)		0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,06	0,05	0,05	0,06	0,07
	c. f(n/N)		0,17	0,45	0,77	0,63	0,53	0,58	0,91	0,79	0,71	0,78	0,79	0,71
15	Radiasi gelombang panjang netto ; Rnl													
	$f(T) \times f(ed) \times f(n/N)$	(mm/hari)	0,19	0,44	0,68	0,60	0,50	0,62	1,04	0,83	0,66	0,65	0,79	0,78
16	Radiasi netto (mm/hari) ; Rn	(mm/hari)	3,30	4,92	6,59	5,34	4,34	4,24	5,74	5,72	5,96	6,76	6,79	6,25
17	Faktor koreksi ; C		1,06	1,08	1,10	1,09	1,06	1,06	1,10	1,10	1,10	1,09	1,09	1,10
18	Evapotranspirasi ; $ETo = C \{W.Rn + (1-W) \times f(u) \times (ea - ed)\}$	(mm/hari)	88,98	134,08	183,14	148,75	115,23	111,61	155,21	156,90	165,64	188,46	185,43	167,90

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.35 Perhitungan Evapotranspirasi Tahun 2014

No	DATA BULANAN	Satuan	B U L A N												
			Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agust	Sept	Okt	Nop	Des	
1	Temperatur ; T	(°C)	26,40	27,80	29,90	29,70	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00
2	Kelembaban udara relatif ; Rh	(%)	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00
3	Lama jam penyinaran ; n/N	(%)	28,90	39,20	70,10	49,60	12,50	60,60	6,10	44,70	70,10	59,67	56,03	40,18	
4	Kecepatan angin ; U	(Km/Jam)	51,50	30,40	45,81	14,30	16,40	203,70	16,20	26,40	45,81	90,20	71,80	62,00	
5	Kecepatan angin ; U	(m/detik)	14,31	8,44	12,73	3,97	4,56	56,58	4,50	7,33	12,73	25,06	19,94	17,22	
PERHITUNGAN															
6	Tekanan uap jenuh ; ea	(mbar)	34,44	37,22	42,17	41,71	42,40	41,71	39,10	41,25	42,17	44,90	44,65	39,35	
7	Tekanan uap nyata ; ed	(mbar)	34,10	36,85	41,75	41,29	41,98	41,29	38,71	40,84	41,75	44,45	44,20	38,96	
8	Perbedaan tekanan uap ; ea - ed	(mbar)	0,34	0,37	0,42	0,42	0,42	0,42	0,39	0,41	0,42	0,45	0,45	0,39	
9	Fungsi angin ; $f(U) = 0,27 * (1 + U^2/100)$	(km/hari)	0,417	0,357	0,401	0,311	0,317	0,853	0,316	0,346	0,401	0,528	0,475	0,447	
10	Faktor pembobot U & RH ; (w)		0,764	0,778	0,785	0,784	0,780	0,784	0,778	0,783	0,785	0,800	0,799	0,779	
11	Radiasi Terrestrial Ekstra ; Ra	(mm/hari)	15,95	16,05	15,55	14,55	13,25	12,60	12,90	13,85	14,95	15,75	15,90	15,85	
12	Radiasi sinar matahari ; Rs	(mm/hari)	6,29	7,16	7,00	7,25	4,14	6,97	3,62	6,56	8,98	9,58	8,01	6,66	
13	Radiasi gelombang pendek netto ; Rns	(mm/hari)	4,72	5,37	7,00	5,43	3,11	5,23	2,71	4,92	6,73	7,19	6,01	4,99	
14	Efek radiasi gelombang panjang :														
	a. f(T)		16,11	16,41	16,87	16,83	16,89	16,83	16,58	16,78	16,87	17,12	17,09	16,61	
	b. f(ed)		0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,06	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,07	
	c. f(n/N)		0,36	0,45	0,73	0,55	0,21	0,65	0,15	0,50	0,73	0,75	0,56	0,41	
15	Radiasi gelombang panjang netto ; Rnl														
	$f(T) \times f(ed) \times f(n/N)$	(mm/hari)	0,48	0,54	0,71	0,51	0,20	0,62	0,17	0,50	0,69	0,60	0,45	0,44	
16	Radiasi netto (mm/hari) ; Rn	(mm/hari)	4,24	4,83	6,30	4,93	2,91	4,60	2,54	4,42	6,05	6,59	5,56	4,55	
17	Faktor koreksi ; C		1,06	1,08	1,10	1,08	1,04	1,06	1,03	1,07	1,10	1,09	1,06	1,06	
18	Evapotranspirasi ; $ETo = C \{W \cdot Rn + (1-W) \times f(u) \times (ea - ed)\}$	(mm/hari)	107,89	126,18	170,22	129,28	73,75	121,07	63,96	115,54	162,94	180,19	147,33	117,73	

Sumber : Hasil Perhitungan

4.5.3 Perhitungan Debit Aliran Model FJ.Mock

Pemodelan FJ.Mock ini dihasilkan dari penelitian empiris dengan memasukkan data hujan bulanan, dan parameter-parameter fisik lainnya yang sifatnya juga bulanan, sehingga menghasilkan debit aliran simulasi bulanan.

Berikut contoh perhitungan debit aliran menggunakan model FJ.Mock :

- Diketahui data hujan pada tahun 2005 pada tabel 4.36 di bawah ini :

Tabel 4.36 Data Hujan Perhitungan FJ.Mock

Bulan	Data hujan	
	Curah hujan (P)	Hari hujan (h)
	mm/bulan	
Januari	227	15
Februari	179	12
Maret	215	16
April	278	15
Mei	22	3
Juni	56	3
Juli	8	2
Agustus	42	2
September	41	5
Oktober	82	9
Nopember	107	9
Desember	319	20

- Nilai hasil evapotranspirasi potensial (Eto) di dapat dari perhitungan sebelumnya
- Permukaan lahan terbuka (m) ditetapkan 35% dari tabel 4.37 di bawah ini :

Tabel 4.37 Tata Guna Lahan

m	Tata Guna Lahan
0%	Untuk lahan dengan hutan lebat
0%	Pada akhir musim hujan, dan bertambah 10% setiap bulan kering untuk lahan dengan hutan sekunder
10% - 40%	Untuk lahan yang terisolasi
20% - 50%	Untuk lahan pertanian yang diolah (sawah, ladang, perkebunan dsb)

$$\triangleright \left(\frac{m}{20}\right) x (18 - h)$$

Dimana:

m = tata guna lahan

h = hari hujan

Bulan Januari

$$\begin{aligned} &\left(\frac{m}{20}\right) x (18 - h) \\ &= \left(\frac{35\%}{20}\right) x (18 - 15) \\ &= 0,05 \end{aligned}$$

Bulan Februari

$$\begin{aligned} &\left(\frac{m}{20}\right) x (18 - h) \\ &= \left(\frac{35\%}{20}\right) x (18 - 12) \\ &= 0,011 \end{aligned}$$

Begitu seterusnya perhitungan dilakukan sampai pada bulan Desember

$$\text{➤ } E = (Eto) \times \left(\frac{m}{20}\right) \times (18 - h)$$

Dimana :

E = Perbedaan evapotranspirasi potensial dan evapotranspirasi terbatas (mm/bulan)

Eto = Evapotranspirasi potensial (mm/bulan)

M = Tata guna lahan

h = Hari hujan (mm/bulan)

Bulan Januari

$$E = (Eto) \times \left(\frac{m}{20}\right) \times (18 - h)$$

$$E = 119,39 \times 0,05$$

$$E = 6,27 \text{ mm/bulan}$$

Bulan Februari

$$E = (Eto) \times \left(\frac{m}{20}\right) \times (18 - h)$$

$$E = 149,13 \times 0,11$$

$$E = 15,66 \text{ mm/bulan}$$

Begitu seterusnya perhitungan dilakukan sampai pada bulan Desember

$$\text{➤ } Et = (Eto) - E$$

Dimana :

Et = Evapotranspirasi terbatas (mm/bulan)

Eto = Evapotranspirasi potensial (mm/bulan)

E = Perbedaan evapotranspirasi potensial dan evapotranspirasi terbatas (mm/bulan)

Pada Bulan Januari

$$Et = (Eto) - E$$

$$Et = 119,39 - 6,27$$

$$Et = 113,13 \text{ mm/bulan}$$

Pada Bulan Februari

$$Et = (Eto) - E$$

$$Et = 149,13 - 15,66$$

$$Et = 133,47 \text{ mm/bulan}$$

Begitu seterusnya perhitungan dilakukan sampai pada bulan Desember

➤ Keseimbangan Air

$$\blacksquare Ds = P - Et$$

Dimana :

$$Ds =$$

P = Curah hujan (mm/bulan)

Et = Evapotranspirasi terbatas (mm/bulan)

Pada Bulan Januari

$$Ds = P - Et$$

$$Ds = 227 - 113,13$$

$$Ds = 113,87 \text{ mm/bulan}$$

Pada Bulan Februari

$$Ds = P - Et$$

$$Ds = 179 - 133,47$$

$$Ds = 45,53 \text{ mm/bulan}$$

Begitu seterusnya perhitungan dilakukan sampai pada bulan Desember

▪ Aliran permukaan (hujan lebat)

$$\text{Aliran permukaan (hujan lebat)} = PF \times P$$

Dimana :

PF = Faktor aliran hujan lebat → 80 %

P = Curah hujan (mm/bulan)

Pada Bulan Januari

$$\begin{aligned}\text{Aliran permukaan} &= PF \times P \\ &= 80\% \times 227 \\ &= 181,60 \text{ mm/bulan}\end{aligned}$$

Pada Bulan Februari

$$\begin{aligned}\text{Aliran permukaan} &= PF \times P \\ &= 80\% \times 179 \\ &= 143,53 \text{ mm/bulan}\end{aligned}$$

Begitu seterusnya perhitungan dilakukan sampai pada bulan Desember

▪ Kandungan Air Tanah

$$\text{Kandungan air tanah} = D_s - \text{aliran permukaan}$$

Pada Bulan Januari

$$\begin{aligned}\text{Kandungan air tanah} &= D_s - \text{aliran permukaan} \\ &= 113,87 - 181,60 \\ &= 0,00 \text{ mm/bulan}\end{aligned}$$

Pada Bulan februari

$$\begin{aligned}\text{Kandungan air tanah} &= D_s - \text{aliran permukaan} \\ &= 45,53 - 143,53 \\ &= 0,00 \text{ mm/bulan}\end{aligned}$$

Begitu seterusnya perhitungan dilakukan sampai pada bulan Desember

▪ Kapasitas Kelembapan Air Tanah (SMC)

$$\text{SMC} = \text{SMC} + \text{kandungan air tanah}$$

Dimana :

$$\text{SMC} = \text{kandungan air tanah} \rightarrow 80 \text{ mm}$$

Pada Bulan Januari

$SMC = SMC + \text{kandungan air tanah}$

$SMC = 80 + 0,00$

$SMC = 80,00 \text{ mm/bulan}$

Pada Bulan Februari

$SMC = SMC + \text{kandungan air tanah}$

$SMC = 80 + 0,00$

$SMC = 80,00 \text{ mm/bulan}$

Begitu seterusnya perhitungan dilakukan sampai pada bulan Desember

▪ Kelebihan Air (WS)

Nilai perhitungan kelebihan air sama dengan nilai perhitungan D_s diatas jadi dapat di jabarkan :

$D_s = WS$

Pada Bulan Januari

$D_s = W_s$

$113,87 \text{ mm/bulan} = 113,87 \text{ mm/bulan}$

Pada Bulan Februari

$D_s = W_s$

$45,53 \text{ mm/bulan} = 45,53 \text{ mm/bulan}$

➤ Aliran dan Simpanan Air Tanah

▪ Infiltrasi

$\text{Infiltrasi} = WS \times I$

Dimana :

WS = Kelebihan Air (mm/bulan)

I = koefisien Infiltrasi $\rightarrow 0,2-0,5$ dipakai $I = 0,5$

Pada Bulan Januari

$$\begin{aligned} \text{Infiltrasi} &= WS \times I \\ &= 113,87 \times 0,5 \\ &= 56,94 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

Pada Bulan Februari

$$\begin{aligned} \text{Infiltrasi} &= WS \times I \\ &= 45,53 \times 0,5 \\ &= 22,77 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

Begitu seterusnya perhitungan dilakukan sampai pada bulan Desember

- $0,5 \times (1+k) \times \text{infiltrasi}$
 $k = \text{faktor resesi aliran air tanah} = 0,7$

Pada Bulan Januari

$$\begin{aligned} &0,5 \times (1+k) \times \text{infiltrasi} \\ &= 0,5 \times (1 + 0,7) \times 56,94 \\ &= 48,40 \end{aligned}$$

Pada Bulan Februari

$$\begin{aligned} &0,5 \times (1+k) \times \text{infiltrasi} \\ &= 0,5 \times (1 + 0,7) \times 22,77 \\ &= 19,35 \end{aligned}$$

Begitu seterusnya perhitungan dilakukan sampai pada bulan Desember

- $k \times V_{n-1}$

Pada Bulan Januari

$$\begin{aligned} &k \times V_{n-1} \\ &= 50,00 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

Pada Bulan Februari

$$k \times V_{n-1}$$

$$= 0,5 \times 98,40$$

$$= 68,88 \text{ mm/bulan}$$

Begitu seterusnya perhitungan dilakukan sampai pada bulan Desember

▪ Volume penyimpanan (V_n)

$$V_n = (0,5 \times (1+k) \times \text{infiltrasi}) + k \times V_{n-1}$$

Pada Bulan Januari

$$V_n = (0,5 \times (1+k) \times \text{infiltrasi}) + k \times V_{n-1}$$

$$V_n = 48,40 + 50,00$$

$$V_n = 98,40 \text{ mm/bulan}$$

Pada Bulan Februari

$$V_n = (0,5 \times (1+k) \times \text{infiltrasi}) + k \times V_{n-1}$$

$$V_n = 19,35 + 68,88$$

$$V_n = 88,23 \text{ mm/bulan}$$

Begitu seterusnya perhitungan dilakukan sampai pada bulan Desember

▪ Perubahan Volume (DV_n)

$$DV_n = V_n - V_{n-1}$$

Dimana :

$$V_n = \text{Volume penyimpanan (mm/bulan)}$$

Pada Bulan Januari

$$DV_n = V_n$$

$$DV_n = 98,40$$

$$DV_n = 98,40 \text{ mm/bulan}$$

Pada Bulan Februari

$$DV_n = V_n - V_{n-1}$$

$$DV_n = 98,40 - 88,23$$

$$DV_n = -10,17 \text{ mm/bulan}$$

Begitu seterusnya perhitungan dilakukan sampai pada bulan Desember

- Aliran Dasar (BF)

$$BF = \text{Infiltrasi} - DV_n$$

Dimana :

$$BF = \text{Aliran dasar (mm/bulan)}$$

$$Dv_n = \text{Perubahan volume (mm/bulan)}$$

Pada Bulan Januari

$$BF = \text{Infiltrasi} - DV_n$$

$$BF = 56,94 - 98,40$$

$$BF = 0,00 \text{ mm/bulan}$$

Pada Bulan Januari

$$BF = \text{Infiltrasi} - DV_n$$

$$BF = 22,77 - (-10,17)$$

$$BF = 32,93 \text{ mm/bulan}$$

- Aliran Langsung (DR)

$$DR = WS - \text{infiltrasi}$$

Pada Bulan Januari

$$DR = WS - \text{infiltrasi}$$

$$DR = 113,87 - 56,94$$

$$DR = 56,94 \text{ mm/bulan}$$

Pada Bulan Februari

$$DR = WS - \text{infiltrasi}$$

$$DR = 45,53 - 22,77$$

$$DR = 22,77 \text{ mm/bulan}$$

Begitu seterusnya perhitungan dilakukan sampai pada bulan Desember

▪ Aliran (R)

$$R = BF + DR$$

Pada Bulan Januari

$$R = BF + DR$$

$$R = 0,00 + 56,94$$

$$R = 56,94 \text{ mm/bulan}$$

Pada Bulan Februari

$$R = BF + DR$$

$$R = 32,93 + 22,77$$

$$R = 55,70 \text{ mm/bulan}$$

Begitu seterusnya perhitungan dilakukan sampai pada bulan Desember

➤ Debit Aliran Sungai

$$= \frac{A \times R}{\text{Jumlah hari} \times 86,4}$$

Dimana :

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

$$R = \text{Aliran (mm/bulan)}$$

Pada Bulan Januari

$$\text{Debit} = \frac{A \times R}{\text{Jumlah hari} \times 86,4}$$

$$= 537 \times 31 \times 86,4$$

$$= 11,4154 \text{ m}^3/\text{detik} = 1145,43 \text{ liter / detik}$$

Pada Bulan Februari

$$\begin{aligned}\text{Debit} &= \frac{A \times R}{\text{Jumlah hari} \times 86,4} \\ &= 537 \times 28 \times 86,4 \\ &= 12,3639 \text{ m}^3/\text{detik} \\ &= 12363,89 \text{ liter/detik}\end{aligned}$$

Begitu seterusnya perhitungan dilakukan sampai pada bulan Desember

Selanjutnya untuk mempermudah, perhitungan debit model FJ.Mock disajikan dalam bentuk tabel seperti dibawah ini :

Tabel 4.38 Model Perhitungan Debit Aliran FJ.Mock Tahun 2005

NO	Uraian	Keterangan	Satuan	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	Nopember	Desember
I Data Hujan															
1	Curah Hujan (P)	Data	mm/bln	227	179	215	278	22	56	8	42	41	82	107	319
2	Hari Hujan (h)	Data	hari	15	12	16	15	3	3	2	2	5	9	9	20
II Evapotranspirasi Terbatas (Et)															
3	Evapotranspirasi Potensial (Et ₀)	Et ₀	mm/bln	119,39	149,13	130,73	131,48	132,27	93,42	70,26	117,57	119,08	132,24	140,41	148,73
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	ditetapkan	%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
5	(m/20)*(18-h)	hitungan	-	0,05	0,11	0,04	0,05	0,26	0,26	0,28	0,28	0,23	0,16	0,16	0,00
6	E = (Et ₀)*(m/20)*(18-h)	(3) x (5)	mm/bln	6,27	15,66	4,58	6,90	34,72	24,52	19,67	32,92	27,09	20,83	22,11	0,00
7	Et = (Et ₀) - E	(3) - (6)	mm/bln	113,13	133,47	126,15	124,58	97,55	68,89	50,59	84,65	91,99	111,41	118,30	148,73
III Keseimbangan Air															
8	Ds = P - Et	(1) - (7)	mm/bln	113,87	45,53	88,85	153,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170,27
9	Aliran Permukaan (Hujan Lebat)	PF x (1)	mm/bln	181,60	143,20	172,00	222,40	17,60	44,80	6,40	33,60	32,80	65,60	85,60	255,20
10	Kandungan Air Tanah	(8) - (9)	mm/bln	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	Kapasitas Kelembapan Air Tanah (SMC)	SMC + (10)	mm/bln	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
12	Kelebihan Air (WS)	= (8)	mm/bln	113,87	45,53	88,85	153,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170,27
IV Aliran dan Simpanan Air Tanah															
13	Infiltrasi	(12) x (1)	mm/bln	56,94	22,77	44,42	76,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	85,13
14	0,5*(1+k)*(Infiltrasi)	hitungan	-	48,40	19,35	37,76	65,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,36
15	k*V _{n-1}	hitungan	-	50,00	68,88	61,76	69,66	94,41	66,09	46,26	32,38	22,67	15,87	11,11	7,77
16	Volume Penyimpanan (Vn)	(14) + (15)	mm/bln	98,40	88,23	99,52	134,87	94,41	66,09	46,26	32,38	22,67	15,87	11,11	80,14
17	Perubahan Volume (DVn)	(Vn) - (V _{n-1})	mm/bln	98,40	-10,17	11,29	35,35	-40,46	-28,32	-19,83	-13,88	-9,71	-6,80	-4,76	69,03
18	Aliran Dasar (BF)	(13) - (17)	mm/bln	0,00	32,93	33,13	41,36	40,46	28,32	19,83	13,88	9,71	6,80	4,76	16,10
19	Aliran Langsung (DR)	(12) - (13)	mm/bln	56,94	22,77	44,42	76,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	85,13
20	Aliran (R)	(18) + (19)	mm/bln	56,94	55,70	77,56	118,07	40,46	28,32	19,83	13,88	9,71	6,80	4,76	101,24
V Debit Aliran Sungai															
21	Jumlah Hari			31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
22	Debit Aliran Sungai 2005	$A \times (20) / ((21) \times 86,4)$	m ³ /det	11,4154	12,3639	15,5497	24,4619	8,1120	5,8677	3,9749	2,7824	2,0126	1,3634	0,9862	20,2973
	Debit Aliran Sungai		lt/det	11415,43	12363,89	15549,66	24461,85	8112,04	5867,71	3974,90	2782,43	2012,62	1363,39	986,19	20297,30

Parameter Terpakai

m = 20% - 50% untuk lahan pertanian =

35

%

Koefesien Infiltrasi (I) 0,2 - 0,5

I = 0,5

Kapasitas kelembapan tanah =

80

mm

Faktor resesi aliran air tanah (k) 0,4 - 0,7

k = 0,7

Luas DAS =

537

km²

Penyimpanan awal

IS = 80 mm

Faktor aliran hujan lebat

PF = 80%

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.39 Model Perhitungan Debit Aliran FJ.Mock Tahun 2006

