

**TUGAS AKHIR**

**TINJAUAN DEBIT SUNGAI MAITING UNTUK PERENCANAAN  
PEMBANGUNAN PLTMH MA'DONG II KABUPATEN TORAJA UTARA**



**OLEH :**

**ADI YOLA PAEMBONAN**

**45 16 041 160**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS BOSOWA  
MAKASSAR  
2019**

**TUGAS AKHIR**

**TINJAUAN DEBIT SUNGAI MAITING UNTUK PERENCANAAN  
PEMBANGUNAN PLTMH MA'DONG II KABUPATEN TORAJA UTARA**



**SKRIPSI**

*Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
guna memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Universitas Bosowa Makassar*

**OLEH :**

**ADI YOLA PAEMBONAN  
45 16 041 160**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR  
2019**



# UNIVERSITAS BOSOWA

Jl. Urip Sumoharjo Km. 4 Telp. (0411) 452 901/ 452 789  
Fax. (0411) 424 568 Website : [www.universitasbosowa.ac.id](http://www.universitasbosowa.ac.id)  
Makassar - Sulawesi Selatan - Indonesia

## LEMBAR PENGAJUAN UJIAN AKHIR TUGAS AKHIR

JUDUL :

**“Tinjauan Debit Sungai Maiting Untuk Perencanaan Pembangunan  
PLTMH Ma’dong II Kabupaten Toraja Utara”**

Disusun dan diajukan oleh :

**Nama Mahasiswa : Adi Yola Paembonan**  
**Stambuk : 45 16 041 160**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Sipil  
/ Jurusan Sipil Fakultas Universitas Bosowa Makassar.


**Telah Disetujui Komisi Pembimbing**

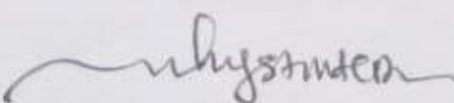
- 1. Pembimbing I : Ir. Burhanuddin Badrun, MSP** (.....)
- 2. Pembimbing II : Ir. Hj. Satriawati Cangara, MSP** (.....)

Mengetahui :

Dekan, Fakultas Teknik  
Universitas Bosowa Makassar

Ketua Jurusan Teknik Sipil  
Universitas Bosowa Makassar

  
**(DR. Ridwan, ST, MT)**  
NIDN. 09 10127101

  
**(Nur Hadijah Yunianti, ST, MT)**  
NIDN. 09-160682-01

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**LEMBAR PENGESAHAN**

Berdasarkan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar No. 333 / SK / FT / UNIBOS / III / 2019, Tanggal 15 Maret 2019, perihal Pengangkatan Panitia dan Tim Penguji Tugas Akhir, maka pada :

Hari / Tanggal : Jum'at / 15 Maret 2019  
Nama : **ADI YOLA PAEMBOAN**  
Nomor Stambuk : **45 16 041 160**  
Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Sipil  
Judul Tugas Akhir : **“ TINJAUAN DEBIT SUNGAI MAITING UNTUK PERENCANAAN PEMBANGUNAN PLTMH MA'DONG II KABUPATEN TORAJA UTARA “**

Telah diterima dan disahkan oleh Panitia Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar setelah dipertahankan di depan Tim penguji Ujian Sarjana Strata Satu (S-1) untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar.

**Tim Penguji Tugas Akhir**


Ketua/ Ex Officio : Ir. Burhanuddin Badrun, M.Sp (.....)  
Sekertaris/Ex Officio : Ir. Hj. Satriawati C., MSP (.....)  
Anggota : Ir. A. Rumpang Yusuf, MT (.....)  
Fauzi Lebang, ST., MT (.....)

Makassar, 6 Mei 2019

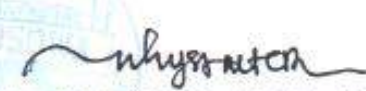
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Bosowa

Ketua Program Studi Sarjana Teknik Sipil  
Jurusan Sipil



**(Dr. Ridwan. ST., M.Si)**  
NIDN. 09 101271 01



**(Nurhadiljah Yuniarti, ST., MT)**  
NIDN : 09 160682 01



## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN DAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : ADI YOLA PAEMBONAN  
Nomor Stambuk : 45 16 041 160  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Tugas Akhir : TINJAUAN DEBIT SUNGAI MAITING UNTUK  
PERENCANAAN PEMBANGUNAN PLTMH  
MA'DONG II KABUPATEN TORAJA UTARA

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

1. Tugas akhir yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya tidak keberatan apabila Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa menyimpan, mengalih mediakan / mengalih formatkan, mengelola dalam bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran hak cipta dalam tugas akhir ini.
3. Bersedia dan menjamin untuk menanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa dari semua bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran hak cipta dalam tugas akhir ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Makassar, 29 Mei 2019

Yang Menyatakan



  
ADI YOLA PAEMBONAN

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat-Nya sehingga prosal tugas akhir kami dengan judul "*Tinjauan Debit Sungai Maiting untuk Perencanaan Pembangunan PLTMH Ma'dong II Kabupaten Toraja Utara*" ini dapat kami selesaikan sesuai dengan batas waktu yang telah ditentukan.

Kami menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih sangat sederhana dan masih jauh dari kesempurnaan. Namun, diharapkan dapat menjadi sumbangsi pemikiran terutama menyangkut tentang analisa debit andalan. Terlepas dari itu kami mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya konstruktif untuk dijadikan masukan demi kesempurnaan laporan ini.

Penulis menyadari bahwa dalam proses awal hingga selesainya Tugas Akhir ini, banyak pihak yang telah terlibat dan berperan serta untuk mewujudkan selesainya Tugas Akhir ini, karena itu penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada mereka yang telah banyak membantu penulis untuk merampungkan Tugas Akhir ini hingga selesai.

Akhir kata, semoga laporan tugas akhir ini bermanfaat bagi para pembaca dan khususnya bagi penyusun sendiri.

Makassar, Mei 2019

Penulis

# TINJAUAN DEBIT SUNGAI MAITING UNTUK PERENCANAAN PEMBANGUNAN PLTMH MA'DONG II KABUPATEN TORAJA UTARA

(Studi Kasus : Jembatan Pacongkang–Jembatan Cabbenge–Jembatan Liu)

Adi Yola Paembonan<sup>1</sup>, Badrun Burhanuddin<sup>2</sup>, Satriawati Cangara<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa

Jalan Urip Sumoharjo KM. 4, Makassar 90231, Sulawesi Selatan, Indonesia

Email : [aypaembonan@gmail.com](mailto:aypaembonan@gmail.com)

## Abstract

*This research is motivated by the condition of rural areas located in highland areas which are still limited by electricity supply, a fundamental reason for empowering the water potential of the Maiting River to be a source of a powerful Mini Hydro Power Plant (PLTMH). This study aims to find out how to determine the discharge needed to generate electricity from the Ma'dong II PLTM and to find out the effective discharge of the river needed to generate electricity at the Ma'dong II PLTM.*

*In initiating this study secondary data collection such as rainfall data, climatology data, daily rainfall, mainstay discharge and effective fall height were obtained from the Makassar Meteorology and Geology Agency (BMKG) and Ma'dong II PLTM. The method used in calculating Evapotranspiration is the Penman Modification Method. Mainstay Debit calculations using the F.J.Mock Method. The results showed that the F.J.Mock Method produced a mainstay discharge (Q80) of 5.55 m<sup>3</sup> / sec.*

*Keywords: mainstay discharge, direct measurement discharge*

- 
1. Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa
  2. Dosen Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa

## DAFTAR ISI

Lembar Judul .....	i
Lembar Pengajuan .....	ii
Lembar Pengesahan .....	iii
Lembar Surat Pernyataan .....	iv
Kata Pengantar .....	v
Abstrak .....	vi
Daftar Isi .....	vii
Daftar Tabel .....	ix
Daftar Gambar .....	x
Daftar Lampiran .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
<b>1.1.</b> Latar belakang .....	I-1
<b>1.2.</b> Rumusan Masalah .....	I-3
<b>1.3.</b> Batasan Masalah .....	I-3
<b>1.4.</b> Tujuan Penelitian .....	I-3
<b>1.5.</b> Manfaat Penelitian .....	I-4
<b>1.6.</b> Sistematika Penulisan .....	I-4
<b>BAB II TINJAU PUSTAKA</b>	
<b>2.1.</b> Pengertian PLTM .....	II-1
<b>2.2.</b> Penentuan Debit .....	II-2
2.2.1. Debit Aliran Sungai .....	II-2
2.2.2. Debit Andalan .....	II-3
<b>2.3.</b> Penentuan Tinggi Jatuh Efektif .....	II-21
<b>2.4.</b> Komponen Pokok PLTM .....	II-22
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
<b>3.1.</b> Gambaran Lokasi PLTM Ma'dong II .....	III-1
<b>3.2.</b> Teknik Pengumpulan Data .....	III-2
<b>3.3.</b> Langkah-langkah Penelitian .....	III-3



3.4. Metode Pengolahan Data .....	III-4
-----------------------------------	-------

#### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Evaluasi Data .....	IV-1
4.2. Perhitungan Evapotranspirasi Potensial .....	IV-7
4.3. Analisis Debit Andalan .....	IV-13
4.4. Perhitungan daya .....	IV-32

#### BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan .....	V-6
5.2. Saran .....	V-6

#### DAFTAR PUSTAKA

#### LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

Tabel.2.1	Hubungan antara T dengan Ea .....	10
Tabel.2.2	Hubungan antara T dengan W .....	10
Tabel 2.3	Radiasi Matahari (Ra) dalam evaporasi ekuivalen (mm/hari) untuk daerah Indonesia antara 5° LU sampai 10° LS .....	11
Tabel 2.4	Hubungan antaran T dengan f(T) .....	11
Tabel 2.5	Angka koreksi (c) .....	11
Tabel 2.6	<i>Exposed Surface</i> (m) .....	13
Tabel 2.7	Nilai <i>Soil Moisture Capacity</i> Berbagai Tipe Tanaman dan Tipe Tanah .....	16
Tabel 2.8	Nilai Debit Andalan untuk Berbagai Macam Kegiatan .....	23
Tabel 3.1	Koordinat Lokasi Bangunan PLTM .....	30
Tabel 4.1	Penyinaran matahari (%) .....	34
Tabel 4.2	Kelembaban udara (%) .....	35
Tabel 4.3	Suhu Udara (°C) .....	36
Tabel 4.4	Kecepatan Angin (Knot) .....	37
Tabel 4.5	Curah Hujan Pos BPP. Tokarau, Kec. Sesean, Toraja Utara .....	38
Tabel 4.6	Hari Hujan Bulanan Pos BPP. Tokarau, Kec. Sesean, Toraja Utara .....	39
Tabel 4.7	Perhitungan Evapotranspirasi Bulanan dengan Metode Penman Modifikasi .....	45
Tabel 4.8	Debit andalan dengan metode F.J.Mock Sungai Maiting Tahun 2008 .....	51
Tabel 4.9	Debit andalan dengan metode F.J.Mock Sungai Maiting Tahun 2009 .....	52
Tabel 4.10	Debit andalan dengan metode F.J.Mock Sungai Maiting Tahun 2010 .....	53
Tabel 4.11	Debit andalan dengan metode F.J.Mock Sungai Maiting Tahun 2011 .....	54
Tabel 4.12	Debit andalan dengan metode F.J.Mock Sungai Maiting Tahun 2012 .....	55
Tabel 4.13	Debit andalan dengan metode F.J.Mock Sungai Maiting Tahun 2013 .....	56
Tabel 4.14	Debit andalan dengan metode F.J.Mock Sungai Maiting Tahun 2014 .....	57
Tabel 4.15	Debit andalan dengan metode F.J.Mock Sungai Maiting Tahun 2015 .....	58
Tabel 4.16	Debit andalan dengan metode F.J.Mock Sungai Maiting Tahun 2016 .....	59
Tabel 4.17	Debit andalan dengan metode F.J.Mock Sungai Maiting Tahun 2017 .....	60
Tabel 4.18	Rekapitulasi Debit Andalan Sungai Evan/Sungai Saluputti (m <sup>3</sup> /det) .....	61
Tabel 4.19	Debit dan Probabilitas (P) .....	62

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perjalanan air hujan sampai terbentuk debit .....	18
Gambar 2.2	Skema PLTM .....	25
Gambar 3.1	Peta Lokasi PLTM Ma'dong 2, Tana Utara .....	30
Gambar 4.1	Flow Duration Curve (FDC) debit andalan di DAS Sungai Maiting .....	64



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Distribusi Listrik PT. PLN (persero) di Kab. Toraja Utara
- Lampiran 2 Skema Sistem Sungai Maiting pada PLTM
- Lampiran 3 Site Plan PLTM Ma'dong II
- Lampiran 4 Data dari BMKG



## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1. LATAR BELAKANG

Energi listrik merupakan salah satu penunjang kehidupan manusia yang sangat penting perannya, yaitu untuk pertumbuhan dan pengembangan sektor industri, pengembangan pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Daerah pedesaan yang masih terbatas pasokan tenaga listriknya merupakan suatu masalah bagi pembangunan dan pengembangan masyarakat pedesaan. Karena kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat, maka untuk memenuhi kebutuhan akan penerangan listrik perlu diciptakan alat yang dapat menjangkau tempat terpencil yang murah dan ramah lingkungan, salah satunya yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

Keterbatasan pasokan tenaga listrik di wilayah Kabupaten Toraja Utara menimbulkan ketidakseimbangan antara supply dan permintaan daya listrik,. Saat ini kelistrikan di Kabupaten Toraja Utara di penuhi oleh PLTD Makale yang terletak di Kabupaten Toraja Utara. Dari data daya terpasang, produksi dan distribusi listrik PT. PLN (Persero) di Kabupaten Toraja Utara, (*Lampiran 1*) dapat disimpulkan, bahwa setiap kenaikan daya listrik yang ada di Kabupaten Toraja Utara akan terserap secara penuh, hal ini mengindikasikan bahwa Kabupaten Toraja Utara secara rasio elektrifikasi masih rendah, dengan kata lain kebutuhan listrik di daerah Kabupaten Toraja Utara cukup tinggi. Hal ini menyebabkan PT.