NO	Uraian	Keterangan	Satuan	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	Nopember	Desember
I Data Hujan															
1	Curah Hujan (P)	Data	mm/bln	201	343	179	193	69	43	0	3	0	0	60	74
2	Hari Hujan (h)	Data	hari	16	19	19	14	10	2	0	1	0	0	4	8
II Evapotranspirasi Terbatas (Et)															
3	Evapotranspirasi Potensial (Et ₀)	Et ₀	mm/bln	156,06	161,41	179,48	157,11	158,21	121,31	122,97	154,68	163,65	171,82	154,36	90,14
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	ditetapkan	%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
5	(m/20)*(18-h)	hitungan	-	0,04	0,00	0,00	0,07	0,14	0,28	0,32	0,30	0,32	0,32	0,25	0,18
6	E = (Et ₀)*(m/20)*(18-h)	(3) x (5)	mm/bln	5,46	0,00	0,00	11,00	22,15	33,97	38,74	46,02	51,55	54,12	37,82	15,77
7	Et = (Et ₀) - E	(3) - (6)	mm/bln	150,60	161,41	179,48	146,11	136,06	87,34	84,24	108,66	112,10	117,70	116,54	74,36
III Keseimbangan Air															
8	Ds = P - Et	(1) - (7)	mm/bln	50,40	181,59	0,00	46,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	Aliran Permukaan (Hujan Lebat)	PF x (1)	mm/bln	160,80	274,40	143,20	154,40	55,20	34,40	0,00	2,40	0,00	0,00	48,00	59,20
10	Kandungan Air Tanah	(8) - (9)	mm/bln	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	Kapasitas Kelembapan Air Tanah (SMC)	SMC + (10)	mm/bln	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
12	Kelebihan Air (WS)	= (8)	mm/bln	50,40	181,59	0,00	46,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
IV Aliran dan Simpanan Air Tanah															
13	Infiltrasi	(12) x (1)	mm/bln	25,20	90,79	0,00	23,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,5*(1+k)*(Infiltrasi)	hitungan	-	21,42	77,17	0,00	19,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	k*V _{n-1}	hitungan	-	25,00	32,49	76,77	53,74	51,57	36,10	25,27	17,69	12,38	8,67	6,07	4,25
16	Volume Penyimpanan (Vn)	(14) + (15)	mm/bln	46,42	109,67	76,77	73,67	51,57	36,10	25,27	17,69	12,38	8,67	6,07	4,25
17	Perubahan Volume (DVn)	(Vn) - (V _{n-1})	mm/bln	46,42	63,25	-32,90	-3,10	-22,10	-15,47	-10,83	-7,58	-5,31	-3,71	-2,60	-1,82
18	Aliran Dasar (BF)	(13) - (17)	mm/bln	0,00	27,54	32,90	26,55	22,10	15,47	10,83	7,58	5,31	3,71	2,60	1,82
19	Aliran Langsung (DR)	(12) - (13)	mm/bln	25,20	90,79	0,00	23,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	Aliran (R)	(18) + (19)	mm/bln	25,20	118,34	32,90	49,99	22,10	15,47	10,83	7,58	5,31	3,71	2,60	1,82
V Debit Aliran Sungai															
21	Jumlah Hari			31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
22	Debit Aliran Sungai 2006	A x (20)/((21) x 86,4)	m ³ /det	5,0522	26,2681	6,5963	10,3574	4,4309	3,2050	2,1711	1,5198	1,0993	0,7447	0,5387	0,3649
	Debit Aliran Sungai		lt/det	5052,16	26268,08	6596,29	10357,40	4430,88	3205,00	2171,13	1519,79	1099,32	744,70	538,66	364,90

Parameter Terpakai

m = 20% - 50% untuk lahan pertanian =

35 %

Kapasitas kelembapan tanah =

80 mm

Luas DAS =

537 km²

Koefisien Infiltrasi (I) 0,2 - 0,5

Faktor resesi aliran air tanah (k) 0,4 - 0,7

Penyimpanan awal

Faktor aliran hujan lebat

I = 0,5

k = 0,7

IS = 80 mm

PF = 80%

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.40 Model Perhitungan Debit Aliran FJ.Mock Tahun 2007

NO	Uraian	Keterangan	Satuan	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	Nopember	Desember
I Data Hujan															
1	Curah Hujan (P)	Data	mm/bln	121	66	244	120	89	49	8	3	7	1	41	261
2	Hari Hujan (h)	Data	hari	9	13	10	11	9	4	3	1	1	1	5	13
II Evapotranspirasi Terbatas (Et)															
3	Evapotranspirasi Potensial (Et ₀)	Et ₀	mm/bln	159,31	154,93	126,50	105,53	114,24	112,10	117,30	132,10	147,10	132,08	133,52	125,18
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	ditetapkan	%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
5	(m/20)*(18-h)	hitungan	-	0,16	0,09	0,14	0,12	0,16	0,25	0,26	0,30	0,30	0,30	0,23	0,09
6	E = (Et ₀)*(m/20)*(18-h)	(3) x (5)	mm/bln	25,09	13,56	17,71	12,93	17,99	27,47	30,79	39,30	43,76	39,29	30,38	10,95
7	Et = (Et ₀) - E	(3) - (6)	mm/bln	134,22	141,37	108,79	92,61	96,25	84,64	86,51	92,80	103,33	92,78	103,14	114,23
III Keseimbangan Air															
8	Ds = P - Et	(1) - (7)	mm/bln	0,00	0,00	135,21	27,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	146,77
9	Aliran Permukaan (Hujan Lebat)	PF x (1)	mm/bln	96,80	52,80	195,20	96,00	71,20	39,20	6,40	2,40	5,60	0,80	32,80	208,80
10	Kandungan Air Tanah	(8) - (9)	mm/bln	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	Kapasitas Kelembapan Air Tanah (SMC)	SMC + (10)	mm/bln	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
12	Kelebihan Air (WS)	= (8)	mm/bln	0,00	0,00	135,21	27,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	146,77
IV Aliran dan Simpanan Air Tanah															
13	Infiltrasi	(12) x (1)	mm/bln	0,00	0,00	67,60	13,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	73,39
14	0,5*(1+k)*(Infiltrasi)	hitungan	-	0,00	0,00	57,46	11,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	62,38
15	k*V _{n-1}	hitungan	-	0,00	0,00	0,00	40,22	36,31	25,41	17,79	12,45	8,72	6,10	4,27	2,99
16	Volume Penyimpanan (Vn)	(14) + (15)	mm/bln	0,00	0,00	57,46	51,87	36,31	25,41	17,79	12,45	8,72	6,10	4,27	65,37
17	Perubahan Volume (DVn)	(Vn) - (V _{n-1})	mm/bln	0,00	0,00	57,46	-5,60	-15,56	-10,89	-7,62	-5,34	-3,74	-2,62	-1,83	61,10
18	Aliran Dasar (BF)	(13) - (17)	mm/bln	0,00	0,00	10,14	19,29	15,56	10,89	7,62	5,34	3,74	2,62	1,83	12,29
19	Aliran Langsung (DR)	(12) - (13)	mm/bln	0,00	0,00	67,60	13,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	73,39
20	Aliran (R)	(18) + (19)	mm/bln	0,00	0,00	77,74	32,99	15,56	10,89	7,62	5,34	3,74	2,62	1,83	85,68
V Debit Aliran Sungai															
21	Jumlah Hari			31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
22	Debit Aliran Sungai 2007	A x (20)/((21) x 86,4)	m ³ /det	0,0000	0,0000	15,5871	6,8347	3,1196	2,2565	1,5286	1,0700	0,7740	0,5243	0,3793	17,1776
	Debit Aliran Sungai		lt/det	0,00	0,00	15587,07	6834,73	3119,63	2256,53	1528,62	1070,03	773,99	524,32	379,26	17177,60

Parameter Terpakai

m = 20% - 50% untuk lahan pertanian =

35 %

Koefesien Infiltrasi (I) 0,2 - 0,5

I = 0,5

Kapasitas kelembapan tanah =

80 mm

Faktor resesi aliran air tanah (k) 0,4 - 0,7

k = 0,7

Luas DAS =

537 km²

Penyimpanan awal

IS = 80 mm

Faktor aliran hujan lebat

PF = 80%

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.41 Model Perhitungan Debit Aliran FJ.Mock Tahun 2008

NO	Uraian	Keterangan	Satuan	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
I Data Hujan															
1	Curah Hujan (P)	Data	mm/bln	123	56	185	31	27	31	0	0	24	37	192	209
2	Hari Hujan (h)	Data	hari	8	9	10	2	2	3	0	0	2	8	12	13
II Evapotranspirasi Terbatas (Et)															
3	Evapotranspirasi Potensial (Et ₀)	Et ₀	mm/bln	131,21	119,30	159,50	182,42	145,79	121,57	133,84	152,67	156,34	116,11	107,80	122,00
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	ditetapkan	%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
5	(m/20)*(18-h)	hitungan	-	0,18	0,16	0,14	0,28	0,28	0,26	0,32	0,32	0,28	0,18	0,11	0,09
6	E = (Et ₀)*(m/20)*(18-h)	(3) x (5)	mm/bln	22,96	18,79	22,33	51,08	40,82	31,91	42,16	48,09	43,78	20,32	11,32	10,68
7	Et = (Et ₀) - E	(3) - (6)	mm/bln	108,25	100,51	137,17	131,34	104,97	89,66	91,68	104,58	112,57	95,79	96,48	111,33
III Keseimbangan Air															
8	Ds = P - Et	(1) - (7)	mm/bln	14,75	0,00	47,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	95,52	97,67
9	Aliran Permukaan (Hujan Lebat)	PF x (1)	mm/bln	98,40	44,80	148,00	24,80	21,60	24,80	0,00	0,00	19,20	29,60	153,60	167,20
10	Kandungan Air Tanah	(8) - (9)	mm/bln	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	Kapasitas Kelembapan Air Tanah (SMC)	SMC + (10)	mm/bln	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
12	Kelebihan Air (WS)	= (8)	mm/bln	14,75	0,00	47,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	95,52	97,67
IV Aliran dan Simpanan Air Tanah															
13	Infiltrasi	(12) x (1)	mm/bln	7,38	0,00	23,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,76	48,84
14	0,5*(1+k)*(Infiltrasi)	hitungan	-	6,27	0,00	20,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,60	41,51
15	k*V _{n-1}	hitungan	-	7,00	9,29	6,50	18,78	13,15	9,20	6,44	4,51	3,16	2,21	1,55	29,50
16	Volume Penyimpanan (Vn)	(14) + (15)	mm/bln	13,27	9,29	26,83	18,78	13,15	9,20	6,44	4,51	3,16	2,21	42,14	71,01
17	Perubahan Volume (DVn)	(Vn) - (V _{n-1})	mm/bln	13,27	-3,98	17,54	-8,05	-5,63	-3,94	-2,76	-1,93	-1,35	-0,95	39,93	28,87
18	Aliran Dasar (BF)	(13) - (17)	mm/bln	0,00	3,98	6,37	8,05	5,63	3,94	2,76	1,93	1,35	0,95	7,83	19,97
19	Aliran Langsung (DR)	(12) - (13)	mm/bln	7,38	0,00	23,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,76	48,84
20	Aliran (R)	(18) + (19)	mm/bln	7,38	3,98	30,29	8,05	5,63	3,94	2,76	1,93	1,35	0,95	55,59	68,81
V Debit Aliran Sungai															
21	Jumlah Hari			31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
22	Debit Aliran Sungai 2008	A x (20)/((21) x 86,4)	m ³ /det	1,4788	0,8836	6,0729	1,6676	1,1297	0,8171	0,5535	0,3875	0,2803	0,1899	11,5166	13,7951
	Debit Aliran Sungai		lt/det	1478,81	883,65	6072,90	1667,59	1129,66	817,12	553,53	387,47	280,27	189,86	11516,60	13795,12

Parameter Terpakai

m = 20% - 50% untuk lahan pertanian =

35

%

Koefesien Infiltrasi (I) 0,2 - 0,5

I = 0,5

Kapasitas kelembapan tanah =

80

mm

Faktor resesi aliran air tanah (k) 0,4 - 0,7

k = 0,7

Luas DAS =

537

km²

Penyimpanan awal

IS = 80 mm

Faktor aliran hujan lebat

PF = 80%

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.42 Model Perhitungan Debit Aliran FJ.Mock Tahun 2009

NO	Uraian	Keterangan	Satuan	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	Nopember	Desember
I Data Hujan															
1	Curah Hujan (P)	Data	mm/bln	155	261	311	71	88	46	20	0	11	6	16	128
2	Hari Hujan (h)	Data	hari	15	22	16	9	5	2	1	0	2	2	5	9
II Evapotranspirasi Terbatas (Et)															
3	Evapotranspirasi Potensial (Et ₀)	Et ₀	mm/bln	87,07	145,90	188,94	155,35	108,87	88,62	81,57	103,13	115,89	122,47	93,99	83,26
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	ditetapkan	%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
5	(m/20)*(18-h)	hitungan	-	0,05	0,00	0,04	0,16	0,23	0,28	0,30	0,32	0,28	0,28	0,23	0,16
6	E = (Et ₀)*(m/20)*(18-h)	(3) x (5)	mm/bln	4,57	0,00	6,61	24,47	24,77	24,81	24,27	32,49	32,45	34,29	21,38	13,11
7	Et = (Et ₀) - E	(3) - (6)	mm/bln	82,50	145,90	182,33	130,88	84,10	63,80	57,30	70,65	83,44	88,18	72,60	70,15
III Keseimbangan Air															
8	Ds = P - Et	(1) - (7)	mm/bln	72,50	115,10	128,67	0,00	3,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	57,85
9	Aliran Permukaan (Hujan Lebat)	PF x (1)	mm/bln	124,00	208,80	248,80	56,80	70,40	36,80	16,00	0,00	8,80	4,80	12,80	102,40
10	Kandungan Air Tanah	(8) - (9)	mm/bln	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	Kapasitas Kelembapan Air Tanah (SMC)	SMC + (10)	mm/bln	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
12	Kelebihan Air (WS)	= (8)	mm/bln	72,50	115,10	128,67	0,00	3,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	57,85
IV Aliran dan Simpanan Air Tanah															
13	Infiltrasi	(12) x (1)	mm/bln	36,25	57,55	64,33	0,00	1,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,93
14	0,5*(1+k)*(Infiltrasi)	hitungan	-	30,81	48,92	54,68	0,00	1,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,59
15	k*V _{n-1}	hitungan	-	35,00	46,07	66,49	84,82	59,38	42,72	29,91	20,93	14,65	10,26	7,18	5,03
16	Volume Penyimpanan (Vn)	(14) + (15)	mm/bln	65,81	94,98	121,17	84,82	61,03	42,72	29,91	20,93	14,65	10,26	7,18	29,61
17	Perubahan Volume (DVn)	(Vn) - (V _{n-1})	mm/bln	65,81	29,17	26,19	-36,35	-23,79	-18,31	-12,82	-8,97	-6,28	-4,40	-3,08	22,43
18	Aliran Dasar (BF)	(13) - (17)	mm/bln	0,00	28,38	38,15	36,35	25,74	18,31	12,82	8,97	6,28	4,40	3,08	6,49
19	Aliran Langsung (DR)	(12) - (13)	mm/bln	36,25	57,55	64,33	0,00	1,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,93
20	Aliran (R)	(18) + (19)	mm/bln	36,25	85,92	102,48	36,35	27,69	18,31	12,82	8,97	6,28	4,40	3,08	35,42
V Debit Aliran Sungai															
21	Jumlah Hari			31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
22	Debit Aliran Sungai 2009	$A \times (20) / ((21) \times 86,4)$	m ³ /det	7,2679	19,0730	20,5465	7,5313	5,5510	3,7933	2,5696	1,7987	1,3011	0,8814	0,6375	7,1011
	Debit Aliran Sungai		lt/det	7267,91	19072,99	20546,53	7531,28	5551,04	3793,26	2569,63	1798,74	1301,09	881,38	637,53	7101,13

Parameter Terpakai

m = 20% - 50% untuk lahan pertanian =

35

%

Koefesien Infiltrasi (I) 0,2 - 0,5

I = 0,5

Kapasitas kelembapan tanah =

80

mm

Faktor resesi aliran air tanah (k) 0,4 - 0,7

k = 0,7

Luas DAS =

537

km²

Penyimpanan awal

IS = 80 mm

Faktor aliran hujan lebat

PF = 80%

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.43 Model Perhitungan Debit Aliran FJ.Mock Tahun 2010

NO	Uraian	Keterangan	Satuan	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	Nopember	Desember
I Data Hujan															
1	Curah Hujan (P)	Data	mm/bln	280	173	251	199	158	134	82	42	105	276	85	203
2	Hari Hujan (h)	Data	hari	18	16	15	17	13	7	4	7	9	17	6	16
II Evapotranspirasi Terbatas (Et)															
3	Evapotranspirasi Potensial (Et ₀)	Et ₀	mm/bln	168,92	181,87	206,96	79,68	81,28	105,51	89,26	121,05	122,02	138,93	85,29	80,16
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	ditetapkan	%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
5	(m/20)*(18-h)	hitungan	-	0,00	0,04	0,05	0,02	0,09	0,19	0,25	0,19	0,16	0,02	0,21	0,04
6	E = (Et ₀)*(m/20)*(18-h)	(3) x (5)	mm/bln	0,00	6,37	10,87	1,39	7,11	20,31	21,87	23,30	19,22	2,43	17,91	2,81
7	Et = (Et ₀) - E	(3) - (6)	mm/bln	168,92	175,51	196,09	78,29	74,17	85,20	67,39	97,75	102,80	136,50	67,38	77,35
III Keseimbangan Air															
8	Ds = P - Et	(1) - (7)	mm/bln	111,08	0,00	54,91	120,71	83,83	48,80	14,61	0,00	2,20	139,50	17,62	125,65
9	Aliran Permukaan (Hujan Lebat)	PF x (1)	mm/bln	224,00	138,40	200,80	159,20	126,40	107,20	65,60	33,60	84,00	220,80	68,00	162,40
10	Kandungan Air Tanah	(8) - (9)	mm/bln	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	Kapasitas Kelembapan Air Tanah (SMC)	SMC + (10)	mm/bln	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
12	Kelebihan Air (WS)	= (8)	mm/bln	111,08	0,00	54,91	120,71	83,83	48,80	14,61	0,00	2,20	139,50	17,62	125,65
IV Aliran dan Simpanan Air Tanah															
13	Infiltrasi	(12) x (1)	mm/bln	55,54	0,00	27,45	60,36	41,91	24,40	7,30	0,00	1,10	69,75	8,81	62,82
14	0,5*(1+k)*(Infiltrasi)	hitungan	-	47,21	0,00	23,34	51,30	35,63	20,74	6,21	0,00	0,93	59,29	7,49	53,40
15	k*V _{n-1}	hitungan	-	50,00	68,05	47,63	49,68	70,69	74,42	66,61	50,97	35,68	25,63	59,44	46,85
16	Volume Penyimpanan (Vn)	(14) + (15)	mm/bln	97,21	68,05	70,97	100,98	106,31	95,16	72,82	50,97	36,62	84,92	66,93	100,25
17	Perubahan Volume (DVn)	(Vn) - (V _{n-1})	mm/bln	97,21	-29,16	2,92	30,01	5,33	-11,16	-22,34	-21,85	-14,36	48,30	-17,99	33,32
18	Aliran Dasar (BF)	(13) - (17)	mm/bln	0,00	29,16	24,53	30,34	36,58	35,55	29,64	21,85	15,46	21,45	26,80	29,50
19	Aliran Langsung (DR)	(12) - (13)	mm/bln	55,54	0,00	27,45	60,36	41,91	24,40	7,30	0,00	1,10	69,75	8,81	62,82
20	Aliran (R)	(18) + (19)	mm/bln	55,54	29,16	51,99	90,70	78,50	59,95	36,95	21,85	16,56	91,20	35,61	92,33
V Debit Aliran Sungai															
21	Jumlah Hari			31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
22	Debit Aliran Sungai 2010	A x (20)/((21) x 86,4)	m ³ /det	11,1350	6,4733	10,4226	18,7909	15,7377	12,4207	7,4074	4,3799	3,4300	18,2845	7,3766	18,5106
	Debit Aliran Sungai		lt/det	11135,04	6473,27	10422,65	18790,93	15737,75	12420,65	7407,43	4379,87	3429,98	18284,46	7376,62	18510,55

Parameter Terpakai

m = 20% - 50% untuk lahan pertanian =

35

%

Koefesien Infiltrasi (I) 0,2 - 0,5

I =

0,5

Kapasitas kelembapan tanah =

80

mm

Faktor resesi aliran air tanah (k) 0,4 - 0,7

k =

0,7

Luas DAS =

537

km²

Penyimpanan awal

IS =

80 mm

Faktor aliran hujan lebat

PF =

80%

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.44 Model Perhitungan Debit Aliran FJ.Mock Tahun 2011

NO	Uraian	Keterangan	Satuan	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	Nopember	Desember
I Data Hujan															
1	Curah Hujan (P)	Data	mm/bln	214	209	271	150	204	35	27	0	0	11	256	345
2	Hari Hujan (h)	Data	hari	19	14	18	10	11	2	2	0	0	2	12	16
II Evapotranspirasi Terbatas (Et)															
3	Evapotranspirasi Potensial (Et ₀)	Et ₀	mm/bln	83,15	206,28	147,29	123,98	106,37	79,36	94,04	109,35	122,38	123,17	85,11	75,83
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	ditetapkan	%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
5	(m/20)*(18-h)	hitungan	-	0,00	0,07	0,00	0,14	0,12	0,28	0,28	0,32	0,32	0,28	0,11	0,04
6	E = (Et ₀)*(m/20)*(18-h)	(3) x (5)	mm/bln	0,00	14,44	0,00	17,36	13,03	22,22	26,33	34,44	38,55	34,49	8,94	2,65
7	Et = (Et ₀) - E	(3) - (6)	mm/bln	83,15	191,84	147,29	106,62	93,34	57,14	67,71	74,90	83,83	88,68	76,18	73,18
III Keseimbangan Air															
8	Ds = P - Et	(1) - (7)	mm/bln	130,85	17,16	123,71	43,38	110,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	179,82	271,82
9	Aliran Permukaan (Hujan Lebat)	PF x (1)	mm/bln	171,20	167,20	216,80	120,00	163,20	28,00	21,60	0,00	0,00	8,80	204,80	276,00
10	Kandungan Air Tanah	(8) - (9)	mm/bln	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	Kapasitas Kelembapan Air Tanah (SMC)	SMC + (10)	mm/bln	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
12	Kelebihan Air (WS)	= (8)	mm/bln	130,85	17,16	123,71	43,38	110,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	179,82	271,82
IV Aliran dan Simpanan Air Tanah															
13	Infiltrasi	(12) x (1)	mm/bln	65,43	8,58	61,85	21,69	55,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	89,91	135,91
14	0,5*(1+k)*(Infiltrasi)	hitungan	-	55,61	7,29	52,57	18,43	47,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	76,42	115,52
15	k*V _{n-1}	hitungan	-	60,00	80,93	61,75	80,03	68,93	81,17	56,82	39,77	27,84	19,49	13,64	63,05
16	Volume Penyimpanan (Vn)	(14) + (15)	mm/bln	115,61	88,22	114,33	98,47	115,96	81,17	56,82	39,77	27,84	19,49	90,07	178,57
17	Perubahan Volume (DVn)	(Vn) - (V _{n-1})	mm/bln	115,61	-27,39	26,11	-15,86	17,49	-34,79	-24,35	-17,05	-11,93	-8,35	70,58	88,50
18	Aliran Dasar (BF)	(13) - (17)	mm/bln	0,00	35,97	35,74	37,55	37,84	34,79	24,35	17,05	11,93	8,35	19,33	47,41
19	Aliran Langsung (DR)	(12) - (13)	mm/bln	65,43	8,58	61,85	21,69	55,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	89,91	135,91
20	Aliran (R)	(18) + (19)	mm/bln	65,43	44,55	97,60	59,24	93,17	34,79	24,35	17,05	11,93	8,35	109,24	183,32
V Debit Aliran Sungai															
21	Jumlah Hari			31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
22	Debit Aliran Sungai 2011	A x (20)/((21) x 86,4)	m ³ /det	13,1174	9,8887	19,5675	12,2731	18,6796	7,2070	4,8821	3,4175	2,4720	1,6746	22,6329	36,7536
	Debit Aliran Sungai		lt/det	13117,36	9888,67	19567,46	12273,08	18679,57	7206,96	4882,13	3417,49	2471,99	1674,57	22632,88	36753,65