PLN (Persero) membatasi penyambungan pelanggan baru, baik dari pelanggan industri, bisnis maupun pelanggan rumah tangga. Untuk mendukung kegiatan pembangunan, khususnya ketenagalistrikan, di wilayah Kabupaten Toraja Utara, untuk itu telah direncanakan pembangunan pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Salah satu daerah di Toraja Utara yang berpotensi untuk dijadikan sumber energi pembangkit listrik tenaga air skala mikro adalah sungai maiting, yang terletak di desa Ma'dong, Kecamatan Denpina Kabupaten Toraja Utara, Provinsi Sulawesi Selatan. Direncanakan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) berkekuatan kurang lebih 10 megawatt (MW). Sungai Maiting sendiri masuk dalam Water District Saddang-Rantepao, dan merupakan salah satu anak sungai dari Sungai Jenelata. Sungai Maiting bersumber dari mata air dibawah formasi Gunung Lamasi dengan bagian hilir sungai menuju Sungai Saddang. Lokasi PLTM Ma'dong II berada pada ruas Sungai Maiting, sedangkan luas DAS pada lokasi bendung PLTM Ma'dong adalah 188.36 km<sup>2</sup> dengan panjang sungai utama adalah 25.91 km, dengan kemiringan dasar sungai rata-rata 0.03 dan lebar sungai rata-rata adalah 20 m.

Pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro ini, debit dan tinggi jatuh efektif (tinggi air jatuh) itu sendiri memiliki peranan untuk mengetahui daya yang akan dihasilkan pembangkit listrik. Jumlah debit air tertentu akan dapat menghasilkan putaran turbin yang konstan. maka dilakukan penelitian untuk meninjau debit andalan serta daya yang akan dihasilkan.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas maka dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

- 1) Berapa besar debit Andalan sungai Maiting?
- 2) Berapa besar daya yang dihasilkan dari debit sungai Maiting dan debit andalan sungai Maiting?

## **1.3. Batasan Masalah**

Agar penelitian dapat berjalan efektif dan mencapai sasaran yang diinginkan maka ruang lingkup penelitian dibatasi dengan mengambil data debit yang tersedia dan pada analisa debit andalan mengambil data curah hujan dan klimatologi selama 10 tahun.

## **1.4. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah:

- 1) Mengetahui debit Andalan sungai Maiting
- 2) Mengetahui daya yang dihasilkan dari debit sungai Maiting dan debit andalan sungai Maiting?

## **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian tugas akhir ini adalah:

- 1) Menambah pengetahuan dan wawasan kepada penulis atau pembaca tentang cara menentukan debit yang dibutuhkan pada pembangunan PLTM Maiting.
- 2) Dapat mengetahui cara perhitungan daya yang dapat dihasilkan dari besaran debit suatu aliran sungai.

## **1.6. Sistematika Penulisan**

Untuk memberikan gambaran umum mengenai penulisan ini, maka secara garis besar pokok-pokok bahasan yang diuraikan pada setiap bab disusun menurut sistematika penulisan sebagai berikut:

### **Bab 1. Pendahuluan**

Merupakan bab yang menguraikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

### **Bab 2. Tinjauan Pustaka**

Menguraikan tentang pengertian dasar, teori-teori dan perhitungan yang akan digunakan untuk pemecahan permasalahan yang ada.

### Bab 3. Metode Penelitian

Merupakan bab yang memberikan gambaran umum mengenai keadaan lokasi studi dan metode yang digunakan dalam perhitungan debit untuk perencanaan PLTM.

### Bab 4. Hasil dan Pembahasan

Merupakan bab yang menguraikan tentang perhitungan debit.

### Bab 5. Penutup

Berisi tentang kesimpulan dan saran yang diperoleh dari hasil analisis tinjauan debit PLTM Maiting



**BOSOWA**

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Pengertian PLTM

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM) adalah pembangkit listrik berskala kecil dengan output antara 100KW-5MW yang memanfaatkan aliran air sebagai sumber tenaga. PLTM termasuk sumber energi terbaru dan layak disebut dengan clean energy karena ramah lingkungan. Dari segi teknologi, PLTM memiliki konstruksi yang masih sederhana dan mudah dioperasikan serta mudah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang. Dari segi ekonomi, biaya operasi dan perawatannya relatif murah sedangkan investasinya cukup bersaing dengan pembangkit listrik lainnya. Secara social, PLTM lebih mudah diterima masyarakat luas dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya seperti PLN.

Prinsip kerja PLTM adalah memanfaatkan beda tinggi dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran atau sungai. Air yang mengalir melalui intake dan diteruskan oleh saluran pembawa hingga penstock, akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Turbin air akan memutar generator dan menghasilkan listrik. Daya (*power*) yang dihasilkan dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut (Arismunandar dan Kuwahara, 1991):

$$P = g \times H^{eff} \times Q \times \eta \dots\dots\dots (2.1)$$



Dimana :

P = Tenaga yang dikeluarkan secara teoritis (kW)

H = Tinggi air jatuh efektif (m)

Q = Debit Pembangkitan ( $\text{m}^3/\text{det}$ )

g = Percepatan gravitasi =  $9,81 \text{ m/dtk}^2$

$\eta$  = efisiensi keseluruhan

## 2.2. Penentuan Debit

### 2.2.1 Debit Aliran Sungai

Debit aliran sungai diberi notasi Q adalah jumlah air yang mengalir melalui tampang lintang sungai tiap satu satuan waktu, yang biasanya dinyatakan dalam  $\text{m}^3/\text{detik}$ . Debit sungai, dengan distribusinya dengan ruang dan waktu, merupakan informasi penting yang diperlukan dalam perencanaan bangunan air dan pemanfaatan sumber daya air. Mengingat bahwa debit aliran sangat bervariasi dari waktu ke waktu maka diperlukan data pengamatan debit dalam waktu yang panjang.

Debit aliran (Q) diperoleh dengan mengalikan luas tampang aliran (A) percepatan aliran (V),  $Q = AV$ . Kedua parameter tersebut dapat diukur pada suatu tampang lintang (stasiun) di sungai. Luas tampang aliran diperoleh dengan mengukur elevasi permukaan air dan dasar sungai. Kecepatan aliran diukur dengan menggunakan alat ukur kecepatan *current meter*, pelampung, atau peralatan lain.

Rumus :

$$Q = V \cdot A \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

Q = debit (m<sup>3</sup>/dtk)

V = Kecepatan Aliran (m/detik)

A = Luas Penampang Basah (m<sup>2</sup>)

### 2.2.2 Debit Andalan

Dalam menghitung debit andalan, kita harus mempertimbangkan air yang diperlukan dari sungai di hilir pengambilan. Debit air yang ada dari waktu ke waktu mengalami penurunan seiring dengan penurunan fungsi daerah tangkapan air. Penurunan debit andalan dapat menyebabkan kinerja PLTM berkurang yang mengakibatkan pengurangan daya yang dihasilkan. Dalam evaluasi kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro, metode perhitungan debit andalan dapat menggunakan metode simulasi perimbangan air dari Dr. F.J.Mock. Metode ini menganggap bahwa air hujan yang jatuh pada daerah aliran guna mendapatkan kapasitas PLTM, tidak terlepas dari perhitungan berapa banyak air yang dapat diandalkan untuk membangkitkan PLTM. Debit andalan adalah debit minimum (terkecil) yang masih dimungkinkan untuk keamanan operasional suatu bangunan air, dalam hal ini adalah PLTM.

Debit minimum sungai dianalisis atas dasar debit hujan sungai. Dalam perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro ini, dikarenakan minimalnya data maka metode perhitungan debit andalan menggunakan metode simulasi perimbangan air dari Dr. F.J.Mock. Metode ini menganggap bahwa air hujan yang jatuh pada daerah aliran (DAS) sebagian akan menjadi limpasan langsung dan sebagian akan masuk tanah sebagai air infiltrasi, kemudian jika kapasitas menampung lensa tanah sudah terlampaui, maka air akan mengalir ke bawah akibat gaya gravitasi.

#### **a. Metode Penman Modifikasi**

##### **1. Evapotranspirasi Potensial (Ep)**

Evapotranspirasi potensial adalah evapotranspirasi yang mungkin terjadi pada kondisi air yang tersedia berlebihan. Faktor penting yang mempengaruhi evapotranspirasi potensial adalah tersedianya air yang cukup banyak. Jika jumlah air selalu tersedia secara berlebihan dari yang diperlukan oleh tanaman selama proses transpirasi, maka jumlah air yang ditranspirasikan akan relatif lebih besar dibandingkan apabila tersedianya air di bawah keperluan. Beberapa rumus empiris untuk menghitung evapotranspirasi potensial adalah: rumus empiris dari Thornthwaite, Blaney-Criddle, Penman dan Turc-Langbein-Wundt. Dari rumus-rumus empiris di atas, Metode Mock menggunakan rumus empiris dari Penman. Rumus empiris Penman memperhitungkan banyak data klimatologi yaitu temperatur, radiasi matahari, kelembaban, dan kecepatan angin sehingga

hasilnya relatif lebih akurat. Perhitungan evaporasi potensial Penman didasarkan pada keadaan bahwa agar terjadi evaporasi diperlukan panas.

Data terukur yang dibutuhkan untuk menghitung evapotranspirasi potensial ( $E_p$ ) yaitu letak lintang ( $LL$ ), suhu udara ( $t$ ), penyinaran matahari ( $n/N$ ), kecepatan angin ( $u$ ) dan kelembaban relatif ( $RH$ ) dengan rumus :

$$E_{to} = c(W \times R_n) + (1 - W) \times (f(u) \times (e_a - e_d)) \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

$$e_d = e_a \times RH/100 \dots \dots \dots (2.6)$$

$e_a - e_d$  = defisit tekanan uap yaitu selisih antara tekanan uap jenuh ( $e_a$ ) (tabel 2.2) dan tekanan uap sebenarnya ( $e_d$ ) (mmHg)

$RH$  = kelembaban relatif (%)

$c$  = Faktor koreksi penman (tabel 2.6)

$W$  = Faktor penimbangan suhu dan elevasi daerah (tabel 2.3)

$$R_s = (0,25 + 0,54 n/N) \times R_a \dots \dots \dots (2.7)$$

$R_s$  = Jumlah radiasi gelombang pendek (mm/hari)

$R_a$  = Radiasi matahari (mm/hari) (tabel 2.4)

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \dots \dots \dots (2.8)$$

$R_{ns}$  = penyinaran radiasi matahari yang dikoreksi bumi (mm/hari)

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \dots \dots \dots (2.9)$$

$R_n$  = penyinaran radiasi matahari bersih (mm/hari)

$n/N$  = penyinaran matahari (%)

R<sub>nl</sub> = Radiasi matahari yang dipancarkan bumi (mm/hr)

$$R_{nl} = f(T) \times f(ed) \times f(n/N) \dots \dots \dots (2.10)$$

f(T) = fungsi suhu (tabel 2.5)

f(ed) = fungsi tekanan uap

$$f(ed) = 0,34 - 0,044 \times \sqrt{ed} \dots \dots \dots (2.11)$$

f(n/N) = fungsi kecerahan matahari

$$f(n/N) = 0,1 + 0,9 \frac{n}{N} \dots \dots \dots (2.12)$$

f(u) = fungsi kecepatan angin

$$f(u) = 0,27 (1 + (u/100)) \dots \dots \dots (2.13)$$

U = kecepatan angin (m/dtk)

Tabel.2.1 Hubungan antara T dengan E<sub>a</sub>

Suhu (T)	E <sub>a</sub>	
	mmHg	Mbar
20	17.53	23.37
21	18.65	24.86
22	19.82	26.42
23	21.05	28.06
24	22.27	29.69
25	23.75	31.66
26	25.31	33.74
27	26.74	35.65
28	28.32	37.76
29	30.03	40.03
30	31.82	42.42

Sumber : Triatmodjo (2008)



Tabel.2.2 Hubungan antara T dengan W

Suhu (T)	W		
	0	500	1000
20	0.68	0.7	0.71
21	0.7	0.71	0.72
22	0.71	0.72	0.73
23	0.72	0.73	0.74
24	0.73	0.74	0.75
25	0.74	0.75	0.76
26	0.75	0.76	0.77
27	0.76	0.77	0.78
28	0.77	0.78	0.79
29	0.78	0.79	0.8
30	0.78	0.79	0.8

Sumber : Triatmodjo (2008)