Parameter Terpakai

m = 20% - 50% untuk lahan pertanian =

35 %

Koefisien Infiltrasi (I) 0,2 - 0,5

I = 0,5

Kapasitas kelembapan tanah =

80 mm

Faktor resesi aliran air tanah (k) 0,4 - 0,7

k = 0,7

Luas DAS =

537 km²

Penyimpanan awal

IS = 80 mm

Faktor aliran hujan lebat

PF = 80%

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.45 Model Perhitungan Debit Aliran FJ.Mock Tahun 2012

NO	Uraian	Keterangan	Satuan	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	Nopember	Desember
I Data Hujan															
1	Curah Hujan (P)	Data	mm/bln	447	246	206	77	112	41	0	0	0	10	35	226
2	Hari Hujan (h)	Data	hari	26	18	17	9	9	3	0	0	0	3	7	23
II Evapotranspirasi Terbatas (Et)															
3	Evapotranspirasi Potensial (Et ₀)	Et ₀	mm/bln	94,30	147,06	192,32	145,98	103,57	94,91	84,06	75,16	129,73	95,66	87,98	140,49
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	ditetapkan	%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
5	(m/20)*(18-h)	hitungan	-	0,00	0,00	0,02	0,16	0,16	0,26	0,32	0,32	0,32	0,26	0,19	0,00
6	E = (Et ₀)*(m/20)*(18-h)	(3) x (5)	mm/bln	0,00	0,00	3,37	22,99	16,31	24,91	26,48	23,67	40,86	25,11	16,94	0,00
7	Et = (Et ₀) - E	(3) - (6)	mm/bln	94,30	147,06	188,95	122,99	87,26	70,00	57,58	51,48	88,86	70,55	71,05	140,49
III Keseimbangan Air															
8	Ds = P - Et	(1) - (7)	mm/bln	352,70	98,94	17,05	0,00	24,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	85,51
9	Aliran Permukaan (Hujan Lebat)	PF x (1)	mm/bln	357,60	196,80	164,80	61,60	89,60	32,80	0,00	0,00	0,00	8,00	28,00	180,80
10	Kandungan Air Tanah	(8) - (9)	mm/bln	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	Kapasitas Kelembapan Air Tanah (SMC)	SMC + (10)	mm/bln	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
12	Kelebihan Air (WS)	= (8)	mm/bln	352,70	98,94	17,05	0,00	24,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	85,51
IV Aliran dan Simpanan Air Tanah															
13	Infiltrasi	(12) x (1)	mm/bln	176,35	49,47	8,52	0,00	12,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,76
14	0,5*(1+k)*(Infiltrasi)	hitungan	-	149,90	42,05	7,25	0,00	10,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,34
15	k*V _{n-1}	hitungan	-	150,00	209,93	176,38	128,54	89,98	70,35	49,24	34,47	24,13	16,89	11,82	8,28
16	Volume Penyimpanan (Vn)	(14) + (15)	mm/bln	299,90	251,98	183,63	128,54	100,49	70,35	49,24	34,47	24,13	16,89	11,82	44,62
17	Perubahan Volume (DVn)	(Vn) - (V _{n-1})	mm/bln	299,90	-47,92	-68,35	-55,09	-28,05	-30,15	-21,10	-14,77	-10,34	-7,24	-5,07	32,80
18	Aliran Dasar (BF)	(13) - (17)	mm/bln	0,00	97,39	76,87	55,09	40,42	30,15	21,10	14,77	10,34	7,24	5,07	9,96
19	Aliran Langsung (DR)	(12) - (13)	mm/bln	176,35	49,47	8,52	0,00	12,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,76
20	Aliran (R)	(18) + (19)	mm/bln	176,35	146,86	85,39	55,09	52,79	30,15	21,10	14,77	10,34	7,24	5,07	52,72
V Debit Aliran Sungai															
21	Jumlah Hari			31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
22	Debit Aliran Sungai 2012	A x (20)/((21) x 86,4)	m ³ /det	35,3567	32,5986	17,1211	11,4130	10,5837	6,2459	4,2311	2,9618	2,1424	1,4513	1,0498	10,5691
	Debit Aliran Sungai		lt/det	35356,66	32598,64	17121,07	11413,00	10583,70	6245,92	4231,11	2961,78	2142,35	1451,27	1049,75	10569,13

Parameter Terpakai

m = 20% - 50% untuk lahan pertanian =

35 %

Koefesien Infiltrasi (I) 0,2 - 0,5

I = 0,5

Kapasitas kelembapan tanah =

80 mm

Faktor resesi aliran air tanah (k) 0,4 - 0,7

k = 0,7

Luas DAS =

537 km²

Penyimpanan awal

IS = 80 mm

Faktor aliran hujan lebat

PF = 80%

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.46 Model Perhitungan Debit Aliran FJ.Mock Tahun 2013

NO	Uraian	Keterangan	Satuan	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	Nopember	Desember
I Data Hujan															
1	Curah Hujan (P)	Data	mm/bln	344	170	237	189	174	132	88	2	8	96	170	372
2	Hari Hujan (h)	Data	hari	24	10	17	8	12	8	6	1	2	3	12	14
II Evapotranspirasi Terbatas (Et)															
3	Evapotranspirasi Potensial (Et ₀)	Et ₀	mm/bln	88,98	134,08	183,14	148,75	115,23	111,61	155,21	156,90	165,64	188,46	185,43	167,90
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	ditetapkan	%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
5	(m/20)*(18-h)	hitungan	-	0,00	0,14	0,02	0,18	0,11	0,18	0,21	0,30	0,28	0,26	0,11	0,07
6	E = (Et ₀)*(m/20)*(18-h)	(3) x (5)	mm/bln	0,00	18,77	3,20	26,03	12,10	19,53	32,59	46,68	46,38	49,47	19,47	11,75
7	Et = (Et ₀) - E	(3) - (6)	mm/bln	88,98	115,31	179,93	122,72	103,13	92,08	122,61	110,22	119,26	138,99	165,96	156,15
III Keseimbangan Air															
8	Ds = P - Et	(1) - (7)	mm/bln	255,02	54,69	57,07	66,28	70,87	39,92	0,00	0,00	0,00	0,00	4,04	215,85
9	Aliran Permukaan (Hujan Lebat)	PF x (1)	mm/bln	275,20	136,00	189,60	151,20	139,20	105,60	70,40	1,60	6,40	76,80	136,00	297,60
10	Kandungan Air Tanah	(8) - (9)	mm/bln	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	Kapasitas Kelembapan Air Tanah (SMC)	SMC + (10)	mm/bln	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
12	Kelembihan Air (WS)	= (8)	mm/bln	255,02	54,69	57,07	66,28	70,87	39,92	0,00	0,00	0,00	0,00	4,04	215,85
IV Aliran dan Simpanan Air Tanah															
13	Infiltrasi	(12) x (1)	mm/bln	127,51	27,34	28,53	33,14	35,43	19,96	0,00	0,00	0,00	0,00	2,02	107,92
14	0,5*(1+k)*(Infiltrasi)	hitungan	-	108,38	23,24	24,25	28,17	30,12	16,97	0,00	0,00	0,00	0,00	1,72	91,74
15	k*V _{n-1}	hitungan	-	120,00	159,87	128,18	106,70	94,41	87,17	72,90	51,03	35,72	25,00	17,50	13,45
16	Volume Penyimpanan (Vn)	(14) + (15)	mm/bln	228,38	183,11	152,43	134,87	124,53	104,14	72,90	51,03	35,72	25,00	19,22	105,19
17	Perubahan Volume (DVn)	(Vn) - (V _{n-1})	mm/bln	228,38	-45,27	-30,68	-17,56	-10,34	-20,39	-31,24	-21,87	-15,31	-10,72	-5,79	85,97
18	Aliran Dasar (BF)	(13) - (17)	mm/bln	0,00	72,62	59,21	50,70	45,78	40,35	31,24	21,87	15,31	10,72	7,80	21,95
19	Aliran Langsung (DR)	(12) - (13)	mm/bln	127,51	27,34	28,53	33,14	35,43	19,96	0,00	0,00	0,00	0,00	2,02	107,92
20	Aliran (R)	(18) + (19)	mm/bln	127,51	99,96	87,75	83,84	81,21	60,31	31,24	21,87	15,31	10,72	9,82	129,88
V Debit Aliran Sungai															
21	Jumlah Hari			31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
22	Debit Aliran Sungai 2013	A x (20)/((21) x 86,4)	m ³ /det	25,5644	22,1886	17,5928	17,3694	16,2819	12,4957	6,2636	4,3845	3,1715	2,1484	2,0348	26,0397
	Debit Aliran Sungai		lt/det	25564,36	22188,60	17592,83	17369,41	16281,85	12495,66	6263,59	4384,51	3171,46	2148,41	2034,78	26039,67

Parameter Terpakai

m = 20% - 50% untuk lahan pertanian =

35 %

Koefesien Infiltrasi (I) 0,2 - 0,5

I = 0,5

Kapasitas kelembapan tanah =

80 mm

Faktor resesi aliran air tanah (k) 0,4 - 0,7

k = 0,7

Luas DAS =

537 km²

Penyimpanan awal

IS = 80 mm

Faktor aliran hujan lebat

PF = 80%

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.47 Model Perhitungan Debit Aliran FJ.Mock Tahun 2014

NO	Uraian	Keterangan	Satuan	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	Nopember	Desember
I Data Hujan															
1	Curah Hujan (P)	Data	mm/bln	221	358	290	79	214	9	0	0	23	123	178	198
2	Hari Hujan (h)	Data	hari	13	18	11	7	11	1	0	0	2	9	15	17
II Evapotranspirasi Terbatas (Et)															
3	Evapotranspirasi Potensial (Et ₀)	Et ₀	mm/bln	107,89	126,18	170,22	129,28	73,75	121,07	63,96	115,54	162,94	180,19	147,33	117,73
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	ditetapkan	%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
5	(m/20)*(18-h)	hitungan	-	0,09	0,00	0,12	0,19	0,12	0,30	0,32	0,32	0,28	0,16	0,05	0,02
6	E = (Et ₀)*(m/20)*(18-h)	(3) x (5)	mm/bln	9,44	0,00	20,85	24,89	9,03	36,02	20,15	36,40	45,62	28,38	7,73	2,06
7	Et = (Et ₀) - E	(3) - (6)	mm/bln	98,45	126,18	149,37	104,39	64,71	85,05	43,81	79,15	117,32	151,81	139,60	115,67
III Keseimbangan Air															
8	Ds = P - Et	(1) - (7)	mm/bln	122,55	231,82	140,63	0,00	149,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,40	82,33
9	Aliran Permukaan (Hujan Lebat)	PF x (1)	mm/bln	176,80	286,40	232,00	63,20	171,20	7,20	0,00	0,00	18,40	98,40	142,40	158,40
10	Kandungan Air Tanah	(8) - (9)	mm/bln	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	Kapasitas Kelembapan Air Tanah (SMC)	SMC + (10)	mm/bln	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
12	Kelebihan Air (WS)	= (8)	mm/bln	122,55	231,82	140,63	0,00	149,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,40	82,33
IV Aliran dan Simpanan Air Tanah															
13	Infiltrasi	(12) x (1)	mm/bln	61,28	115,91	70,32	0,00	74,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,20	41,17
14	0,5*(1+k)*(Infiltrasi)	hitungan	-	52,08	98,52	59,77	0,00	63,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,32	34,99
15	k*V _{n-1}	hitungan	-	60,00	78,46	123,89	128,56	89,99	107,41	75,18	52,63	36,84	25,79	18,05	24,06
16	Volume Penyimpanan (Vn)	(14) + (15)	mm/bln	112,08	176,98	183,66	128,56	153,44	107,41	75,18	52,63	36,84	25,79	34,37	59,05
17	Perubahan Volume (DVn)	(Vn) - (V _{n-1})	mm/bln	112,08	64,90	6,68	-55,10	24,88	-46,03	-32,22	-22,56	-15,79	-11,05	8,59	24,68
18	Aliran Dasar (BF)	(13) - (17)	mm/bln	0,00	51,01	63,64	55,10	49,76	46,03	32,22	22,56	15,79	11,05	10,62	16,49
19	Aliran Langsung (DR)	(12) - (13)	mm/bln	61,28	115,91	70,32	0,00	74,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,20	41,17
20	Aliran (R)	(18) + (19)	mm/bln	61,28	166,92	133,96	55,10	124,41	46,03	32,22	22,56	15,79	11,05	29,82	57,65
V Debit Aliran Sungai															
21	Jumlah Hari			31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
22	Debit Aliran Sungai 2014	A x (20)/((21) x 86,4)	m ³ /det	12,2852	37,0517	26,8578	11,4147	24,9429	9,5366	6,4603	4,5222	3,2711	2,2159	6,1777	11,5589
	Debit Aliran Sungai		lt/det	12285,23	37051,69	26857,79	11414,72	24942,87	9536,62	6460,29	4522,20	3271,06	2215,88	6177,72	11558,93

Parameter Terpakai

m = 20% - 50% untuk lahan pertanian =

35 %

Koefisien Infiltrasi (I) 0,2 - 0,5

I = 0,5

Kapasitas kelembapan tanah =

80 mm

Faktor resesi aliran air tanah (k) 0,4 - 0,7

k = 0,7

Luas DAS =

537 km²

Penyimpanan awal

IS = 80 mm

Faktor aliran hujan lebat

PF = 80%

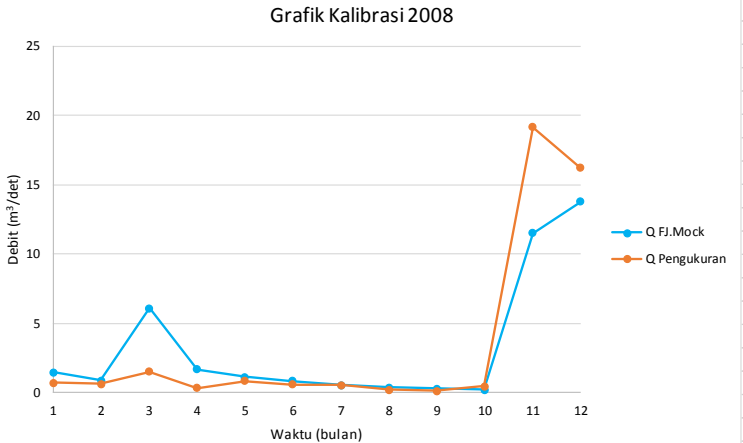
Sumber : Hasil Perhitungan

4.5.4 Analisa Keandalan Debit FJ. Mock

Dari hasil perhitungan FJ.Mock perlu dilakukan kalibrasi dengan data pengamatan jangka pendek minimal 1 tahun untuk mengetahui ketepatan nilai parameter sebagai data input perhitungan selanjutnya. Disini dilakukan kalibrasi dari perhitungan dengan data pengamatan pada tahun 2008 dan 2009 seperti pada grafik dibawah ini :

Tabel 4.48 Debit Pengukuran lapangan dan Debit Perhitungan FJ.Mock Pada Tahun 2008

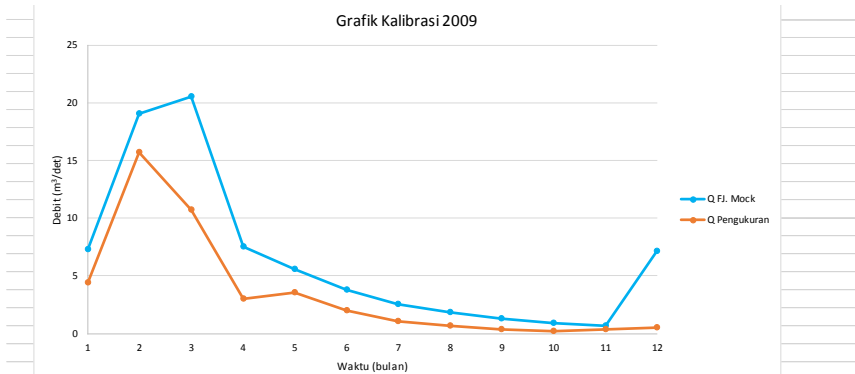
Bulan	Q Pengukuran	Q FJ.Mock	Selisih	Persentase Kesalahan
	m ³ /det	m ³ /det	m ³ /det	%
1	2	3	4 = 3-2	5 = 4/2x100%
Jan	0,723	1,479	0,756	105%
Peb	0,604	0,884	0,280	46%
Mar	1,491	6,073	4,582	307%
Aprl	0,343	1,668	1,325	386%
Mei	0,840	1,130	0,290	35%
Jun	0,578	0,817	0,239	41%
Jul	0,534	0,554	0,020	4%
Ags	0,215	0,387	0,173	80%
Sep	0,100	0,280	0,181	182%
Okt	0,440	0,190	-0,250	57%
Nop	19,183	11,517	-7,666	40%
Des	16,235	13,795	-2,440	15%
			Rata-Rata	108%



Gambar 4.4 Grafik Kalibrasi Debit FJ.Mock vs Pengamatan Tahun 2008

Tabel 4.49 Debit Pengukuran Lapangan dan Debit Perhitungan FJ.Mock Pada Tahun 2009

Bulan	Q Pengukuran	Q FJ.Mock	Selisih	Persentase Kesalahan
	m ³ /det	m ³ /det	m ³ /det	%
1	2	3	4 = 3-2	5 = 4/2x100%
Jan	4,366	7,268	2,902	66%
Peb	15,672	19,073	3,401	22%
Mar	10,732	20,547	9,815	91%
Aprl	3,015	7,531	4,516	150%
Mei	3,583	5,551	1,968	55%
Jun	1,958	3,793	1,836	94%
Jul	1,037	2,570	1,533	148%
Ags	0,651	1,799	1,147	176%
Sep	0,372	1,301	0,929	250%
Okt	0,226	0,881	0,656	290%
Nop	0,336	0,638	0,302	90%
Des	0,513	7,101	6,588	1283%
			Rata-Rata	226%



Gambar 4.5 Grafik Kalibrasi Debit FJ.Mock vs Pengamatan Tahun 2009

Dari hasil kalibrasi antara debit perhitungan FJ.Mock dengan debit pengamatan diatas didapat persentase kesalahan rata-rata pada tahun 2008 adalah 108% dan pada tahun 2009 adalah 226%. Meskipun mempunyai ritme grafik yang menyerupai dengan debit pengamatan tetapi hasil perhitungan debit FJ.Mock tidak dapat dipakai untuk perhitungan selanjutnya, Hal tersebut dikarenakan aliran sungai Bengawan Solo sudah tersekat-sekat oleh bangunan air seperti bendung dan waduk di bagian hulu sungai.

Oleh karena itu untuk perhitungan volume aliran pada sungai apakah memenuhi untuk kebutuhan digunakan debit rata-rata dari pengamatan dilapangan pada tahun 2008 dan 2009. Perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.50 sebagai berikut :

Tabel 4.50 Perhitungan Debit Rata-rata

Bulan	Debit (m ³ /det)		Rata2 (m ³ /det)
	2008	2009	
Jan	0,723	4,366	2,545
Peb	0,604	15,672	8,138
Mar	1,491	10,732	6,111
Aprl	0,343	3,015	1,679
Mei	0,840	3,583	2,211
Jun	0,578	1,958	1,268
Jul	0,534	1,037	0,786
Ags	0,215	0,651	0,433
Sep	0,100	0,372	0,236
Okt	0,440	0,226	0,333
Nop	19,183	0,336	9,759
Des	16,235	0,513	8,374

Sumber : Hasil Perhitungan

BAB V

PERENCANAAN BENDUNG

5.1 Analisa Kebutuhan Tampungan

5.1.1 Kemiringan dan Lebar Sungai Rata-Rata

Kemiringan sungai rata-rata didapatkan dari dokumen Proyek Pembangunan Bendung Gerak Sembayat (*Introduction Design Consept In Design Criteria Of Bendung Gerak Sembayat*) sebesar 0,0001. Lebar rata-rata didapatkan dari pengukuran profil melintang dari hulu ke hilir dari lokasi rencana bendung sebesar 146,72 m.

5.1.2 Perhitungan Volume Kebutuhan Air Baku, Industri, dan Irigasi

5.1.3 Kebutuhan di Lapangan

- Kebutuhan air baku
 $Q = 0,746 \text{ m}^3/\text{det}$
- Kebutuhan industri
 $Q = 0,495 \text{ m}^3/\text{det}$
- Kebutuhan irigasi
 $Q = 1,747 \text{ m}^3/\text{det}$

Total debit kebutuhan di lapangan adalah $2,99 \text{ m}^3/\text{det}$, maka volume kebutuhannya adalah $2,99 \times 30,5 \times 24 \times 60 \times 60 = 7.873.978 \text{ m}^3$.