Tabel 2.3 Radiasi Matahari (Ra) dalam evaporasi ekuivalen (mm/hari) untuk daerah Indonesia antara 5° LU sampai 10° LS

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
<b>5° LU</b>	13.7	14.5	15	15	14.5	14.1	14.2	14.6	14.9	14.6	13.9	13.4
<b>0° LU</b>	14.5	15	15.2	14.7	13.9	13.4	13.5	14.2	14.9	15	14.6	14.3
<b>5° LS</b>	15.2	15.4	15.2	14.3	13.2	12.5	12.7	13.6	14.7	15.2	15.2	15.1
<b>10° LS</b>	15.8	15.7	15.1	13.8	12.4	11.6	11.9	13	14.4	15.7	15.7	15.8

Sumber : Sudirman (2002)

Tabel 2.4 Hubungan antaran T dengan f(T)

Suhu (T)	f(T)
20	14.6
21	14.8
22	15
23	15.2
24	15.4
25	15.65
26	15.9
27	16.1
28	16.3
29	16.5
30	16.7

Sumber : Triatmodjo (2008)

Tabel 2.5 Angka koreksi (c)

Untuk  $R_{hmax} = 90\%$ ,  $U_{siang}/U_{malam} = 1$

Usiang (m/s)	Rs (mm/hari)			
	3	6	9	12
0	1.02	1.06	1.1	1.1
3	0.85	0.92	1.01	1.05
6	0.72	0.82	0.95	1
9	0.62	0.72	0.87	0.96

Sumber : Triatmodjo (2008)

#### b. Metode Meteorological Water Balance Dr. F.J. Mock

Metode ini ditemukan oleh Dr. F.J. Mock pada tahun 1973 dimana metode ini didasarkan atas fenomena alam di beberapa tempat di Indonesia. Dengan metode ini, besarnya aliran dari data curah hujan, karakteristik hidrologi daerah pengaliran dan evapotranspirasi dapat dihitung. Pada dasarnya metode ini adalah hujan yang jatuh pada catchment area sebagian akan hilang sebagai evapotranspirasi, sebagian

akan langsung menjadi aliran permukaan (direct run off) dan sebagian lagi akan masuk kedalam tanah (infiltrasi), dimana infiltrasi pertama-tama akan menjenuhkan top soil, kemudian menjadi perkolasi membentuk air bawah tanah (ground water) yang nantinya akan keluar ke sungai sebagai aliran dasar (base flow). Adapun ketentuan dari metode ini adalah sebagai berikut :

#### 1. Data meteorologi

Data meteorologi yang digunakan mencakup:

- Data curah hujan bulanan
- Data Klimatologi berupa data temperatur udara, kecepatan angin, kelembaman udara, dan penyinaran matahari untuk menentukan evapotranspirasi potensial ( $E_t$ ) yang dihitung berdasarkan metode “Penman Modifikasi”

#### 2. Evapotranspirasi Aktual ( $E_a$ )

Jika dalam evapotranspirasi potensial air yang tersedia dari yang diperlukan oleh tanaman selama proses transpirasi berlebihan, maka dalam evapotranspirasi aktual ini jumlah air tidak berlebihan atau terbatas. Jadi evapotranspirasi aktual adalah evapotranspirasi yang terjadi pada kondisi air yang tersedia terbatas. Evapotranspirasi aktual dipengaruhi oleh proporsi permukaan luar yang tidak tertutupi tumbuhan hijau (*exposed surface*) pada musim kemarau. Besarnya *exposed surface* (m) untuk tiap daerah berbeda-beda. F.J. Mock mengklasifikasikan menjadi tiga daerah dengan masing-masing nilai *exposed surface* ditampilkan pada tabel 2.7.

Tabel 2.6 Exposed Surface (m)

No.	M	Daerah
1	0 %	Hutan primer, sekunder
2	10 – 40 %	Daerah tererosi
3	30 – 50 %	Daerah ladang pertanian

Sumber: Sudirman (2002).

Selain *exposed surface* evapotranspirasi aktual juga dipengaruhi oleh jumlah hari hujan (n) dalam bulan yang bersangkutan. Menurut Mock rasio antara selisih evapotranspirasi potensial dan evapotranspirasi aktual dengan evapotranspirasi potensial dipengaruhi oleh *exposed surface* (m) dan jumlah hari hujan (n), seperti ditunjukkan dalam formulasi sebagai berikut.

$$E_e = E_{to} \times (m / 20) \times (18-n) \dots\dots\dots (2.14)$$

$$E_a = E_{to} - E_e \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

$E_a$  = Evapotranspirasi aktual (mm)

$E_{to}$  = Evapotranspirasi potensial (mm)

n = jumlah hari hujan dalam sebulan

m = perbandingan permukaan tanah yang tidak tertutup dengan tumbuh-tumbuhan penahan hujan koefisien yang tergantung jenis area dan musim (%) (tabel 2.7)

### 3. Water Surplus (kelebihan air)

*Water surplus* didefinisikan sebagai air hujan (presipitasi) yang telah mengalami evapotranspirasi dan mengisi tampungan tanah (*soil storage*, disingkat SS). *Water surplus* ini berpengaruh langsung pada infiltrasi atau perkolasi dan *total run off* yang merupakan komponen debit.

Persamaan *water surplus* (disingkat WS) adalah sebagai berikut:

$$WS = (P - E_a) + SS \dots\dots\dots(2.16)$$

*Water surplus* merupakan air limpasan permukaan ditambah dengan air yang mengalami infiltrasi.

Tampungan kelembaban tanah (*soil moisture storage*, disingkat SMS) terdiri dari kapasitas kelembaban tanah (*soil moisture capacity*, disingkat SMC), zona infiltrasi, limpasan permukaan tanah dan tampungan tanah (*soil storage*, disingkat SS). Besarnya *soil moisture capacity* (SMC) tiap daerah tergantung dari tipe tanaman penutup lahan (*land covery*) dan tipe tanahnya, seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.8. Dalam studi yang dilakukan Mock di daerah aliran sungai di Bogor, ditetapkan besarnya kapasitas kelembaban tanah maksimum adalah 200 mm/bulan.

Dalam Metode Mock, tampungan kelembaban tanah dihitung sebagai berikut:

$$SMS = ISMS + (P - E_a) \dots\dots\dots (2.17)$$



Dimana,

ISMS = *initial soil moisture storage* (tampungan kelembaban tanah awal), merupakan *soil moisture capacity* (SMC) bulan sebelumnya.

$P - E_a$  = presipitasi yang telah mengalami evapotranspirasi.

Asumsi yang dipakai oleh Dr. F.J. Mock adalah air akan memenuhi SMC terlebih dahulu sebelum *water surplus* tersedia untuk infiltrasi dan perkolasi yang lebih dalam atau melimpas langsung (*direct run off*). Ada dua keadaan untuk menentukan SMC, yaitu:

$$SMC = 200 \text{ mm/bulan, jika } P - E_a > 0.$$

Artinya *soil moisture storage* (tampungan tanah lembab) sudah mencapai kapasitas maksimumnya atau terlampaui sehingga air tidak disimpan dalam tanah lembab. Ini berarti *soil storage* (SS) sama dengan nol dan besarnya *water surplus* sama dengan  $P - E_a$ .

$$SMC = SMC \text{ bulan sebelumnya} + (P - E_a), \text{ jika } P - E_a < 0.$$

Untuk keadaan ini, tampungan tanah lembab (*soil moisture storage*) belum mencapai kapasitas maksimum, sehingga ada air yang disimpan dalam tanah lembab. Besarnya air yang disimpan ini adalah  $P - E_a$ . Karena air berusaha untuk mengisi kapasitas maksimumnya, maka untuk keadaan ini tidak ada *water surplus* ( $WS = 0$ )

Selanjutnya WS ini akan mengalami infiltrasi dan melimpas di permukaan (*run off*). Besarnya infiltrasi ini tergantung pada koefisien infiltrasi.

Tabel 2.7 Nilai *Soil Moisture Capacity* Berbagai Tipe Tanaman dan Tipe Tanah

Tipe Tanaman	Tipe Tanah	Zone Akar (m)	Soil Moisture
Tanaman Berakar Pendek	Pasir Halus	0.50	50
	Pasir Halus dan Lanau dan Loam	0.50	75
	Lempung dan Lempung	0.62	125
	Lempung dan Lempung	0.40	100
	Lempung	0.25	75
Tanaman Berakar Sedang	Pasir Halus	0.75	75
	Pasir Halus dan Lanau dan Loam	1.00	150
	Lempung dan Lempung	1.00	200
	Lempung dan Lempung	0.80	200
	Lempung	0.50	150
Tanaman Berakar Dalam	Pasir Halus	1.00	100
	Pasir Halus dan Lanau dan Loam	1.00	150
	Lempung dan Lempung	1.25	250
	Lempung dan Lempung	1.00	250
	Lempung	0.67	200
Tanaman Palm	Pasir Halus	1.50	150
	Pasir Halus dan Lanau dan Loam	1.67	250
	Lempung dan Lempung	1.50	300
	Lempung dan Lempung	1.00	250
	Lempung	0.67	200
Mendekati Hutan Alam	Pasir Halus	2.50	250
	Pasir Halus dan Lanau dan Loam	2.00	300
	Lempung dan Lempung	2.00	400
	Lempung dan Lempung	1.60	400
	Lempung	1.17	350

#### 4. Limpasan Total

Air hujan yang telah mengalami evapotranspirasi dan disimpan dalam tanah lembab selanjutnya akan melimpas di permukaan (*surface run off*) dan mengalami perkolasi. Berikutnya, menurut Mock besarnya infiltrasi adalah *water surplus* (WS) dikalikan dengan koefisien Infiltrasi (i), atau:

$$\text{Infiltrasi (I)} = \text{WS} \times \text{if} \dots\dots\dots (2.18)$$

Koefisien infiltrasi (if) ditentukan oleh kondisi porositas dan kemiringan daerah pengaliran. Lahan yang bersifat poros umumnya memiliki koefisien yang cenderung besar. Namun jika kemiringan tanahnya terjal dimana air tidak sempat mengalami infiltrasi dan perkolasi ke dalam tanah, maka koefisien infiltrasinya bernilai kecil.

Infiltrasi terus terjadi sampai mencapai zona tampungan air tanah (*groundwater storage*, disingkat GS). Keadaan perjalanan air di permukaan tanah dan di dalam tanah diperlihatkan. Dalam Metode ini, besarnya *groundwater storage* (GS) dipengaruhi oleh:

a. Infiltrasi (I).

Semakin besar infiltrasi maka *groundwater storage* (Gs) semakin besar pula, dan begitu pula sebaliknya.

b. Konstanta resesi aliran bulanan.

Konstanta resesi aliran bulanan (*monthly flow recession constan*) disimbolkan dengan **K** adalah proporsi dari air tanah bulan lalu yang masih ada bulan sekarang.

c. *Groundwater storage* bulan sebelumnya (GSom).

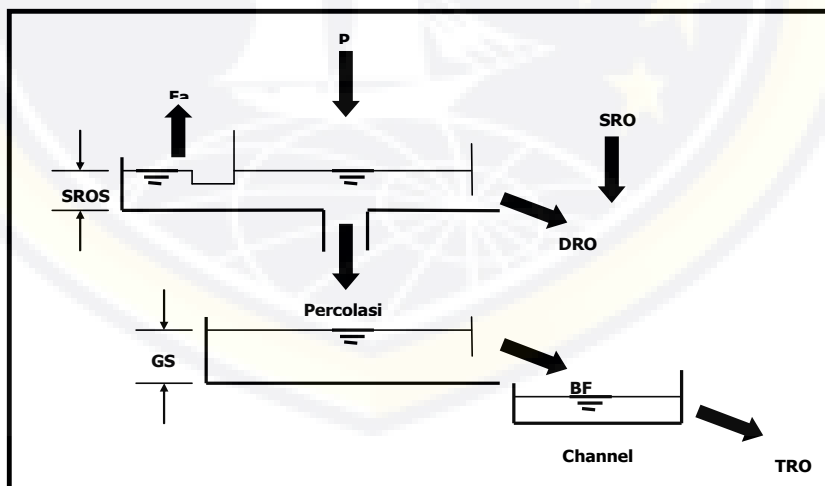
Nilai ini diasumsikan sebagai konstanta awal, dengan anggapan bahwa *water balance* merupakan siklus tertutup yang ditinjau selama rentang waktu menerus tahunan tertentu. Dengan demikian maka nilai asumsi awal bulan pertama tahun pertama harus dibuat sama dengan nilai bulan terakhir tahun terakhir.