5.1.4 Perhitungan Volume dengan Metode Lengkung S

Perhitungan volume kebutuhan dengan metode Lengkung S dapat dilihat pada table 5.1 di bawah ini :

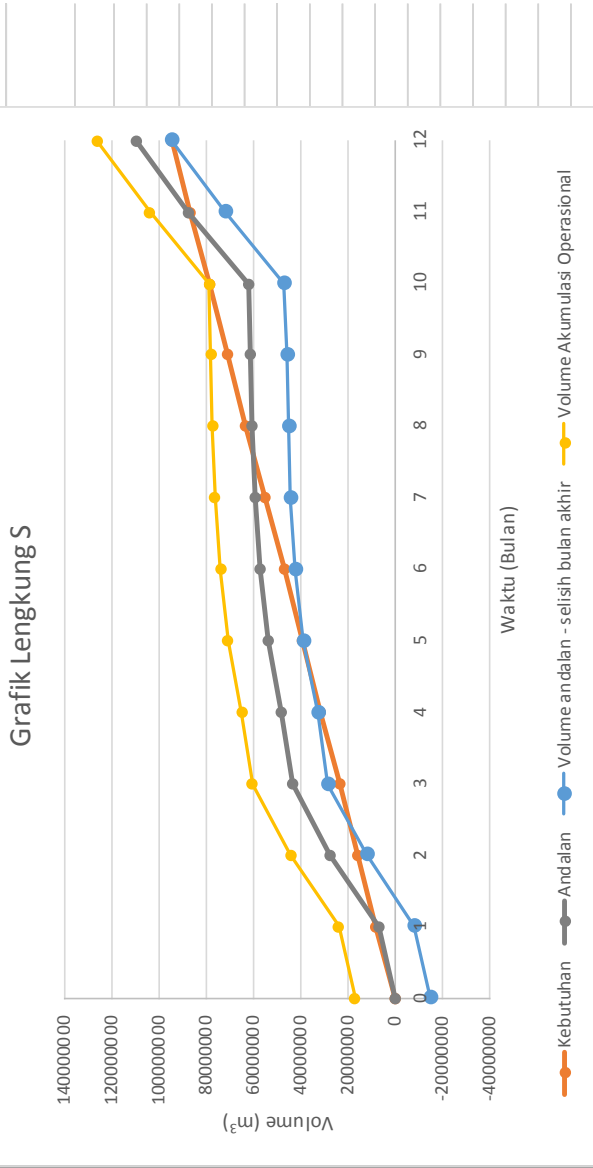
Tabel 5.1 Perhitungan Volume Metode Lengkung S

Umur Bulan	Bulan	Q _{andalan}	Volume Andalan	Q _{kebutuhan}	Volume Kebutuhan	Volume Komulatif		Selisih	Volume andalan - selisih bulan akhir	Selisih	Volume Akumulasi Operasional	Selisih
						Andalan	Kebutuhan					
		m ³ /det	m ³	m ³ /det	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
1	2	3	4=1x3x24x60x60	5	6=1x5x24x60x60	7	8	9-7-8	10	11=8-10	12	13=8-12
	0		0	0	0	0	0	0	-15.139.414,5	-15.139.414,5	16.838.504,2	16.838.504,2
31	1	2,5	6.815.443,2	2,99	8.003.059,2	6.815.443,2	8.003.059,2	-1.187.616,0	-8.323.971,3	-16.327.030,5	23.633.947,5	15.650.888,3
29	2	8,1	20.390.197,0	2,99	7.486.732,8	27.205.640,2	15.489.792,0	11.715.848,2	12.066.225,7	-3.423.566,3	44.044.144,4	28.554.352,4
31	3	6,1	16.368.505,9	2,99	8.003.059,2	43.574.146,1	23.492.851,2	20.081.294,9	28.434.731,6	4.941.880,4	60.412.650,3	36.919.799,1
30	4	1,7	4.351.993,9	2,99	7.744.896,0	47.926.140,0	31.237.747,2	16.688.392,8	32.786.725,5	1.548.978,3	64.764.644,3	33.526.897,1
31	5	2,2	5.922.531,6	2,99	8.003.059,2	53.848.671,7	39.240.806,4	14.607.865,3	38.709.257,2	-531.549,2	70.687.175,9	31.446.369,5
30	6	1,3	3.286.396,8	2,99	7.744.896,0	57.135.068,5	46.985.702,4	10.149.366,1	41.995.654,0	-4.990.048,4	73.973.572,7	26.987.870,3
31	7	0,8	2.103.923,4	2,99	8.003.059,2	59.238.991,9	54.988.761,6	4.250.230,3	44.099.577,4	-10.889.184,2	76.077.496,1	21.088.734,5
31	8	0,4	1.159.840,9	2,99	8.003.059,2	60.398.832,8	62.991.820,8	-2.592.988,0	45.259.418,3	-17.732.402,5	77.237.337,0	14.245.516,2
30	9	0,2	611.482,6	2,99	7.744.896,0	61.010.315,4	70.736.716,8	-9.726.401,4	45.870.900,9	-24.865.815,9	77.848.819,6	7.112.102,8
31	10	0,3	890.956,4	2,99	8.003.059,2	61.901.271,8	78.739.776,0	-16.838.504,2	46.761.857,3	-31.977.918,7	78.739.776,0	0,0
30	11	9,8	25.296.416,6	2,99	7.744.896,0	87.197.688,4	86.484.672,0	713.016,4	72.058.273,9	-14.426.398,1	104.036.192,6	17.551.520,6
31	12	8,4	22.429.457,3	2,99	8.003.059,2	109.627.145,7	94.487.731,2	15.139.414,5	94.487.731,2	0,0	126.465.649,9	31.977.918,7

Sumber : Hasil Perhitungan

grafik hubungan antara jumlah debit air andalan

dan y



kung S

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Selisih volume maksimum} & = & 20.081.294,9 \text{ m}^3 \\
 \text{Selisih volume minimum} & = & -16.838.504,2 \text{ m}^3 \\
 \hline
 \text{Maka volume tampungan} & = & 36.919.799,1 \text{ m}^3
 \end{array}$$

Untuk volume tampungan bendung gerak, data-data yang tersedia adalah sebagai berikut :

Lebar rata-rata sungai (B) = 146,72 m

Kemiringan rata-rata (I) = 0,0001 (*Introduction Design Consept In Design Criteria Of Bendung Gerak Sembayat*)

$$I = \frac{h}{L}$$

$$L = \frac{h}{I}$$

$$\text{vol. tampungan} = \frac{1}{2} \times B \times h \times L$$

$$\text{vol. tampungan} = \frac{1}{2} \times B \times h \times \frac{h}{I}$$

$$36.919.199,1 = \frac{1}{2} \times 146,72 \times \frac{h^2}{0,0001}$$

$$36.919.199,1 = 73,36 \times \frac{h^2}{0,0001}$$

$$3.691,98 = 146,72 \times h^2$$

$$h^2 = 50,33$$

$$h = 7,1 \text{ m}$$

Maka didapat tinggi pintu untuk menampung volume tampungan sebesar 36.919.799,1 m³ setinggi 7,1 m, dalam perencanaan bendung gerak ini untuk mempermudah pelaksanaan diambil tinggi pintu setinggi 7m.

$$L = \frac{h}{I}$$

$$L = \frac{7,1}{0,0001}$$

$$L = 71.000 \text{ m}$$

$$L = 71 \text{ km}$$

Maka didapat panjang sungai yang dipengaruhi tampungan sepanjang 71 km.

5.2 Dimensi Bendung

5.2.1 Perencanaan Lebar Bendung

Lebar bendung yang dimaksud disini adalah jarak antara tembok pangkal disatu sisi dengan tembok pangkal disisi lainnya. lebar bendung total dibuat tidak lebih dari 1,2 kali lebar sungai.

Lebar rata-rata sungai = 146,72 m

Lebar total bendung yang direncanakan = 168,7 m

$$\frac{B_{rata2}}{B_{tot}} \leq 1,2$$

$$\frac{146,72}{168,7} \leq 1,2$$

$$0,87 \leq 1,2$$

5.2.2 Perencanaan Tembok Pilar

Tembok pilar berfungsi untuk penempatan pintu air serta jembatan kerja atau jembatan pelayanan. disini direncanakan memakai 12 pilar buah pilar dengan tebal 3 m yang terbuat dari beton.

5.2.3 Perencanaan Pintu Air

Pintu air berfungsi untuk membendung air sungai dan mengatur elevasi m.a sungai, tipe pintu air yang dipakai adalah pintu sorong (*Roller Gate*). Pintu sorong adalah tipe pintu khusus yang memindahkan tekanan air dari pelat daun pintu ke balok horisontal utama pintu tersebut melalui balok-balok horisontal. Untuk pintu air disini direncanakan dengan 13 pintu yang lebarnya masing-masing 11 m (pintu + sponing) dan tinggi pintu 7 m.

5.2.4 Perencanaan Lebar Effektif Bendung

Lebar efektif bendung sama dengan jumlah banyaknya lebar pintu air.

$$B_{eff} = B_{tot} - (\text{jumlah pilar} \times \text{lebar pilar})$$

$$= 168,7 - (12 \times 3)$$

$$= 132,7 \text{ m}$$

5.2.5 Perencanaan Tinggi Muka Air Diatas Mercu Bendung

Tinggi muka air diatas mercu dapat dihitung dengan rumus

:

$$Q = Cd \cdot \frac{2}{3} \cdot b \cdot \sqrt{2g} [h^{3/2}]$$

Dimana :

Q = Debit rencana banjir (m³/det)

Cd = Koefesien mercu (lihat tabel pada lampiran)

b = Lebar total pintu (m)

g = Gravitasi, 9,8 m/det²

h = tinggi muka air diatas mercu

Perhitungan :

$$Q = Cd \cdot \frac{2}{3} \cdot b \cdot \sqrt{2g} [h^{3/2}]$$

$$1.312,82 = 0,64 \cdot \frac{2}{3} \cdot 132,7 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8} [h^{3/2}]$$

$$= 250,72h^{3/2}$$

$$h^{3/2} = 0,19$$

$$h = 0,33 \text{ m}$$

5.2.6 Perencanaan Tebal Pintu Air Pada Bendung

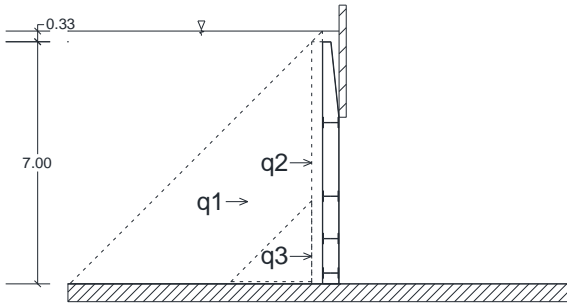
Konstruksi bendung gerak terdiri dari pilar dan pintu air yang melintang pada sungai. Ada banyak tipe pintu yang dapat digunakan, akan tetapi di perencanaan bendung gerak ini memakai pintu tipe sorong (*Roller Gate*).

Direncanakan tinggi pintu (T) = 7 m

Lebar pintu air (Lp) = 10,2 m

Lebar pintu + sponing (L) = 11 m

Tinggi m.a diatas pintu = 0,33 m



Gambar 5.2 Tampak Samping Pintu Air pada Bendung

$$q_1 = \frac{1}{2} \times 7 \times 7 \times \gamma w$$

$$= 24,5 \text{ ton/m}$$

$$q_2 = 0,33 \times 0,33 \times \gamma w$$

$$= 0,11 \text{ ton/m}$$

$$q_3 = \frac{1}{2} \times 2,33 \times 2,33 \times \gamma w$$

$$= 2,71 \text{ ton/m}$$

$$\text{Beban total (q)} = q_1 + q_2 + q_3$$

$$= 24,5 + 0,11 + 2,71$$

$$= 27,32 \text{ ton/m}$$

$$\text{Momen (M)} = \frac{1}{8} \times q \times L^2$$

$$= \frac{1}{8} \times 27,32 \times 10,2^2$$

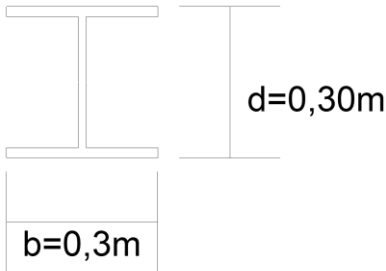
$$= 355,29 \text{ ton.m}$$

Momen Kelembaman (W)

$$W = \frac{M}{\sigma} ; W = \frac{1}{6} \times d \times T^2$$

Untuk BJ24, Tegangan ijin baja ($\bar{\sigma}$) adalah 1600 kg/cm²

Direncanakan balok baja pengaku seperti pada gambar 5.3 berikut :



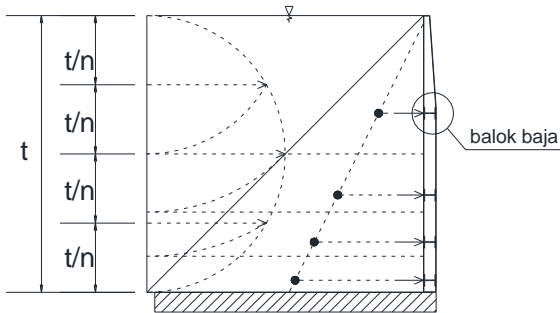
Gambar 5.3 Profil Balok Baja pada Pintu Air Bendung

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{M}{W} \\ \sigma &= \frac{M}{\frac{1}{6} \times d \times T^2} \\ &= \frac{355,29}{\frac{1}{6} \times 0,3 \times (7)^2} \\ &= 145,02 \text{ ton/m}^2 \\ &= 14,502 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

$$\sigma < \bar{\sigma}$$

$$14,502 < 1600$$

Pada tipe pintu sorong (*roller gate*) tekanan air dari pelat daun pintu diteruskan ke balok horisontal utama pintu tersebut melalui balok-balok horisontal. Dari perhitungan tebal pintu diatas didapat dimensi rencana balok baja pada gambar 5.3 diatas dan jarak antar balok baja seperti pada gambar 5.4 berikut :



Gambar 5.4 Rencana Jarak Antar Balok Baja

5.2.7 Perhitungan Untuk Stang

Diketahui :

- Tinggi pintu (T) = 7 m
- Lebar pintu air (Lp) = 10,2 m
- Lebar pintu + sponing (L) = 11 m
- Tinggi m.a diatas pintu = 0,33 m
- Tebal plat untuk daun pintu (t) = 0,012 m
- Tinggi baja profil I (d) = 0,30 m
- Berat baja profil I = 106 kg/m
- Tinggi baja profil C = 0,1 m
- Berat baja profil C = 54,5 m

Direncanakan :

- Diameter stang (D) = 0,10 m
- Panjang stang (lk) = 4,5 m
- BJ baja = 7850 kg/m³

- Gaya-gaya yang dihasilkan apabila pintu ditarik ke atas
 - G pintu
 - G plat daun pintu = $2 \times T \times L \times d \times BJ$
 - = $2 \times 7 \times 11 \times 0,012 \times 7850$
 - = 14.701,85 kg

$$\begin{aligned} G \text{ baja profil I} &= 4 \times \text{berat} \times L \\ &= 4 \times 106 \times 11 \\ &= 4.664 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G \text{ baja profil C} &= (5 \times \text{berat} \times T) + (2 \times \text{berat} \times L) \\ &= (5 \times 54,5 \times 7) + (2 \times 54,5 \times 11) \\ &= 3.132 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$G \text{ pintu} = 14.701,85 + 4.664 + 3.132 = 22.498 \text{ kg} \downarrow$$

➤ G air

$$\begin{aligned} G \text{ air} &= \frac{1}{3} (\gamma_w \times T) \times T \times L \times f ; f = 0,15 \\ &= \frac{1}{3} (1000 \times 7) \times 7 \times 11 \times 0,15 \\ &= 27.679,58 \text{ kg} \downarrow \end{aligned}$$

➤ G stang

$$\begin{aligned} G \text{ stang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times lk \times BJ \times 2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,10^2 \times 4,5 \times 7850 \times 2 \\ &= 554,6 \text{ kg} \downarrow \end{aligned}$$

➤ G aksesoris (las)

$$\begin{aligned} G \text{ aksesoris (las)} &= 10\% \times P \text{ pintu} \\ &= 10\% \times 22.498 \\ &= 2.249,80 \text{ kg} \downarrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G \text{ total } (\sum G) &= G \text{ pintu} + G \text{ air} + G \text{ stang} + G \text{ aksesoris} \\ &= 22.498 + 27.679,58 + 554,6 + 2.249,80 \\ &= 52.981,97 \text{ kg} \downarrow \end{aligned}$$

- Perhitungan gaya tekuk stang

$$Pk = \frac{\pi^2 \times E \times I}{lk^2}$$

Dimana :

Pk = Gaya desak pada stang (N)

E = Modulus elastisitas (N/m²)

= 210.10⁹ N/m² (untuk baja)

$$I = \text{Momen Inersia (m}^4\text{)} \\ = \frac{1}{64} \times \pi \times D^4$$

Untuk perhitungan momen Inersia sebagai berikut :

$$I = \frac{1}{64} \times \pi \times D^4 \\ = \frac{1}{64} \times 3,14 \times 20,10^4 \\ = 4,91 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Kemudian dilanjutkan perhitungan gaya desak pada pintu

$$P_k = \frac{\pi^2 \times E \times I}{lk^2} \\ P_k = \frac{3,14^2 \times 210 \times 10^9 \times 4,91 \times 10^{-6}}{4,5^2} \\ P_k = 501.652,80 \text{ N} \\ = 51.189,06 \text{ kg}$$

Karena satu pintu menggunakan 2 stang untuk mengangkat dan menurunkan pintu, maka berat total pintu dibagi 2.

$$\frac{G_{total}}{2} = \frac{52.981,97}{2} \\ = 26.490,99 \text{ kg}$$

Persyaratan untuk tekukan yang harus dipertimbangkan :

$$P_k \geq \frac{G_{total}}{2} \\ 51.189,06 \text{ kg} \geq 26.490,99 \text{ kg}$$

- Perhitungan momen puntiran stang

$$M_w = \sum G x \tan(\varphi_{maks} + \alpha) x rg$$

Dimana :

$$M_w = \text{Momen puntiran pada stang (kg.m)} \\ D = \text{Diameter stang (m)} \\ dk = \text{Diameter bagian tengah stang (m), } dk = (D-2t) \\ t = 0,003 \text{ m} \\ rg = \text{Jari-jari rata-rata stang (m), } rg = \frac{1}{4}(D+dk) \\ s = \text{Ulir, } s = 2t$$

ϕ_{maks} = Sudut gesekan 8°

α = Sudut ulir, $\tan \alpha = \frac{s}{2 \times \pi \times r_g}$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} dk &= (D-2t) & s &= 2t \\ &= (0,10-2 \times 0,003) & &= 2 \times 0,003 \\ &= 0,094 \text{ m} & &= 0,006 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_g &= \frac{1}{4}(D+dk) & \tan \alpha &= \frac{s}{2 \times \pi \times r_g} \\ &= \frac{1}{4}(0,10+0,094) & &= \frac{0,006}{2 \times 3,14 \times 0,049} \\ &= 0,049 \text{ m} & &= 0,0197 \end{aligned}$$

$$\alpha = 1,117^\circ$$

$$\begin{aligned} M_w &= \sum G \times \tan(\phi_{maks} + \alpha) \times r_g \\ &= 52.981,97 \times \tan(8^\circ + 1,117^\circ) \times 0,049 \\ &= 412,37 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Perhitungan momen tekuk pada puntiran

$$M_k = \frac{2 \times \pi \times E \times I}{lk}$$

Dimana :

M_k = momen tekuk (kg.m)

E = Modulus elastisitas (N/m^2)
 $= 210.10^9 \text{ N/m}^2$ (untuk baja)

I = Momen Inersia (m^4)
 $= \frac{1}{64} \times \pi \times D^4$

Perhitungan :

$$M_k = \frac{2 \times \pi \times E \times I}{lk}$$

$$M_k = \frac{2 \times 3,14 \times 210 \times 10^9 \times 4,91 \times 10^{-6}}{4,5}$$

$$M_k = 1.437.858,33 \text{ Nm}$$

$$M_k = 146.720,24 \text{ kg.m}$$

Persyaratan untuk tekukan yang harus dipertimbangkan :

$$Mk \geq Mw$$

$$146.720,24 \text{ kg.m} \geq 412,37 \text{ kg.m}$$

- Tegangan yang harus dicek

Tegangan luluh pada BJ 50 ($\bar{\sigma}$) = 290.10^6 N/m^2

Tegangan Tarik nominal

$$\sigma = \frac{T}{\frac{1}{4} \times \pi \times dk^2}$$

Dimana :

T = Gaya Tarik nominal (kg), $T = 2/3(\sum G)$

dk = diameter bagian tengah stang (m)

Perhitungan :

$$T = 2/3(52.981.97)$$

$$= 35.321,32 \text{ kg}$$

$$\sigma = \frac{T}{\frac{1}{4} \times \pi \times dk^2}$$

$$= \frac{35.321,32}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,094^2}$$

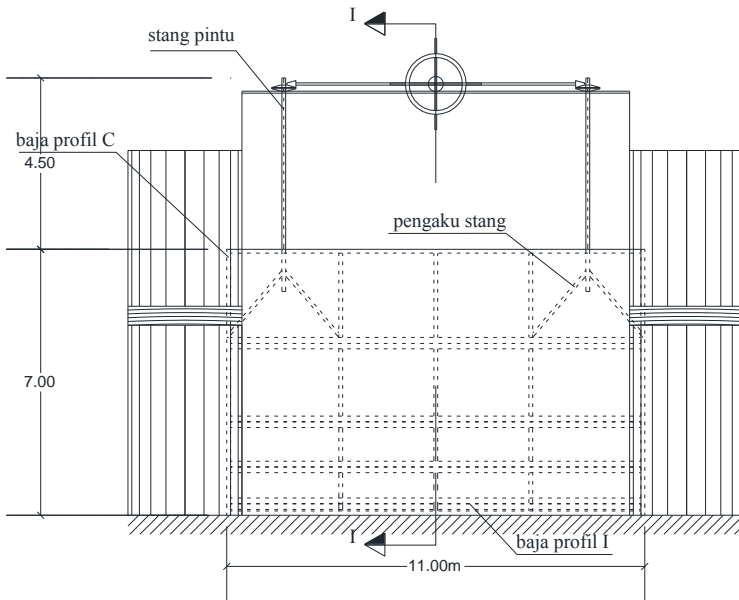
$$= 5.092.271 \text{ kg/m}^2$$

$$= 49,9.10^6 \text{ N/m}^2$$

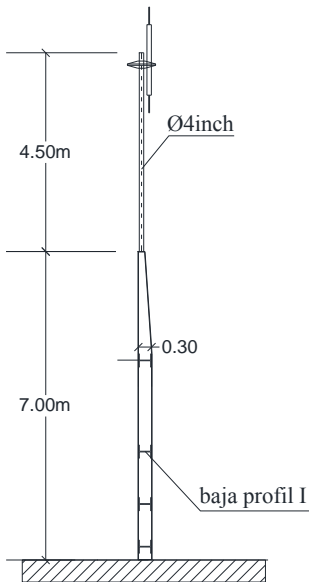
Tegangan tarik (σ) \leq Tegangan luluh BJ 50 ($\bar{\sigma}$)

$$49,9.10^6 \text{ N/m}^2 \leq 290.10^6 \text{ N/m}^2$$

Apabila persyaratan-persyaratan diatas semuanya terpenuhi, maka diameter yang direncanakan untuk stang 0,1 m dengan panjang 4,5 m memadai untuk mengangkat pintu air baja.



Gambar 5.5 Tampak Depan Pintu Sorong Baja



Gambar 5.6 Potongan I-I Pintu Sorong Baja

5.2.8 Perhitungan Kolam Olak

Dalam perencanaan bendung gerak ini direncanakan memakai kolam olak tipe bucked. Perhitungannya sebagai berikut :

Debit banjir (Q_p) = 1.312,82 m³/det

Lebar efektif bendung (B_{eff}) = 132,7 m

Debit per satuan panjang bendung (q) = 9,89 m³/det/m

Tinggi air diatas mercu bendung (h) = 0,33 m

Percerpatan gravitasi (g) = 9,8 m/det²

Tinggi air kritis (h_c)

$$\begin{aligned} h_c &= \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \\ &= \sqrt[3]{\frac{9,89^2}{9,8}} \\ &= 2,15 \text{ m} \end{aligned}$$

$$z = 3 \text{ m}$$

$$\text{jika } 0,5 < \frac{z}{h_c} < 2$$

maka rumus

$$t = 2,4 \times h_c + 0,4 z$$

$$\text{jika, } 2,0 < \frac{z}{h_c} < 15,0$$

maka rumus

$$t = 3,0 \times h_c + 0,1 z$$

$$\text{Didapat } 2 < 1,40 < 15,0$$

$$\begin{aligned} t &= 3,0 \times h_c + 0,1 z \\ &= 3,0 \times 2,15 + 0,1 \times 3 \\ &= 6,71 \end{aligned}$$

$$a = 0,28 h_c \sqrt{\frac{h_c}{z}}$$

$$a = 0,28 \times 2,15 \sqrt{\frac{2,15}{3}}$$

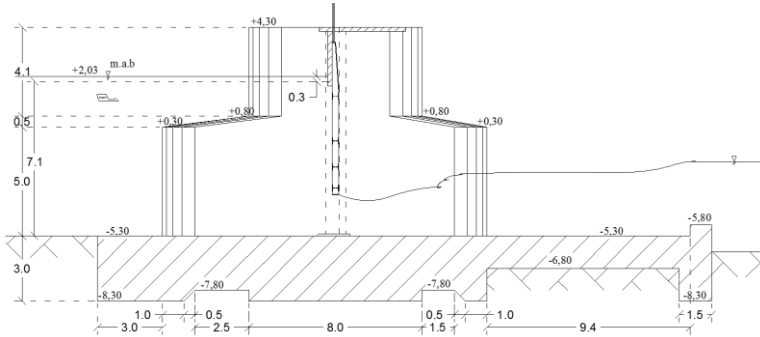
$$a = 0,5 \text{ m}$$

$$D = R = L$$

$$D = t + (z - H)$$

$$D = 6,71 + (3 - 0,33)$$

$$D = 9,38$$



Gambar 5.7 Penampang Kolam Olak

5.3 Operasional Pintu

Untuk mengatur operasional pintu dilakukan perhitungan sebagai berikut :

5.3.1 Perhitungan dengan Metode Mass Curve

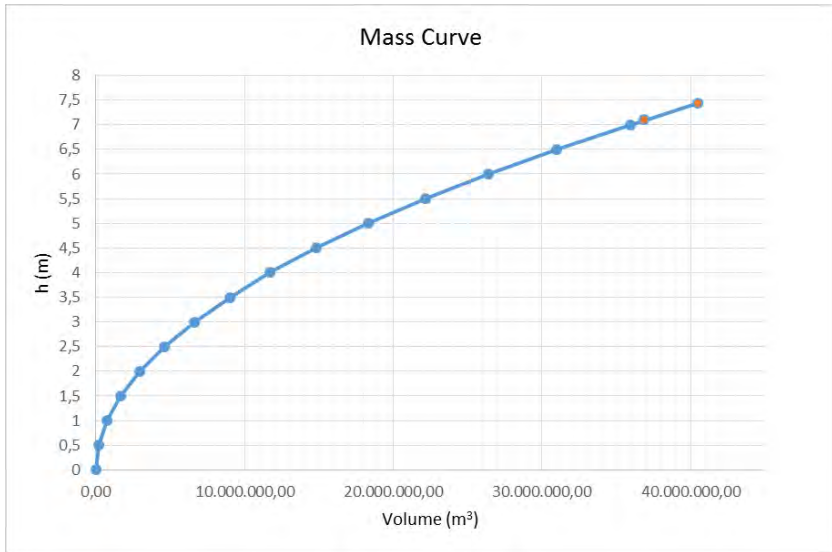
Perhitungan antara tinggi elevasi dan volume dapat dilihat pada tabel 5.2 sebagai berikut :

Tabel 5.2 Perhitungan dengan Metode Mass Curve

h	b	I	L	Volume
m	m		m	m ³
0	1,46,72	0,0001	0	0,00
0,5			5000	183.401,38
1			10000	733.605,52
1,5			15000	1.650.612,43
2			20000	2.934.422,09
2,5			25000	4.585.034,52
3			30000	6.602.449,70
3,5			35000	8.986.667,65
4			40000	11.737.688,36
4,5			45000	14.855.511,84
5			50000	18.340.138,07
5,5			55000	22.191.567,06
6			60000	26.409.798,82
6,5			65000	30.994.833,34
7			70000	35.946.670,61
7,1	70941	36.919.799,14		
7,43	74300	40.498.619,52		

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari tabel diatas dapat dibuat grafik hubungan antara volume dan tinggi elevasi yang dapat dilihat pada gambar 5.8 sebagai berikut :



Gambar 5.8 Grafik Mass Curve

Grafik di atas digunakan untuk mencari tinggi elevasi dari volume kebutuhan, dimana volume kebutuhan sudah dihitung sebelumnya dengan menggunakan metode lengkung S, perhitungannya ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 5.3 Perhitungan Tinggi Elevasi

Bulan	Volume Kumulatif Operasional	H
	m ³	m
0	16.838.504,2	4,8
1	15.650.888,3	4,6
2	28.554.352,4	6,2
3	36.919.799,1	7,1
4	33.526.897,1	6,8
5	31.446.369,5	6,5
6	26.987.870,3	6,1
7	21.088.734,5	5,4
8	14.245.516,2	4,4
9	7.112.102,8	3,1
10	0,0	0,0
11	17.551.520,6	4,9
12	31.977.918,7	6,6

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari perhitungan di atas didapat tinggi elevasi jagaan yang harus dipertahankan agar pintu dapat beroperasi dengan baik atau volume kebutuhan tetap terpenuhi.

Untuk pengoprasian pintu, penjaga pintu air dapat menggunakan tabel berikut untuk dapat selalu mengontrol pintu air.

Tabel 5.4 Pengoprasian Pintu Air

Bulan	Periode 10 harian	Volume	Tinggi Pel Scale Operasional (PCO)	Tinggi Pel Scale Hulu (PCHu)	Tinggi Pel Scale Hilir (PCHi)
		m ³	m	m	m
Desember	Periode 1	16.838.504,2	4,79		
	Periode 2	16.442.632,2	4,73		
	Periode 3	16.046.760,2	4,68		
Januari	Periode 1	15.650.888,3	4,62		
	Periode 2	19.952.043,0	5,22		
	Periode 3	24.253.197,7	5,75		
Pebruari	Periode 1	28.554.352,4	6,24		
	Periode 2	31.342.834,7	6,54		
	Periode 3	34.131.316,9	6,82		
Maret	Periode 1	36.919.799,1	7,09		
	Periode 2	35.788.831,8	6,98		
	Periode 3	34.657.864,4	6,87		
April	Periode 1	33.526.897,1	6,76		
	Periode 2	32.833.387,9	6,69		
	Periode 3	32.139.878,7	6,62		
Mei	Periode 1	31.446.369,5	6,55		
	Periode 2	29.960.203,1	6,39		
	Periode 3	28.474.036,7	6,23		
Juni	Periode 1	26.987.870,3	6,07		
	Periode 2	25.021.491,7	5,84		
	Periode 3	23.055.113,1	5,61		
Juli	Periode 1	21.088.734,5	5,36		
	Periode 2	18.807.661,7	5,06		
	Periode 3	16.526.589,0	4,75		
Agustus	Periode 1	14.245.516,2	4,41		
	Periode 2	11.867.711,8	4,02		
	Periode 3	9.489.907,3	3,60		
Septemeber	Periode 1	7.112.102,8	3,11		
	Periode 2	4.741.401,9	2,54		
	Periode 3	2.370.700,9	1,80		
Oktober	Periode 1	0,0	0,00		
	Periode 2	5.850.506,9	2,82		
	Periode 3	11.701.013,8	3,99		
Nopember	Periode 1	17.551.520,6	4,89		
	Periode 2	22.360.320,0	5,52		
	Periode 3	27.169.119,4	6,09		
Desember	Periode 1	31.977.918,7	6,60		
	Periode 2	21.318.612,5	5,39		
	Periode 3	10.659.306,2	3,81		

Sumber : Hasil Perhitungan

Penjaga pintu air harus selalu membaca pel scale di hulu maupun pel scale di hilir, jika pel scale di hulu lebih tinggi dari

pada pel scale operasional (pel scale yang harus di jaga) maka pintu harus di buka, untuk perhitungannya dapat dilihat pada contoh kasus di bawah ini :

Contoh Kasus :

Pada saat bulan Mei 10 hari pertama air yang datang di hulu bendung menunjukkan tinggi Pale Scale 7m. Namun tuntutan untuk operasional tinggi Pale Scale setinggi 6,55m. Maka tinggi bukaan pintu yang harus dibuka untuk mengalirkan kelebihan air adalah :

$$\text{Tinggi PCO} = 6,55 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi PCHu} = 7 \text{ m}$$

$$\text{Vol saat air setinggi PCO} = 31.446.369,5 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Vol saat air setinggi PCHu} &= \frac{1}{2} \times B \times \frac{h^2}{I} \\ &= 35.946.670,6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta \text{ volume} &= \text{Vol PCHu} - \text{Vol PCO} \\ &= 4.500.301,1 \gg h = 2,48 \text{ m} \end{aligned}$$

diasumsikan waktu untuk mengalirkan kelebihan air lewat bawah pintu selama 24jam

debit yang lewat bawah pintu

$$Q = \frac{\Delta \text{volume}}{24 \times 60 \times 60}$$

$$= 52,09 \text{ m}^3/\text{det}$$

tinggi bukaan pintu

$$g = 9,8 \text{ m/det}^2$$

$$C = 0,6$$

$$b = 10,2 \text{ m}$$

$$z = \text{PCHu} - \text{PCO}$$

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

$$Q = C \times b \times a \times \sqrt{2 \times g \times z}$$

$$a = \frac{Q}{C \times b \times \sqrt{2 \times g \times z}}$$

$$a = 2,9 \quad \text{m (1 pintu)}$$

$$1,4 \quad \text{m (2 pintu)}$$

Jadi, dapat diketahui pintu yang harus di buka pada ketinggian 2,9 m untuk 1 pintu dan 10,2 m untuk 2 pintu dengan debit yang harus dialirkan 52,09 m³/det.

Dari contoh kasus diatas dapat dibuat suatu program perhitungan excel seperti dibawah ini :

Input Data :

Tinggi PCO =

Tinggi PCHu =

Volume air setinggi PCO =

Lebar sungai rata-rata =

Kemiringan rata-rata =

Lebar Pintu =

6,55 m
7 m
31.446.369,5 m³
146,72 m
0,0001
10,2 m

Dengan
memasukkan
data-data seperti
disamping

Volume saat setinggi PCHu	Δ volume	Waktu utk mengalirkan	Debit yg lewat	z	Jumlah Pintu yg dibuka	Tinggi Bukaannya
m ³	m ³	Jam	m ³ /det	m		m
35.946.670,6	4.500.301,1	24	52,09	0,45	1	2,9
35.946.670,6	4.500.301,1	23	54,35	0,45	2	1,5
35.946.670,6	4.500.301,1	10	125,01	0,45	3	2,3
35.946.670,6	4.500.301,1	24	52,09	0,45	4	0,7
35.946.670,6	4.500.301,1	24	52,09	0,45	5	0,6

Masukkan berapa jam waktu yang diinginkan untuk mengalirkan kelebihan air dan berapa pintu yang akan dibuka, maka secara otomatis akan keluar hasil berapa tinggi bukaan pintu yang harus dibuka. Dan penjaga pintu air bisa membuka pintu air sesuai yang diinginkan.

BAB VI

ANALISA STABILITAS BENDUNG GERAK

6.1 Persyaratan Teknis

Stabilitas konstruksi bendung tergantung dari beberapa faktor yang berpengaruh terhadap bendung itu sendiri. Berikut faktor-faktor yang berpengaruh :

- Berat bendung itu sendiri
- Berat pintu
- Tekanan hidrostatik pada pilar
- Berat pintu yang menekan pilar

Stabilitas konstruksi bendung ditinjau dari perhitungan bagian konstruksi yang paling kritis, apabila menerima gaya yang mengakibatkan geser dan guling.

Persyaratan teknis harus dipenuhi dalam perencanaan bendung gerak adalah :

1. Aman terhadap bahaya rembesan (*piping*)

Bidang konstruksi yang dilalui air tidak boleh terjadi rembesan. Agar konstruksi aman terhadap rembesan maka harus memenuhi syarat Lane.

$$CL \cdot \Delta H \leq \sum LV + \frac{\sum LH}{3}$$

Keterangan :

CL = Angka rembesan Lane

$\sum LV$ = Jumlah panjang creep line vertikal (sudut $\geq 45^\circ$) (m)

$\sum LH$ = Jumlah panjang creep line horisontal (sudut $\leq 45^\circ$) (m)

ΔH = Perbedaan tinggi muka air uap stream dan down stream tinggi muka air (m)

2. Bangunan tidak mengguling

$$\frac{\sum MT}{\sum MG} \geq 1,5 - 2$$

Keterangan :

$\sum MT$ = Jumlah momen tahan

$\sum MG$ = Jumlah momen guling

3. Bangunan stabil terhadap geser :

$$\text{faktor keamanan } (FK) = \frac{f \cdot \sum V}{\sum H} \geq 1,3$$

$$\text{koefesien geser } (f) = tg \varphi$$

Keterangan :

$\sum V$ = jumlah gaya-gaya vertikal (ton)

$\sum H$ = jumlah gaya-gaya horizontal (ton)

φ = sudut geser dalam sedalam pondasi bendung

6.2 Perhitungan Terhadap Piping (Rembesan)

Panjang total bidang kontruksi yang dilalui air tidak boleh terjadi piping, untuk gaya kontruksi yang aman terhadap piping harus memenuhi perumusan menurut teori "Lane" :

$$CL \leq \frac{\sum LV + \frac{1}{3} \sum LV}{\Delta H}$$

$$CL \times \Delta H \leq \frac{\sum LH}{3}$$

Di sepanjang jalur aliran yang mempunyai kemiringan < 45° dianggap aliran horizontal. Beda tinggi (ΔH) pada saat terjadi banjir dan beda tinggi (ΔH) pada saat muka air normal.

- Pada Saat Muka Air Banjir

$$\begin{aligned} \Delta H &= [+2,03 \text{ m}] - [+1,1 \text{ m}] \\ &= 0,93 \text{ m} \end{aligned}$$
- Pada Saat Muka Air Normal

$$\begin{aligned} \Delta H &= [+1,7 \text{ m}] - [-5,3 \text{ m}] \\ &= 7,00 \text{ m} \end{aligned}$$

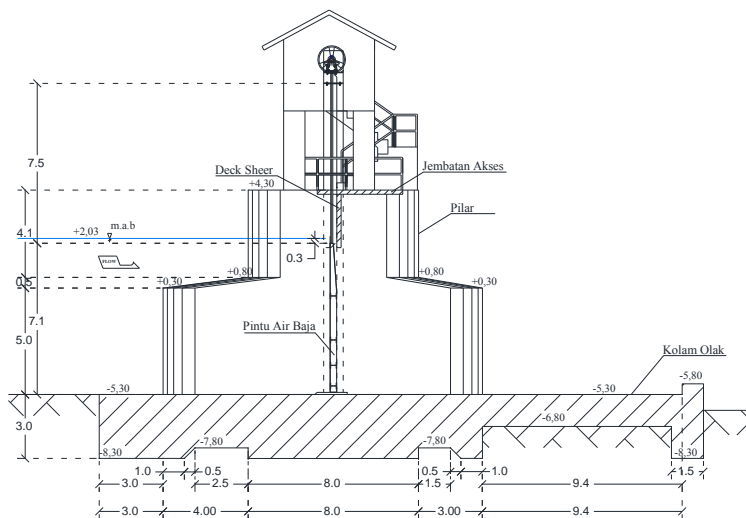
Tabel 6.1 Harga Minimum Angka Rembesan Lane

Bahan	CL
Pasir sangat halus atau lanau	8,5
Pasir sedang	7,0
Pasir kasar	5,0
Kerikil halus	4,0
Kerikil sedang	3,5
Kerikil kasar termasuk berangkal	3,0
Bongkah dengan sedikit berangkal dan kerikil	2,5
Lempung lunak	3,0
Lempung sedang	2,0
Lempung kasar	1,8
Lempung sangat kasar	1,6

Sumber : KP 02 hal 126

Sehubungan dengan keadaan tanah di lokasi Bendung gerak Sembayat terdiri dari lempung dan termasuk dalam area pertanian maka dari tabel 6.1 ditetapkan angka rembesan Lane sebesar 2.