Dari ketiga faktor di atas, Mock merumuskan sebagai berikut:

$$GS = \{ 0,5 \times (1 + K) \times I \} + \{ K \times GSom \} \dots \dots \dots (2.19)$$

Seperti telah dijelaskan, metode Mock adalah metoda untuk memprediksi debit yang didasarkan pada *water balance*. Oleh sebab itu, batasan-batasan *water balance* ini harus dipenuhi. Salah satunya adalah bahwa perubahan *groundwater storage* ( $\Delta GS$ ) selama rentang waktu tahunan tertentu adalah nol, atau (misalnya untuk 1 tahun):

$$\sum_{i=\text{bulanke}-1}^{\text{bulanke}-12} \Delta GS = 0$$



Gambar 2.4. Perjalanan air hujan sampai terbentuk debit.

d. Base Flow (BF)

Perubahan *groundwater storage* penting bagi terbentuknya aliran dasar sungai (*base flow*, disingkat BF). Dalam hal ini *base flow* merupakan selisih antara infiltrasi dengan perubahan *groundwater storage*, dalam bentuk persamaan:

$$BF = I - \Delta G_s \dots\dots\dots (2.20)$$

Jika pada suatu bulan  $\Delta G_s$  bernilai negatif (terjadi karena  $G_s$  bulan yang ditinjau lebih kecil dari bulan sebelumnya), maka *base flow* akan lebih besar dari nilai Infiltrasinya. Karena *water balance* merupakan siklus tertutup dengan perioda tahunan tertentu (misalnya 1 tahun) maka perubahan *groundwater storage* ( $\Delta G_s$ ) selama 1 tahun adalah nol. Dari persamaan di atas maka dalam 1 tahun jumlah *base flow* akan sama dengan jumlah infiltrasi. Selain *base flow*, komponen debit yang lain adalah *direct run off* (limpasan langsung) atau *surface run off* (limpasan permukaan). Limpasan permukaan berasal dari *water surplus* yang telah mengalami infiltrasi.

Jadi *direct run off* dihitung dengan persamaan:

$$DRO = WS - I \dots\dots\dots (2.21)$$

Setelah *base flow* dan *direct run off* komponen pembentuk debit yang lain adalah *storm run off*, yaitu limpasan langsung ke sungai yang terjadi selama hujan deras. *Storm run off* ini hanya beberapa persen saja dari hujan. *Storm run off* hanya dimasukkan ke dalam total run off, bila presipitasi kurang dari nilai maksimum *soil moisture capacity*. Menurut

Mock *storm run off* dipengaruhi oleh *percentage factor*, disimbolkan dengan PF. *Percentage factor* adalah persen hujan yang menjadi limpasan. Besarnya PF oleh Mock disarankan 5% - 10%, namun tidak menutup kemungkinan untuk meningkat secara tidak beraturan hingga mencapai 37,3%. Dalam perhitungan debit ini, Mock menetapkan bahwa:

- Jika presipitasi (P) > SMC, nilai SRO= 0.
- Jika P < SMC maka SRO adalah jumlah curah hujan dalam satu bulan yang bersangkutan dikali *percentage factor*, atau:

$$SRO = P \times PF \dots\dots\dots (2.22)$$

e. Total Run Off (TRO)

Dengan demikian maka *totalrun off* (TRO) yang merupakan komponen-komponen pembentuk debit sungai (*stream flow*) adalah jumlah antara *base flow*, *direct run off* dan *storm run off*, atau:

$$TRO = BF + DRO + SRO \dots\dots\dots (2.23)$$

Total *run off* ini dinyatakan dalam mm/bulan. Maka jika TRO ini dikalikan dengan *catchment area* (luas daerah tangkapan air) dalam km<sup>2</sup> dengan suatu angka konversi tertentu akan didapatkan besaran debit dalam m<sup>3</sup>/det.

f. Debit Sungai (Qn)

Banyaknya air yang tersedia dari sumbernya. Persamaan yang digunakan adalah:

$$Q_n = TRO \times A \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana :

$Q_n$  = Debit yang tersedia bulan n ( $m^3/dtk$ )

A = Luas daerah tangkapan (catchment area)  $Km^2$

**c. Parameter Mock**

Secara umum, parameter-parameter yang akan dijelaskan ini mempengaruhi besarnya evapotranspirasi, Infiltrasi, *groundwater storage* dan *storm run off*.

1. *Exposed surface (m)*, yaitu asumsi proporsi permukaan luar yang tidak tertutupi tumbuhan hijau pada musim kering dan dinyatakan dalam persen. Besarnya harga *m* ini, tergantung daerah yang diamati. Mock mengklasifikasikan menjadi tiga bagian daerah, yaitu hutan primer atau sekunder, daerah tererosi dan daerah ladang pertanian. Besarnya harga *exposed surface* ini berkisar antara 0% sampai 50% dan sama untuk tiap bulan. Harga *m* untuk ketiga klasifikasi daerah ini telah ditabelkan dalam Tabel 2.7.
2. Koefisien Infiltrasi (*if*), adalah koefisien yang didasarkan pada kondisi porositas tanah dan kemiringan daerah pengaliran. Harga minimum koefisien infiltrasi bisa dicapai karena kondisi lahan yang terjal dan air tidak sempat mengalami infiltrasi. Pada umumnya nilai (*if*) yang digunakan untuk daerah dataran rendah adalah 0,3 dan daerah pegunungan  $> 0,5$

3. Konstanta resesi aliran (K), yaitu proporsi dari air tanah bulan lalu yang masih ada bulan sekarang. Harga K suatu bulan relatif lebih besar jika bulan sebelumnya merupakan bulan basah. Harga k berkisar antara 0,5 untuk daerah dataran rendah dan 0,6 untuk daerah pegunungan.
4. *Percentage factor* (PF), merupakan persentase hujan yang menjadi limpasan. Digunakan dalam perhitungan *storm run off* pada *total run off*. *Storm run off* hanya dimasukkan kedalam *total run off*, bila P lebih kecil dari nilai maksimum *soil moisture capacity*. Besarnya PF oleh Mock disarankan berkisar 5%-10%, namun tidak menutup kemungkinan untuk meningkat sampai harga 37,3%.

#### **d. Analisa Debit Andalan**

Debit andalan adalah debit minimum sungai dengan besaran tertentu yang mempunyai kemungkinan terpenuhi dalam prosentase tertentu, misalnya 90%, 80% atau nilai prosentase lainnya, sehingga dapat dipakai untuk keperluan pembangkitan. Kemungkinan tak terpenuhi dapat ditetapkan 20%, 30% atau nilai lainnya untuk menilai tersedianya air berkenaan dengan kebutuhan pengambilan.

Debit andalan optimal diperoleh melalui analisi dengan menggunakan metode catatan debit sungai atau apabila catatan debit itu terdapat bagian yang tidak ada, maka digunakan hasil analisis sebagaimana dijabarkan diatas.



Tabel 2.8 Nilai Debit Andalan untuk Berbagai Macam Kegiatan

Kegiatan	Keandalan
Penyediaan air minum	99%
Penyediaan air industry	95% - 98%
Penyediaan air irigasi	
- Daerah beriklim setengah lembab	70% - 85%
- Daerah beriklim kering	80% - 90%
Pembangkit listrik tenaga air	80% - 90%

Sumber : Soemarto (1987).

*Flo duration curve (FDC)* dilakukan dengan cara data debit pencatatan pos duga air untuk jangka waktu tertentu disusun dari angka terbesar hingga terkecil. Selanjutnya dirangkingkan dimulai dengan rangking pertama ( $m=1$ ) untuk data yang paling besar dan seterusnya. Tiap debit diberikan probabilitas yang dihitung dengan persamaan Weibull berikut ini.