Langkah perhitungan terhadap bahaya piping dilakukan dengan cara mencari panjang bidang yang dilalui air kemudian dikontrol menggunakan rumus Lane. Perhitungan panjang bidang yang dilalui air tersaji di bawah ini :



Gambar 6.1 Bendung Tampak Samping

Tabel 6.2 Perhitungan Panjang Rembesan Ditinjau Saat Muka Air Banjir

L_V		L_H	
L_{AB}	3	L_{BC}	3
L_{DE}	0,7	L_{CD}	1,0
L_{FG}	0,5	L_{EF}	2,5
L_{HI}	0,5	L_{GH}	8,0
L_{JK}	0,7	L_{IJ}	1,5
L_{MN}	3	L_{KL}	1
		L_{Lm}	4
$\sum L_V$	8,4	$\sum LH$	21

Sumber : Hasil perhitungan

Pada Saat Muka Air Banjir

$$\frac{\Sigma LV + \frac{1}{3} \Sigma LH}{\Delta H} \geq CL$$

$$\frac{8,4 + \frac{1}{3} 2,1}{0,93} = 16,6 > 2 \text{ [Ok]}$$

Jadi, bendung tidak terjadi rembesan

Pada Saat Muka Air Setinggi Pintu

$$\frac{\Sigma LV + \frac{1}{3} \Sigma LH}{\Delta H} \geq CL$$

$$\frac{8,4 + \frac{1}{3} 2,1}{7} = 2,2 > 2 \text{ [Ok]}$$

Jadi, bendung tidak terjadi rembesan

6.3 Perhitungan Tekanan Ke Atas (Up-Lift Pressure)

Gaya ke atas Up lift adalah gaya yang menekan bidang pada bendung ke arah vertikal. Besarnya gaya-gaya ruang bekerja tiap-tiap bidang dapat dicari dengan menghitung tekanan pada titik-titik sudut.

$$U_x = (H_x - \frac{L_x}{\Sigma L} \Delta H) \gamma_w$$

Keterangan :

U_x = gaya tekanan ke atas di titik x (ton/m²)

H_x = tinggi air upstream bendung sampai titik x (m)

L_x = jarak sepanjang bidang kontak dari elevasi muka air upstream sampai titik x (m)

L = panjang total bidang kontak (m)

ΔH = beda tinggi energi (m)

Tabel 6.3 Perhitungan Gaya Up-Lift Pada Titik Pada Saat Muka Air Banjir

Titik	Garis	Panjang Creap Line				H	ΔH	Gaya Up Lift Pada Titik	
		Vert	Hor	1/3 horz	Kumulatif vert +1/3 horz				
		m	m	m	m	m	ton/m ²		
A					0	7,1	0,93	= 7,1 x (0/15,400) x 0,7 x 1	7,1
	AB	3							
B					3	10,1	0,93	= 10,1 x (3/15,400) x 0,7 x 1	9,9
	BC		3	1,0					
C					4,00	10,1	0,93	= 10,1 x (4/15,400) x 0,7 x 1	9,9
	CD		1	0,3					
D					4,33	10,1	0,93	= 10,1 x (4,33/15,400) x 0,7 x 1	9,8
	DE	0,7							
E					5,033	9,6	0,93	= 9,6 x (5,033/15,400) x 0,7 x 1	9,3
	EF		2,5	0,8					
F					5,867	9,6	0,93	= 9,6 x (5,867/15,400) x 0,7 x 1	9,2
	FG	0,5							
G					6,37	10,1	0,93	= 10,1 x (6,37 /15,400) x 0,7 x 1	9,7
	GH		8	2,7					
H					9,03	10,1	0,93	= 10,1 x (9,03/15,400) x 0,7 x 1	9,6
	HI	0,5							
I					9,53	9,6	0,93	= 9,6 x (9,53/15,400) x 0,7 x 1	9,0
	IJ		1,5	0,5					
J					10,03	9,6	0,93	= 9,6 x (10,03/15,400) x 0,7 x 1	9,0
	JK	0,7							
K					10,733	10,1	0,93	= 10,1 x (10,733/15,400) x 0,7 x 1	9,5
	KL		1	0,3					
L					11,067	10,1	0,93	= 10,1 x (11,067/15,400) x 0,7 x 1	9,4
	LM	3							
M					14,067	10,1	0,93	= 10,1 x (14,067/15,400) x 0,7 x 1	9,3
	MN		4	1,3					
N					15,400	7,1	0,93	= 7,1 x (15,400/15,400) x 0,7 x 1	6,2

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 6.4 Perhitungan Gaya Up-Lief Pada Titik Pada Saat Muka Air Normal

Titik	Garis	Panjang Creap Line				H	ΔH	Gaya Up Lift Pada Titik ton/m ²	
		Vert	Hor	1/3 horz	Kumulatif vert +1/3 horz				
		m	m	m	m	m			
A					0	7	7	$= 7,1 \times (0/15,400) \times 0,7 \times 1$	7,0
	AB	3							
B					3	10	7	$= 10,1 \times (3/15,400) \times 0,7 \times 1$	8,6
	BC		3	1,0					
C					4,00	10	7	$= 10,1 \times (4/15,400) \times 0,7 \times 1$	8,2
	CD		1	0,3					
D					4,33	10	7	$= 10,1 \times (4,33/15,400) \times 0,7 \times 1$	8,0
	DE	0,7							
E					5,033	9,5	7	$= 9,6 \times (5,033/15,400) \times 0,7 \times 1$	7,2
	EF		2,5	0,8					
F					5,867	9,5	7	$= 9,6 \times (5,867/15,400) \times 0,7 \times 1$	6,8
	FG	0,5							
G					6,37	10	7	$= 10,1 \times (6,37/15,400) \times 0,7 \times 1$	7,1
	GH		8	2,7					
H					9,03	10	7	$= 10,1 \times (9,03/15,400) \times 0,7 \times 1$	5,9
	HI	0,5							
I					9,53	9,5	7	$= 9,6 \times (9,53/15,400) \times 0,7 \times 1$	5,2
	IJ		1,5	0,5					
J					10,03	9,5	7	$= 9,6 \times (10,03/15,400) \times 0,7 \times 1$	4,9
	JK	0,7							
K					10,733	10	7	$= 10,1 \times (10,733/15,400) \times 0,7 \times 1$	5,1
	KL		1	0,3					
L					11,067	10	7	$= 10,1 \times (11,067/15,400) \times 0,7 \times 1$	5,0
	LM	3							
M					14,067	10	7	$= 10,1 \times (14,067/15,400) \times 0,7 \times 1$	3,6
	MN		4	1,3					
N					15,400	7	7	$= 7,1 \times (15,400/15,400) \times 0,7 \times 1$	0,0

Sumber : Hasil Perhitungan

Perhitungan Up-Lift Pada Bidang Saat Muka Air Banjir

$$U1 = 9,86 \times 3 \times 3$$

$$= 88,73 \text{ ton}$$

$$U2 = \frac{1}{2} (9,92 - 9,86) \times 3 \times 3$$

$$= 0,27 \text{ ton}$$

$$U3 = 9,84 \times 1 \times 3$$

$$= 29,51 \text{ ton}$$

$$U4 = 9,25 \times 2,5 \times 3$$

$$= 69,34 \text{ ton}$$

$$U5 = \frac{1}{2} (9,3 - 9,25) \times 2,5 \times 3$$

$$= 0,19 \text{ ton}$$

$$U6 = 9,55 \times 8 \times 3$$

$$= 232,545 \text{ ton}$$

$$U7 = \frac{1}{2} (9,72 - 9,55) \times 8 \times 3$$

$$= 1,93 \text{ ton}$$

$$U8 = 8,99 \times 1,5 \times 3$$

$$= 40,47 \text{ ton}$$

$$U9 = \frac{1}{2} (9,02 - 8,99) \times 8 \times 3$$

$$= 0,051 \text{ ton}$$

$$U10 = 9,45 \times 1, \times 3$$

$$= 28,36 \text{ ton}$$

Perhitungan Up-Lift Pada Bidang Saat Muka Air Normal

$$U1 = 8,18 \times 3 \times 3$$

$$= 73,64 \text{ ton}$$

$$U2 = \frac{1}{2} (8,64 - 8,18) \times 3 \times 3$$

$$= 2,05 \text{ ton}$$

$$U3 = 8,03 \times 1 \times 3$$

$$= 24,09 \text{ ton}$$

$$U4 = 6,83 \times 2,5 \times 3$$

$$= 51,25 \text{ ton}$$

$$U5 = \frac{1}{2} (7,21 - 6,83) \times 2,5 \times 3$$

$$= 1,42 \text{ ton}$$

$$U6 = 5,89 \times 8 \times 3$$

$$= 141,45 \text{ ton}$$

$$U7 = \frac{1}{2} (7,11 - 5,89) \times 8 \times 3$$

$$= 1,455 \text{ ton}$$

$$U8 = 4,94 \times 1,5 \times 3$$

$$= 22,23 \text{ ton}$$

$$U9 = \frac{1}{2} (5,17 - 4,94) \times 8 \times 3$$

$$= 0,51 \text{ ton}$$

$$U10 = 5,12 \times 1, \times 3$$

$$= 15,36 \text{ ton}$$

6.3 Perhitungan Daya dukung Tanah

Daya dukung tanah dihitung berdasarkan perumusan Terzaghi :

$$q_u = 1,3 C \cdot N_c + \gamma \cdot D \cdot N_q + \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

$$\bar{\sigma} = \frac{q_u}{SF}$$

Daya dukung tanah ijin :

Tabel 6.5 Faktor-Faktor Daya Dukung Tanah

Φ	N_c	N_q	N_γ	N_c'	N_q'	N_γ'
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1	0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

Dengan nilai $\phi = 30^\circ$ dari tabel faktor daya dukung terzaghi didapat :

$$N_c = 37,2$$

$$N_q = 22,5$$

$$N_\gamma = 19,7$$

$$F_s = 2,5$$

$$\gamma_t = 1,66 \text{ ton/m}^3$$

$$C = 0,496$$

$$\gamma_{sat} = 1,90 \text{ ton/m}^3$$

$$\begin{aligned} \gamma' &= \gamma_{sat} - \gamma_w \\ &= 1,90 - 1 \\ &= 0,90 \text{ ton/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q &= \gamma_t(D_f - D) + \gamma' D \\ &= 1,66(8,3 - 6,3) + 0,90 \times 6,3 \\ &= 8,99 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_u &= 1,3 C \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \\ &= 1,3(0,496 \times 37,2) + (8,99 \times 22,5) + 0,5 \times 0,90 \times 22 \times 19,7 \\ &= 252,86 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{\sigma} &= \frac{q_u}{F_s} \\ &= \frac{252,86}{2} \\ &= 126,43 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

6.4 Perhitungan Stabilitas Bendung

6.4.1 Beban Akibat Gempa

Koefisien gempa dapat dihitung rumus berikut :

$$ad = n \times (ac \times Z)^m$$

$$E = \frac{ad}{g}$$

Keterangan :

Ad = Percepatan gempa rencana cm/det

n,m = Koefisien untuk jenis tanah

ac = Percepatan kejut dasar cm/det²

E = Koefisien gempa

g = Percepatan gravitasi

Z = Faktor yang tergantung pada letak geografis

Tabel 6.6 Koefisien Jenis Tanah

jenis	n	m
batu	2,76	0,71
Divilium	0,87	1,05
Aluvium	1,5	0,89
Aluvium lunak	0,29	1,32

Sumber : KP.06 hal 37

Tabel 6.7 Periode Ulang dan Percepatan Dasar Gempa Ac

Periode ulang (tahun)	Ac(gal=cm/det ²)
20	85
100	160
500	225
1000	275

Sumber : KP.06 hal 37

6.4.2 Perhitungan Koefisien Gempa (E)

Perhitungan koefisien gempa (E) di daerah bendung gerak sembayat adalah sebagai berikut :

Diketahui :

$$\begin{aligned} n &= 1,5 \\ m &= 0,89 \\ ac &= 85 \\ Z &= 1 \\ g &= 9,8 \text{ m/det}^2 \\ &= 980 \text{ cm/det}^2 \end{aligned}$$

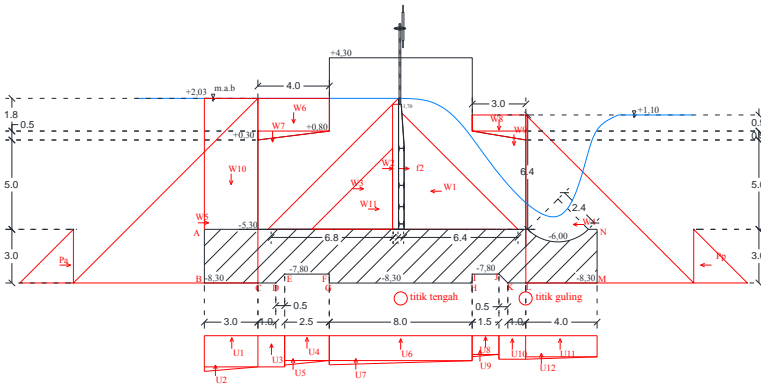
$$\begin{aligned} Ad &= n \times (ac \times Z)^m \\ &= 1,5 \times (85 \times 1)^{0,89} \\ &= 78,21 \text{ cm/det}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= \frac{ad}{g} \\ &= \frac{78,21}{980} \\ &= 0,08 \end{aligned}$$

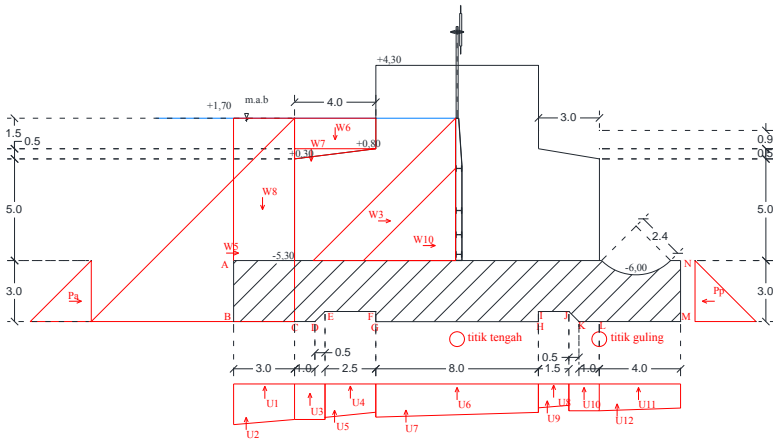
Data tanah di daerah bendung gerak dibangun :

$$\begin{aligned} \gamma_t &= 1,66 \text{ ton/m}^3 \\ \emptyset &= 30^\circ \\ \gamma_{pas} &= 2,2 \text{ ton/m}^3 = 2200 \text{ kg/m}^3 \\ c &= 0,496 \end{aligned}$$

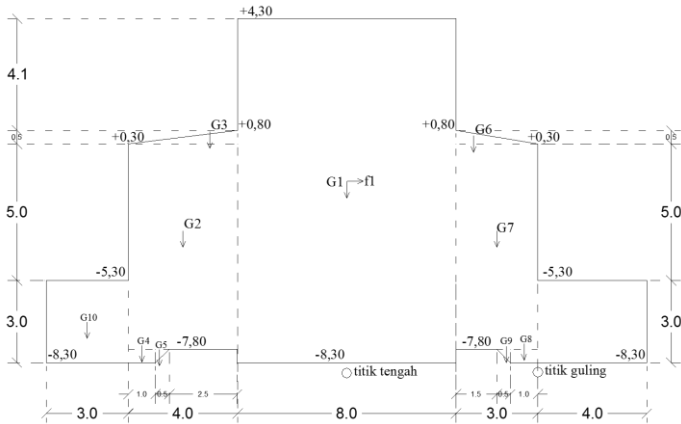
$$\begin{aligned} \text{Tinggi pilar (h)} &= 9,6 \text{ m} \\ \text{Lebar pilar (b)} &= 3 \text{ m} \\ \text{Panjang pilar (l)} &= 15 \text{ m (direncanakan)} \\ \text{Tinggi pintu (T)} &= 7 \text{ m} \\ \text{Lebar pintu (L)} &= 11 \text{ m} \\ \text{Tinggi MAB} &= 0,33 \text{ m} \\ \text{Tinggi pondasi} &= 3 \text{ m} \\ \text{Tinggi pondasi-MAB} &= 10,4 \text{ m} \end{aligned}$$



Gambar 6.2 Gaya-gaya yang Bekerja pada Bendung Gerak (MAB)



Gambar 6.3 Gaya-gaya yang Bekerja pada Bendung (muka air normal)



Gambar 6.4 Berat Sendiri Pada Bendung

Gaya – gaya yang bekerja pada pintu dan pilar saat muka air banjir :

Tekanan air aktif pada pilar

$$\begin{aligned}
 W5 &= \frac{1}{2} \times \gamma_w \times h^2 \times l \\
 &= \frac{1}{2} \times 1 \times 10,4 \times 10,4 \times 3 \\
 &= 163,04 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Tekanan air pasif pada pilar

$$\begin{aligned}
 W4 &= \frac{1}{2} \times \gamma_w \times h^2 \times l \\
 &= \frac{1}{2} \times 1 \times 9,5 \times 19,5 \times 3 \\
 &= 135,25 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Tekanan air aktif pada pintu

$$\begin{aligned}
 W2 &= \gamma_w \times T \times L \times 0,3 \\
 &= 1 \times 7 \times 10,2 \times 0,3 \\
 &= 24 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W3 &= \frac{1}{2} \times \gamma_w \times T \times T \times l \\
 &= \frac{1}{2} \times 1 \times 7 \times 7 \times 10,2 \\
 &= 256,7 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Tekanan air pasif pada pintu

$$\begin{aligned}
 W1 &= \frac{1}{2} \times \gamma_w \times T \times T \times l \\
 &= \frac{1}{2} \times 1 \times 6,5 \times 6,5 \times 10,2 \\
 &= 215,19 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Berat Sendiri Bendung

$$\begin{aligned}
 G1 &= 12,6 \times 8 \times 3 \times 2,4 \\
 &= 725,76 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G2 &= 7,5 \times 4 \times 3 \times 2,4 \\
 &= 216 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G3 &= 0,5 \times 0,5 \times 4 \times 2,4 \times 3 \\
 &= 7,2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G4 &= 1 \times 0,5 \times 2,4 \times 3 \\
 &= 3,6 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G5 &= 0,5 \times 0,5 \times 0,5 \times 3 \\
 &= 0,9 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G6 &= 0,5 \times 0,5 \times 3 \times 2,4 \times 3 \\
 &= 5,4 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G7 &= 7,5 \times 3 \times 3 \times 2,4 \\
 &= 162 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G8 &= 1 \times 0,5 \times 2,4 \times 3 \\
 &= 3,6 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G9 &= 0,5 \times 0,5 \times 0,5 \times 3 \\
 &= 0,9 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G10 &= 3 \times 3 \times 3 \\
 &= 27 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Berat pintu

Gpintu = 22.489 kg = 22,489 ton (didapat dari perhitungan pada perhitungan BAB V halaman 122)

$$\begin{aligned} K_a &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) \\ &= 0,33 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_p &= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{30^\circ}{2} \right) \\ &= 3 \end{aligned}$$

Tekanan tanah aktif

$$\begin{aligned} P_a &= \frac{1}{2} \times K_a \times \gamma t \times d^2 \times \text{tebal pilar} \\ &= \frac{1}{2} \times 0,33 \times 1,66 \times 3^2 \times 3 \\ &= 7,47 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tekanan tanah pasif

$$\begin{aligned} P_p &= \frac{1}{2} \times K_p \times \gamma t \times h^2 \times \text{tebal pilar} \\ &= \frac{1}{2} \times 3 \times 1,66 \times 3^2 \times 3 \\ &= 67,23 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f &= \tan \phi \\ &= \tan 30^\circ \\ &= 0,58 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gempa pada pilar} &= E \times G_{\text{pilar}} \\ &= 0,08 \times 725,76 \\ &= 57,92 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Gempa pada pintu} &= E \times G_{\text{pintu}} \\ &= 0,08 \times 21,81 \\ &= 1,74 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tekanan Sedimen W10} &= \frac{1}{2} \times \gamma_{\text{sub}} \times h^2 \times \text{tebal pilar} \\ &= \frac{1}{2} \times 0,65 \times 2,37^2 \times 3 \\ &= 6,07 \text{ ton}\end{aligned}$$

Perhitungan Kestabilan

Tabel 6.8 Perhitungan Gaya dan Momen Bekerja Pada Pilar (MAB)

No	Gaya	Notasi	Besaran	Arah Gaya	Lengan	Momen Tahan (Mt)	Momen Guling (Mg)	Lengan Terhadap Titik Tengah	Momen Terhadap Titik Tengah Pondasi
			ton		m	ton.m	ton.m	m	ton.m
1	2	3	4	5	6	7 = 4 x 6	8 = 4 x 6	9	10 = 4 x 9
1	Berat Sendiri	G1	725,76	↓	7,00	5080,32		0,00	0,00
2		G2	216,00	↓	13,00	2808,00		6,00	1296,00
3		G3	7,20	↓	12,33	88,78		5,33	38,38
4		G4	3,60	↓	14,50	52,20		7,50	27,00
5		G5	0,90	↓	13,84	12,46		6,83	6,15
6		G6	5,40	↓	2,00	10,80		5,00	27,00
7		G7	162,00	↓	1,50	243,00		5,50	891,00
8		G8	3,60	↓	0,50	1,80		6,50	23,40
9		G9	0,90	↓	1,16	1,04		5,83	5,25
10		G10	27,00	↓	16,50	445,50		9,50	256,50
11	Tekanan tanah pasif	Pp	67,23	←	1,00	67,23		1,00	67,23
12	Tekanan air pasif pada pintu	W1	215,19	←	5,13	1103,94		5,13	1103,94
13	Tekanan air aktif pada pintu	W2	24,00	→	6,55		157,11	6,55	157,11
14	Tekanan air aktif pada pintu	W3	256,67	→	5,36		1376,93	5,36	1376,93
15	Tekanan air pasif pada pilar	W4	135,25	←	3,13	423,34		3,13	423,34
16	Tekanan air aktif pada pilar	W5	163,04	→	3,48		566,62	2,48	403,58
17	Tekanan tanah aktif	Pa	7,47	→	1,00		7,47	1,00	7,47
18	Gempa pada pilar	f1	57,92	→	6,30		364,91	6,30	364,91
19	Gempa pada pintu	f2	4,23	→	6,55		27,68	6,55	27,68
20	Tekanan Sedimen	W11	6,07	→	3,83	23,20		3,83	23,20
21	Berat Air	W6	21,96	↓	13,00	285,48		6,00	131,76
22		W7	3,00	↓	13,67	41,01		6,67	20,00
23		W8	9,90	↓	1,50	14,85		5,50	54,45
24		W9	1,35	↓	1,00	1,35		6,00	8,10
25		W10	66,83	↓	16,50	1102,72		9,50	634,90
26	Uplift	U1	88,73	↑	16,50		1463,98	9,50	842,90
27		U2	0,27	↑	17,00		4,62	10,00	2,72
28		U3	29,51	↑	14,50		427,97	7,50	221,36
29		U4	69,34	↑	12,25		849,45	5,25	364,05
30		U5	0,19	↑	12,67		2,39	5,67	1,07
31		U6	229,31	↑	7,00		1605,15	0,00	0,00
32		U7	1,93	↑	8,33		16,10	1,33	2,57
33		U8	40,47	↑	1,50		60,71	4,75	192,25
34		U9	0,07	↑	2,00		0,14	5,50	0,37
35		U10	28,36	↑	0,50		14,18	6,50	184,31
ΣV			767,22		ΣMomen	11.703,777	6.917,383	-	595,888
ΣH			101,71						

Sumber : Hasil Perhitungan

- Syarat terhadap geser

$$\frac{\sum V}{\sum H} \times f \geq 1,3$$

$$\frac{767,22}{101,71} \times 0,58 = 4,4 > 1,3 \quad [\text{Ok}]$$

Jadi, bendung tahan terhadap geser

- Syarat terhadap guling

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \frac{\sum \text{momen tahan}}{\sum \text{momen guling}} \geq 1,5 - 2 \\ &= \frac{11.703,777}{6.917,383} = 1,7 > 1,5 \quad [\text{Ok}] \end{aligned}$$

Jadi, bendung tahan terhadap guling

- Syarat terhadap tekanan tanah

$$\sigma_{\text{tanah yg terjadi}} < \bar{\sigma}_t$$

$$\sigma = \frac{\sum V}{F} \pm \frac{\sum M \text{ terhdap titik tengah pondasi}}{W}$$

$$\sigma = \frac{767,22}{15 \times 3} \pm \frac{595,888}{1/6 \times 15^2 \times 3}$$

$$\sigma = 17,00 \pm 5,3$$

$$\sigma_1 = 22,35 \text{ ton/m}^2$$

$$\sigma_2 = 11,75 \text{ ton/m}^2$$

$$\sigma_1 = 22,35 \text{ ton/m}^2 < \bar{\sigma}_t \quad 126,43 \text{ ton/m}^2$$

$$\sigma_2 = 11,75 \text{ ton/m}^2 < \bar{\sigma}_t \quad 126,43 \text{ ton/m}^2$$

Jadi, bendung tidak turun

Gaya – gaya yang bekerja pada pintu dan pilar saat air setinggi pintu (normal)

Tekanan air aktif pada pilar

$$\begin{aligned} W5 &= \frac{1}{2} \times \gamma_w \times h^2 \times l \\ &= \frac{1}{2} \times 1 \times 10 \times 10 \times 3 \\ &= 152,84 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tekanan air aktif pada pintu

$$\begin{aligned} W3 &= \frac{1}{2} \times \gamma_w \times T \times T \times l \\ &= \frac{1}{2} \times 1 \times 7 \times 7 \times 10,2 \\ &= 256,7 \text{ ton} \end{aligned}$$

Berat Sendiri Bendung

$$\begin{aligned} G1 &= 12,6 \times 8 \times 3 \times 2,4 \\ &= 725,76 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G2 &= 7,5 \times 4 \times 3 \times 2,4 \\ &= 216 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G3 &= 0,5 \times 0,5 \times 4 \times 2,4 \times 3 \\ &= 7,2 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G4 &= 1 \times 0,5 \times 2,4 \times 3 \\ &= 3,6 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G5 &= 0,5 \times 0,5 \times 0,5 \times 3 \\ &= 0,9 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G6 &= 0,5 \times 0,5 \times 3 \times 2,4 \times 3 \\ &= 5,4 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G7 &= 7,5 \times 3 \times 3 \times 2,4 \\ &= 162 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G8 &= 1 \times 0,5 \times 2,4 \times 3 \\ &= 3,6 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G9 &= 0,5 \times 0,5 \times 0,5 \times 3 \\ &= 0,9 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G10 &= 3 \times 3 \times 3 \\ &= 27 \text{ ton} \end{aligned}$$

Berat pintu

Gpintu = 21.808,32 Kg = 21,81 ton (didapat dari perhitungan pada perhitungan BAB V halaman 121)

$$\begin{aligned} K_a &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) \\ &= 0,33 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_p &= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{30^\circ}{2} \right) \\ &= 3 \end{aligned}$$

Tekanan tanah aktif

$$\begin{aligned} P_a &= \frac{1}{2} \times K_a \times \gamma t \times d^2 \times \text{tebal pilar} \\ &= \frac{1}{2} \times 0,33 \times 1,66 \times 3^2 \times 3 \\ &= 7,47 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tekanan tanah pasif

$$\begin{aligned} P_p &= \frac{1}{2} \times K_p \times \gamma t \times h^2 \times \text{tebal pilar} \\ &= \frac{1}{2} \times 3 \times 1,66 \times 3^2 \times 3 \\ &= 67,23 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f &= \tan \phi \\ &= \tan 30^\circ \\ &= 0,58 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gempa pada pilar} &= E \times G_{\text{pilar}} \\ &= 0,08 \times 725,76 \\ &= 57,92 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gempa pada pintu} &= E \times G_{\text{pintu}} \\ &= 0,08 \times 21,81 \\ &= 1,74 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan Sedimen } W10 &= \frac{1}{2} \times \gamma_{\text{sub}} \times h^2 \times \text{tebal pilar} \\ &= \frac{1}{2} \times 0,65 \times 2,37^2 \times 3 \\ &= 6,07 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tabel 6.9 Perhitungan Gaya dan Momen Bekerja Pada Pilar (MAN)

No	Gaya	Notasi	Besaran ton	Arah Gaya	Lengan	Momen Tahan (Mt)	Momen Guling (Mg)	Lengan Terhadap Titik Tengah	Momen Terhadap Titik Tengah Pondasi
					m	ton.m	ton.m	m	ton.m
1	2	3	4	5	6	7 = 4 x 6	8 = 4 x 6	9	10 = 4 x 9
1	Berat Sendiri	G1	725,76	↓	7,00	5080,32		0,00	0,00
2		G2	216,00	↓	13,00	2808,00		6,00	1296,00
3		G3	7,20	↓	12,33	88,78		5,33	38,38
4		G4	3,60	↓	14,50	52,20		7,50	27,00
5		G5	0,90	↓	13,84	12,46		6,83	6,15
6		G6	5,40	↓	2,00	10,80		5,00	27,00
7		G7	162,00	↓	1,50	243,00		5,50	891,00
8		G8	3,60	↓	0,50	1,80		6,50	23,40
9		G9	0,90	↓	1,16	1,04		5,83	5,25
10		G10	27,00	↓	16,50	445,50		9,50	256,50
11	Tekanan tanah pasif	Pp	67,23	←	1,00	67,23		1,00	67,23
12	Tekanan air aktif pada pintu	W3	256,67	→	5,36		1376,93	5,36	1376,93
13	Tekanan air aktif pada pilar	W5	152,84	→	3,48		531,15	3,48	531,15
14	Tekanan tanah aktif	Pa	7,47	→	1,00		7,47	1,00	7,47
15	Gempa pada pilar	f1	57,92	→	6,30		364,91	6,30	364,91
16	Gempa pada pintu	f2	4,23	→	6,55		27,68	6,55	27,68
17	Tekanan Sedimen	W10	6,07	→	3,83	23,20		3,83	23,20
18	Berat Air	W6	18,00	↓	13,00	234,00		6,00	108,00
19		W7	3,00	↓	13,67	41,01		6,67	20,00
20		W8	80,87	↓	16,50	1334,40		9,50	768,29
21	Uplift	U1	73,64	↑	16,50		1215,00	9,50	699,55
22		U2	2,05	↑	17,00		34,77	10,00	20,45
23		U3	24,09	↑	14,50		349,32	7,50	180,68
24		U4	51,25	↑	12,25		627,81	5,25	269,06
25		U5	1,42	↑	12,67		18,00	5,67	8,05
26		U6	141,45	↑	7,00		990,18	0,00	0,00
27		U7	14,55	↑	8,33		121,16	1,33	19,35
28		U8	22,23	↑	1,50		33,34	4,75	105,58
29		U9	0,51	↑	2,00		1,02	5,50	2,81
30		U10	15,36	↑	0,50		7,68	6,50	99,86
ΣV			907,69		ΣMomen	10.040,113	5.706,431	-	1.570,531
ΣH			417,96						

Sumber : Hasil Perhitungan

- Syarat terhadap geser

$$\frac{\sum V}{\sum H} \times f \geq 1,3$$

$$\frac{907,69}{417,96} \times 0,58 = 1,3 = 1,3 \quad [\text{Ok}]$$

Jadi, bendung tahan terhadap geser

- Syarat terhadap guling

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \frac{\sum \text{momen tahan}}{\sum \text{momen guling}} \geq 1,5 - 2 \\ &= \frac{10.040,113}{5.706,431} = 1,8 > 1,5 \quad [\text{Ok}] \end{aligned}$$

Jadi, bendung tahan terhadap guling

- Syarat terhadap tekanan tanah

$$\sigma_{\text{tanah yg terjadi}} < \bar{\sigma}_t$$

$$\sigma = \frac{\sum V}{F} \pm \frac{\sum M \text{ terhdap titik tengah pondasi}}{W}$$

$$\sigma = \frac{907,69}{15 \times 3} \pm \frac{1.570,531}{1/6 \times 15^2 \times 3}$$

$$\sigma = 20,2 \pm 14$$

$$\sigma_1 = 34,13 \text{ ton/m}^2$$

$$\sigma_2 = 6,21 \text{ ton/m}^2$$

$$\sigma_1 = 34,13 \text{ ton/m}^2 < \bar{\sigma}_t \quad 126,43 \text{ ton/m}^2$$

$$\sigma_2 = 6,21 \text{ ton/m}^2 < \bar{\sigma}_t \quad 126,43 \text{ ton/m}^2$$

Jadi, bendung tidak turun

KESIMPULAN DAN PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil yang diperoleh melalui analisa perencanaan dan perhitungan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Bendung gerak dibangun pada sudetan Sungai Bengawan Solo yang terletak di Desa Sidomukti Kecamatan Bungah Kabupaten Gresik.
2. Dengan dibangunnya bendung gerak di desa Sidomukti, maka dapat mencukupi kebutuhan air untuk irigasi $1,747 \text{ m}^3/\text{det}$, kebutuhan air baku $0,746 \text{ m}^3/\text{det}$ dan kebutuhan untuk industri $0,495 \text{ m}^3/\text{det}$ serta dapat mengendalikan banjir di daerah tersebut.
3. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan data hujan selama 15 tahun dan debit periode ulang 50 tahun ($Q_{50\text{tahun}} = 1.541,44 \text{ m}^3/\text{det}$ dan perhitungan debit model FJ.Mock, didapatkan data teknis bendung gerak sebagai berikut :
 - a. Persawahan disekitar bendung gerak diairi dengan sistem gravitasi karena elevasi sawah lebih rendah dari elevasi muka air normal.
 - b. Elevasi mercu bendung ditetapkan berdasarkan tuntutan elevasi muka air irigasi sampai mercu bendung.
 - c. Tubuh bendung :

- Tipe	= bendung gerak
- Lebar total bendung	= $168,7 \text{ m}$
- Elevasi pilar bendung	= $+4,30 \text{ m}$
- Jumlah pilar	= 12 pilar
- Lebar pilar	= 3 m
- Panjang pilar	= 15 m
- Jumlah pintu	= 13 pintu
- Tinggi pintu	= 7 m
- Lebar pintu	= $10,2 \text{ m}$

- Lebar pintu + sponing = 11 m
 - Tinggi mercu = +1,70 m
- d. Kolam olak :
- Tipe = Vlugter
 - Panjang = 9,39 m
4. Stabilitas konstruksi bendung gerak ditinjau dari dua keadaan, yaitu pada saat muka air banjir dan muka air normal.
5. Dari hasil perhitungan dan analisa stabilitas struktur bendung gerak baik pada saat muka air setinggi mercu (normal) maupun pada saat muka air banjir dapat ditarik kesimpulan tubuh bendung tahan, aman dan stabil terhadap gaya geser, gaya guling, dan terhadap rembesan.

Saran

Alangkah baiknya ada perekaman tinggi air atau AWLR secara otomatis yang langsung dapat mengirim data langsung ke pusat agar lebih cepat penanganan saat banjir.

Penutup

Kami ucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, karena atas kehendak-Nya dapat tersusun laporan Tugas Akhir ini.

Kami menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam laporan ini, namun demikian kami berharap agar laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan penulis khususnya.

Pada kesempatan ini kami ucapkan banyak terima kasih kepada Bapak dan Ibu dosen, terutama kepada Bapak Dr. Ir. Suharjoko, MT. dan Ibu Ir. Pudiastuti yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengajaran hingga tersusunnya tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Azizah, M. I. (2014). *Studi Perencanaan dan Pemodelan Tes Hidrolika Fishway pada Bendung Gerak Sembayat*. Surabaya: Teknik Sipil ITS.
- Erman Mawardi, M. M. (2006). *Desain Hidraulik BENDUNG TETAP untuk Irigasi Teknik*. Bandung: Alfabeta.
- Prastumi. (2008). *Bangunan Air*. Surabaya: Srikandi.
- PU, D. (1986). *Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan KP 02 (bagian bangunan utama)*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- PU, D. (1986). *Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan KP 04 (bagian utama)*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- PU, K. (t.thn.). *Brosur Proyek Pembangunan Bendung Gerak Sembayat, Gresik-Jawa Timur*. Kementerian PU.
- Soewarno. (1995). *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid 1*. Bandung: Nova.
- Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi.
- Wirahadi, U. (2015). *Jawa Pos : PDAM Buka Investasi Rp 1,3 Triliun*. Gresik: Jawa Pos Metropolis.

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN BENDUNG GERAK UNTUK IRIGASI, AIR BAKU, DAN INDUSTRI DESA SIDOMUKTI KECAMATAN BUNGAH KABUPATEN GRESIK

NAMA GAMBAR

Denah Bendung Gerak

DOSEN PEMBIMBING

**Dr. Ir. Suharjoko, MT.
19560119.198403.1.001
Ir. Pudiastuti
19501015.198203.2.001**

NAMA MAHASISWA

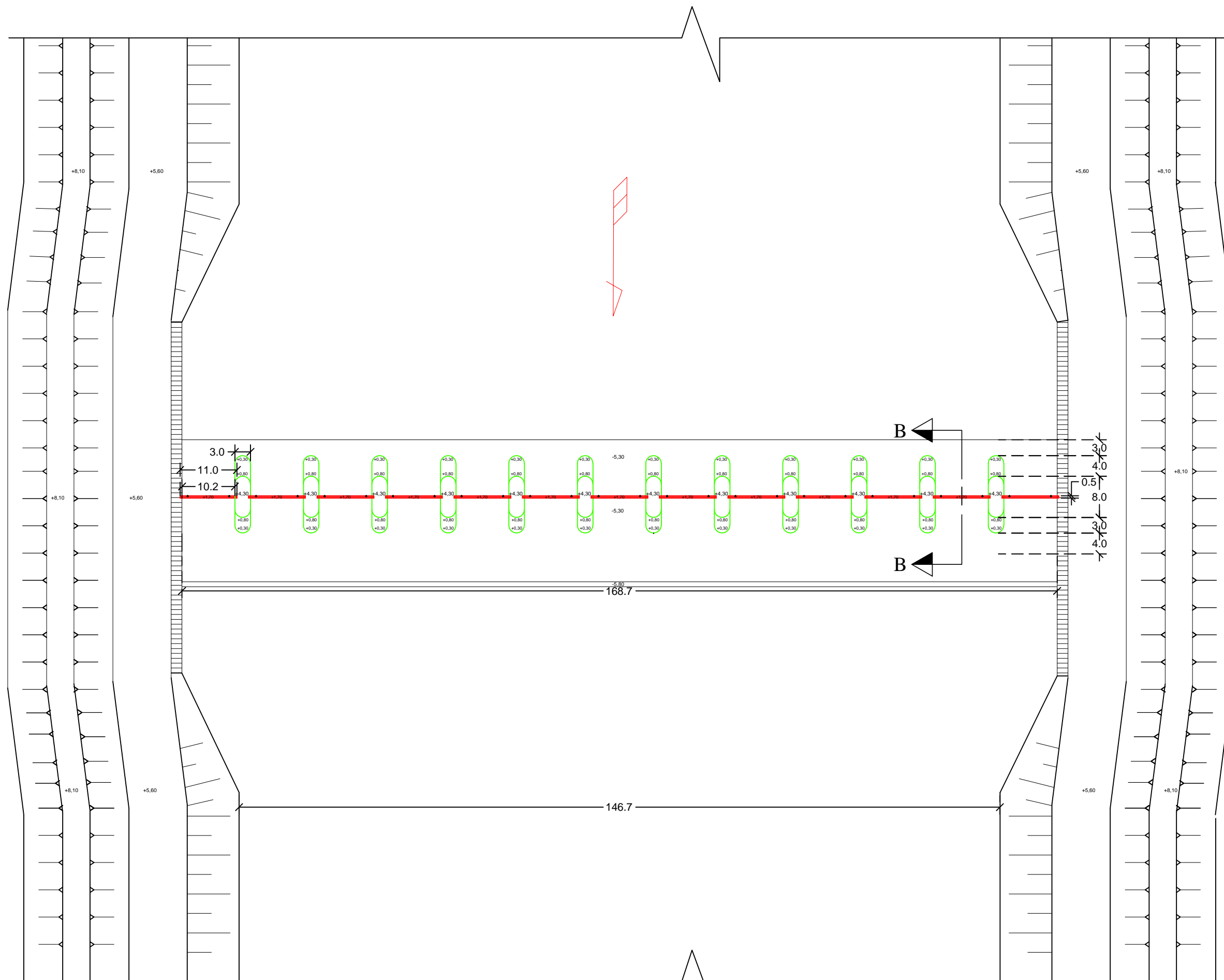
**Agung Hadi Saputro
3112030013
Idayati Farikha
3112030034**

NO

JUMLAH

1

7



Denah Bendung Gerak
Skala 1 : 750

JUDUL TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN BENDUNG
GERAK UNTUK IRIGASI, AIR
BAKU, DAN INDUSTRI DESA
SIDOMUKTI KECAMATAN
BUNGAH KABUPATEN GRESIK**

NAMA GAMBAR

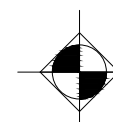
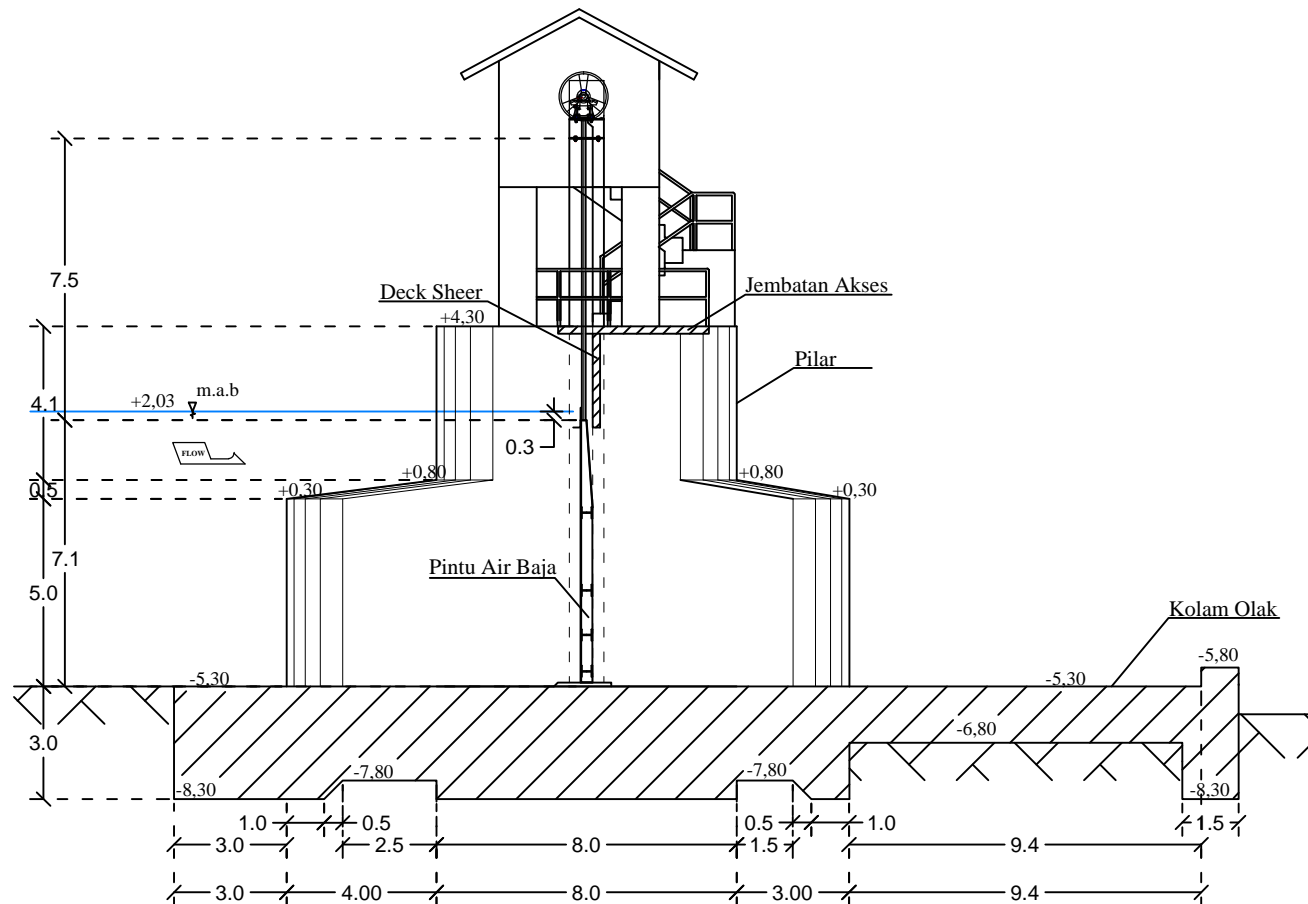
Potongan B-B

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Suharjoko, MT.
19560119.198403.1.001
Ir. Pudiastuti
19501015.198203.2.001

NAMA MAHASISWA

Agung Hadi Saputro
3112030013
Idayati Farikha
3112030034



Potongan B-B

Skala Horizontal 1 : 200

NO

JUMLAH

2

7

JUDUL TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN BENDUNG
GERAK UNTUK IRIGASI, AIR
BAKU, DAN INDUSTRI DESA
SIDOMUKTI KECAMATAN
BUNGAH KABUPATEN GRESIK**

NAMA GAMBAR

Pintu Sorong Baja

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Suharjoko, MT.
19560119.198403.1.001
Ir. Pudiastuti
19501015.198203.2.001

NAMA MAHASISWA

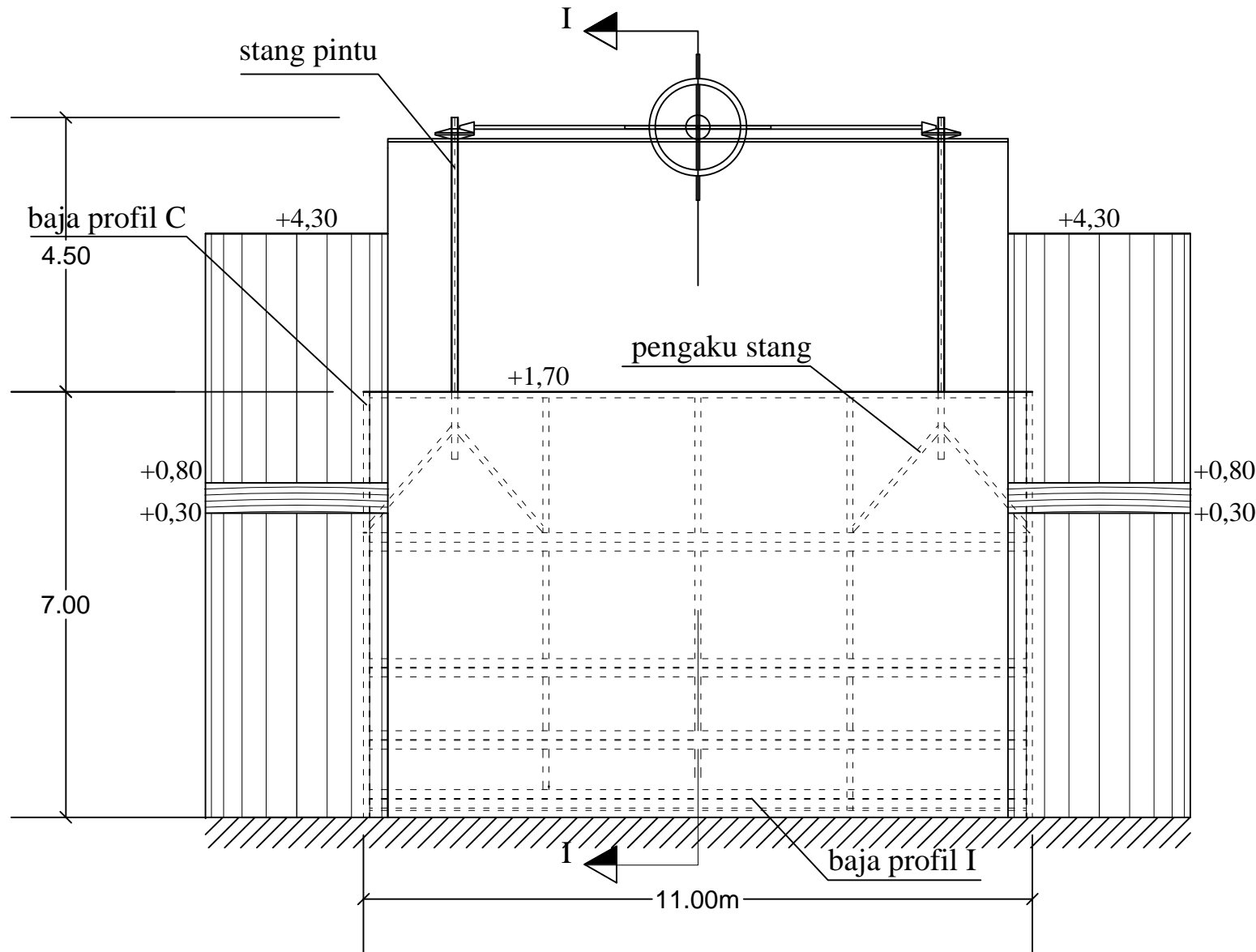
Agung Hadi Saputro
3112030013
Idayati Farikha
3112030034

NO

JUMLAH

3

7



Pintu Sorong Baja
Skala 1 : 100

JUDUL TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN BENDUNG
GERAK UNTUK IRIGASI, AIR
BAKU, DAN INDUSTRI DESA
SIDOMUKTI KECAMATAN
BUNGAH KABUPATEN GRESIK**

NAMA GAMBAR

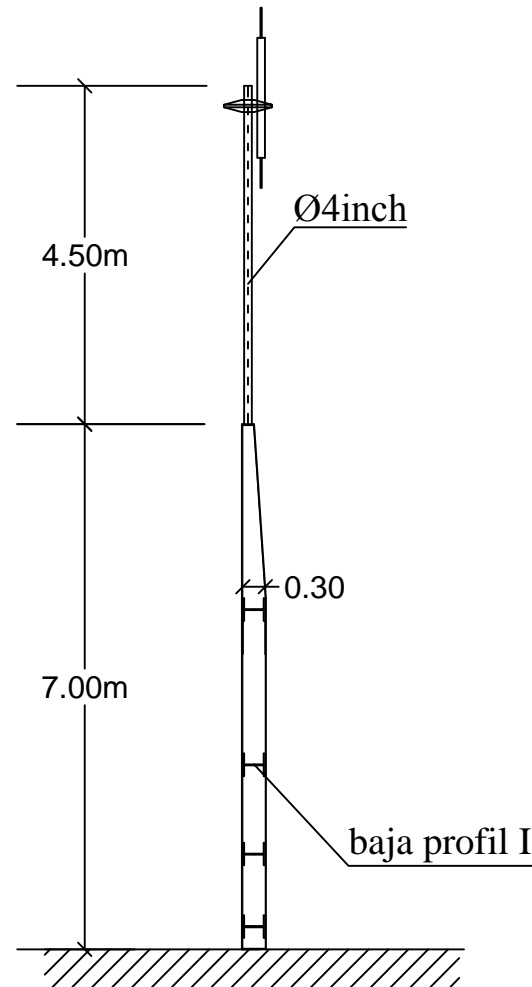
Potongan I-I

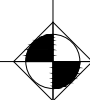
DOSEN PEMBIMBING

**Dr. Ir. Suharjoko, MT.
19560119.198403.1.001
Ir. Pudiastuti
19501015.198203.2.001**

NAMA MAHASISWA

**Agung Hadi Saputro
3112030013
Idayati Farikha
3112030034**



 **Potongan I-I**
Skala 1 : 100

NO

JUMLAH

4

7

JUDUL TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN BENDUNG
GERAK UNTUK IRIGASI, AIR
BAKU, DAN INDUSTRI DESA
SIDOMUKTI KECAMATAN
BUNGAH KABUPATEN GRESIK**

NAMA GAMBAR

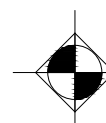
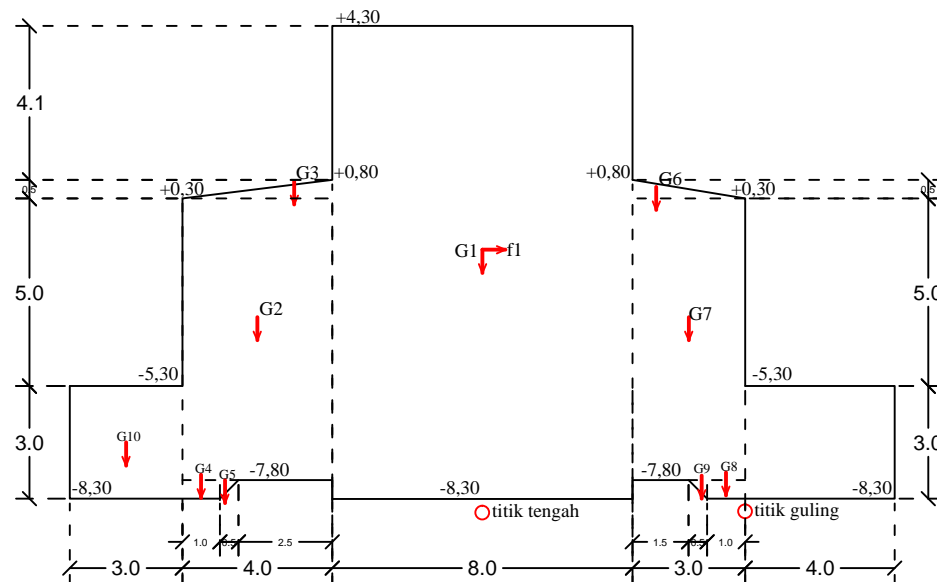
**Gaya yang bekerja pada
bendung**

DOSEN PEMBIMBING

**Dr. Ir. Suharjoko, MT.
19560119.198403.1.001
Ir. Pudiastuti
19501015.198203.2.001**

NAMA MAHASISWA

**Agung Hadi Saputro
3112030013
Idayati Farikha
3112030034**



Gaya yang bekerja pada bendung

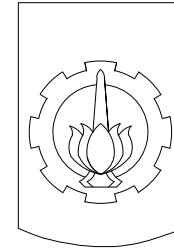
Skala Horizontal 1 : 100

NO

JUMLAH

5

7



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

JUDUL TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN BENDUNG
GERAK UNTUK IRIGASI, AIR
BAKU, DAN INDUSTRI DESA
SIDOMUKTI KECAMATAN
BUNGAH KABUPATEN GRESIK**

NAMA GAMBAR

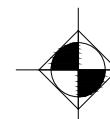
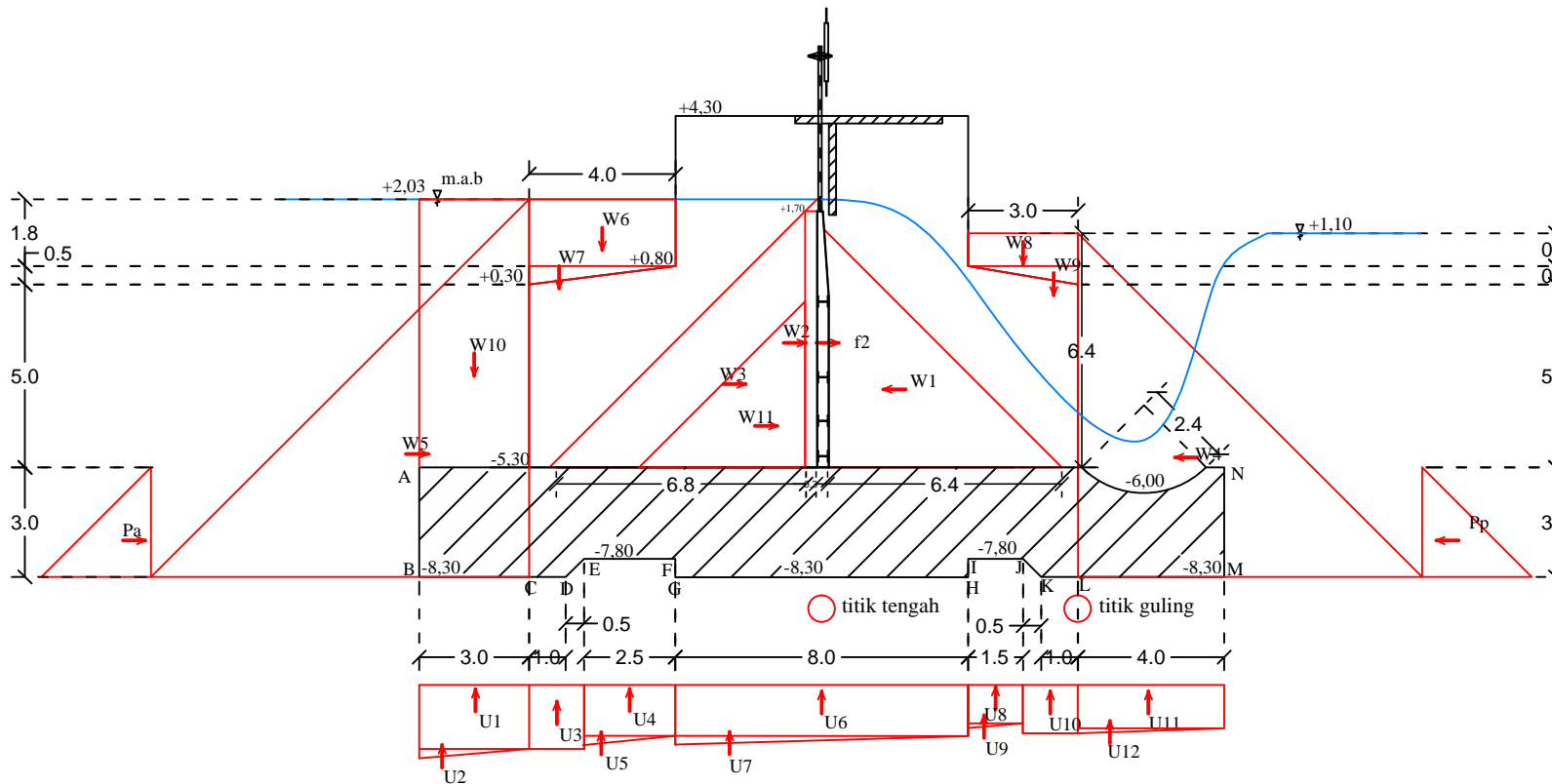
**Gaya yang bekerja pada
bendung (MAB)**

DOSEN PEMBIMBING

**Dr. Ir. Suharjoko, MT.
19560119.198403.1.001
Ir. Pudiastuti
19501015.198203.2.001**

NAMA MAHASISWA

**Agung Hadi Saputro
3112030013
Idayati Farikha
3112030034**



Gaya yang bekerja pada bendung

Skala Horizontal 1 : 200

NO

JUMLAH

6

7

JUDUL TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN BENDUNG
GERAK UNTUK IRIGASI, AIR
BAKU, DAN INDUSTRI DESA
SIDOMUKTI KECAMATAN
BUNGAH KABUPATEN GRESIK**

NAMA GAMBAR

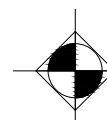
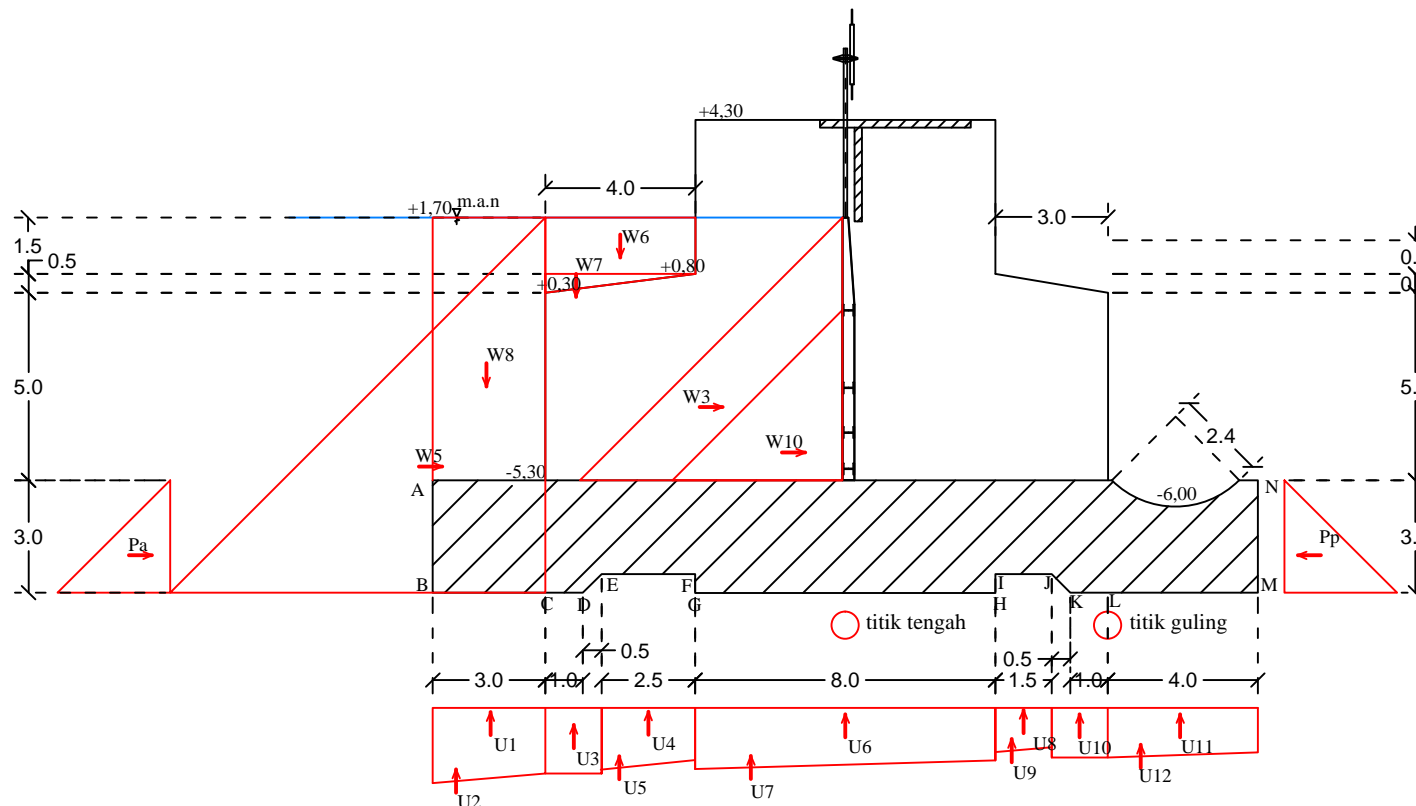
**Gaya yang bekerja pada
bendung (MAN)**

DOSEN PEMBIMBING

**Dr. Ir. Suharjoko, MT.
19560119.198403.1.001
Ir. Pudiastuti
19501015.198203.2.001**

NAMA MAHASISWA

**Agung Hadi Saputro
3112030013
Idayati Farikha
3112030034**



Gaya yang bekerja pada bendung

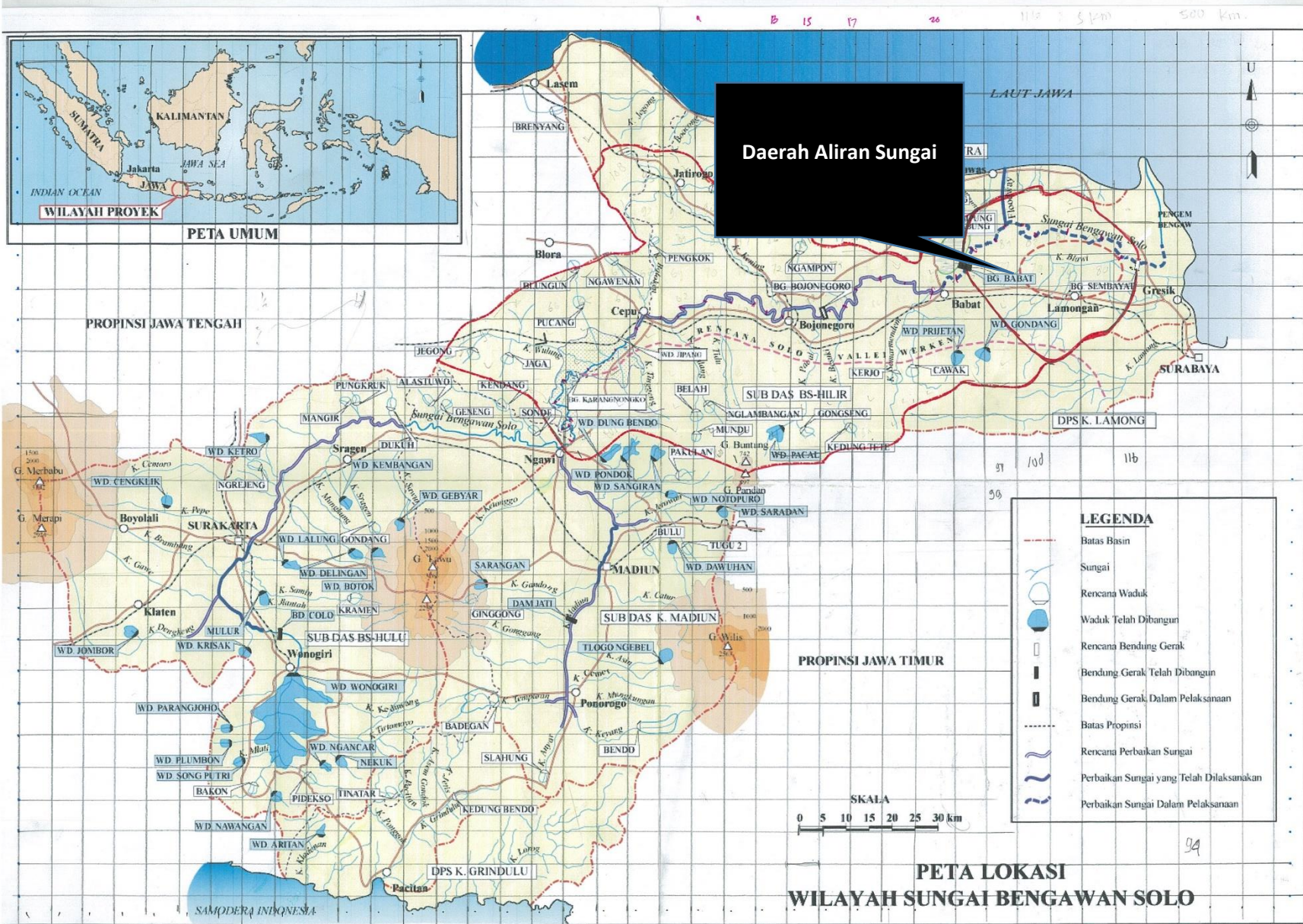
Skala Horizontal 1 : 200

NO

JUMLAH

7

7



BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Farid Rozaq Laksono, lahir di Surabaya pada tanggal 22 Februari 1995, penulis menempuh Pendidikan formal di TK Hidayatullah Surabaya, SD Negeri manukan kulon 3 Surabaya, SMP Negeri 3 Surabaya, SMA Negeri 1 Surabaya, setelah lulus alhamdulillah melanjutkan pendidikan di Diploma III Teknik Sipil FTSP – ITS pada tahun 2012 dengan NRP 3112030120. Penulis mengambil konsentrasi studi Bangunan Transportasi. Penulis juga sempat mengikuti Kerja Praktek di PT. ADHI KARYA (persero) Tbk dengan Proyek Pembangunan Dermaga dan Trestle Terminal Pelabuhan Manyar Gresik, dan pada akhirnya saat ini penulis dapat menyelesaikan Proyek Akhir ini dengan judul Evaluasi Kinerja Lalu Lintas Di Simpang Satelit Pasca Pembangunan Underpass di Surabaya. Tidak lupa juga penulis ucapkan rasa terimakasih terhadap seluruh pihak – pihak yang sudah membantu penulis menyelesaikan proyek akhir ini pertama kepada kedua orang tua penulis, ke dua dosen pembimbing penulis, kepada elemen sector 7,serta keluarga DS33

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Yudha Widya Kharismanto, lahir di Sidoarjo pada tanggal 19 Maret 1993, penulis menempuh Pendidikan formal di TK St Theresia Krian, SDK St Yustinus de Yacobis Krian, SMPK St Yustinus de Yacobis Krian, SMA Negeri 1 Krian, setelah lulus alhamdulillah melanjutkan pendidikan di Diploma III Teknik Sipil FTSP – ITS pada tahun 2012 dengan NRP

3112030138. Penulis mengambil konsentrasi studi Bangunan Transportasi. Penulis juga sempat mengikuti Kerja Praktek di PT.MARGA NUJYASUMO AGUNG dengan Proyek Pembangunan Jalan Tol Surabaya-Mojokerto, dan pada akhirnya saat ini penulis dapat menyelesaikan Proyek Akhir ini dengan judul Evaluasi Kinerja Lalu Lintas Di Simpang Satelit Pasca Pembangunan Underpass di Surabaya. Tidak lupa juga penulis ucapkan rasa terimakasih terhadap seluruh pihak – pihak yang sudah membantu penulis menyelesaikan proyek akhir ini pertama kepada kedua orang tua penulis, ke dua dosen pembimbing penulis, kepada saudara-saudara RPC dan keluarga DS 33.