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

(2.25)

Dimana :

P = probabilitas (%)

m = rangking debit

n = jumlah data debit

Debit perkiraan dan probabilitas digambarkan dalam *flow duration curve (FDC)* yang menggambarkan probabilitas/persentase ketersediaan air pada sumbu ordinat dan besar debit andalan pada sumbu aksis seluruh data debit terurut dari debit terbesar hingga debit terkecil dan

persentase probabilitas. Debit andalan didapatkan dari *flow duration curve* untuk persentase keandalan yang diperlukan.

### **2.3. Penentuan Tinggi Jatuh Efektif**

#### **1) Jenis saluran air**

Tinggi jatuh efektif dapat diperoleh dengan mengurangi tinggi jatuh total (dari permukaan air pada pengambilan sampai permukaan air saluran bawah) dengan kehilangan tinggi pada saluran air. Tinggi jatuh penuh (*Full head*) adalah tinggi air yang bekerja efektif pada turbin yang sedang berjalan. Untuk jenis saluran air, bila diketahui permukaan air pada bangunan pengambilan dan saluran bawah serta debit air, maka tinggi jatuh efektif kemudian dapat ditentukan, dengan dasar pertimbangan ekonomis. Misalnya, bila kehilangan tinggi jatuh air dapat dikurangi dengan memperbesar penampang saluran air atau memperkecil kemiringannya, maka tinggi jatuh dapat digunakan dengan efektif

#### **2) Jenis waduk atau waduk pengatur**

Jika naik turunnya permukaan air waduk sudah dapat ditentukan, maka tinggi jatuh efektif maksimum dan minimum dapat ditentukan seperti diuraikan diatas, sesuai dengan permukaan air waduk dalam keadaan maksimum dan minimum. Namun apabila naik turunnya permukaan air yang ada sangat besar, perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

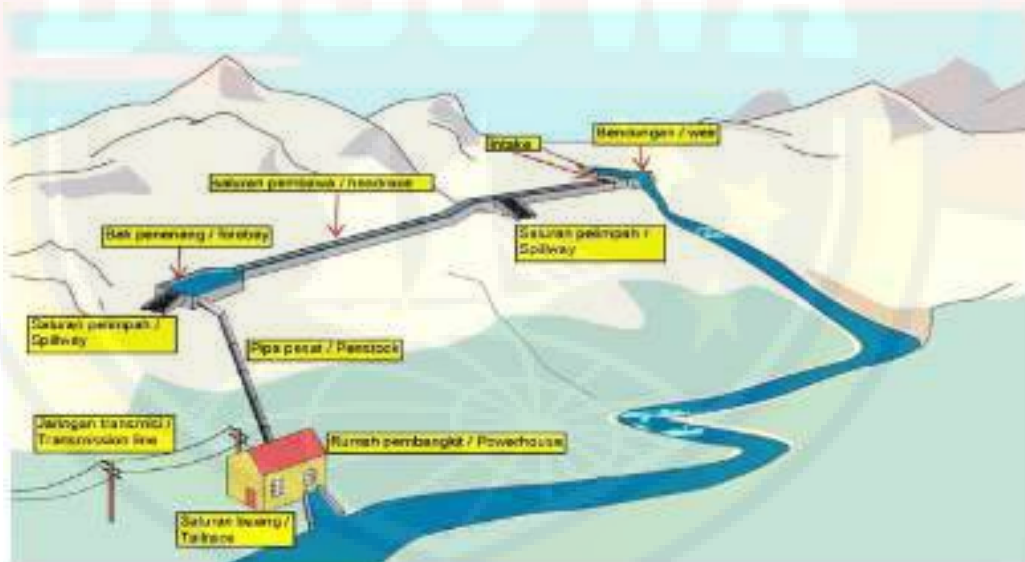
### a. Tinggi jatuh normal

Ini adalah tinggi jatuh efektif yang dipakai sebagai dasar untuk menentukan tenaga yang dihasilkan atau efisiensi dariturbin. Pada umumnya turbin dapat bekerja dengan efisiensi maksimal pada tinggi jatuh ini.

### b. Perubahan tinggi jatuh

Kapasitas efektif waduk dan naik turunnya permukaan air waduk ditentukan berdasarkan atas daya puncak yang dihasilkan dan lamanya hal ini berlangsung; hal ini disesuaikan dengan hubungan antara penyediaan dan kebutuhan tenaga, rencana penyediaan tenaga pada musim kemarau, pemanfaatan air banjir, dan lain-lain.

## 2.4. Komponen Pokok PLTM



Gambar 2.5 Skema PLTM

## 1) Bendung (*Weir*)

Bendung berfungsi untuk menaikkan / mengontrol tinggi air sungai sehingga air dapat dialihkan kedalam intake. Bagian-bagian dari bendung:

### a. Sayap Bendung (*wings wall*)

Sayap bendung terbuat dari pasangan batu kali, gunanya untuk mencegah erosi tepi sungai dan banjir yang dapat menghancurkan pekerjaan sipil.

### b. Penahan Gerusan

Penahan gerusan terbuat dari pasangan batu/beronjong gunanya untuk mencegah erosi dasar sungai di hilir bendung.

### c. Pintu Gerusan dan Saluran Penguras (*flushing gate and flushing canal*)

Pintu penguras dipasang diantara bendung dan intake. Air yang digunakan untuk menguras dialirkan melalui saluran penguras yang kemudian dialirkan kembali ke sungai pada sisi setelah bendung.

### d. Bangunan Pengambilan (*intake*)

Bangunan pengambilan berfungsi untuk mengalirkan air melalui sebuah pembuka di bagian sisi sungai ke dalam sebuah bak pengendap.

e. Saluran Pengambilan (*intake channel*)

Saluran pengambilan terbuat dari pasangan batu kali dan dilengkapi dengan pelimpah samping dan pintu intake.

f. Pintu intake

Pintu intake berguna untuk menutup dan membuka saluran intake, menutup saluran biasanya dilakukan pada saat pemeliharaan atau terjadinya renovasi pada saluran. Atau pada saat banjir digunakan untuk mengurangi volume air masuk ke saluran.

**2) Saluran Pembawa (*Headrace*)**

Merupakan saluran yang mengalirkan air dari saluran intake menuju pipa pesat dengan menjaga ketinggian muka airnya. Tipe saluran pembawa biasanya sangat tergantung pada kondisi topografi geologi daerah yang dilewati, dan dapat berupa saluran terbuka, pipa ataupun terowongan. Konstruksi saluran pembawa dapat berupa pasangan batu kali atau hanya berupa tanah yang digali. Jika saluran pembawa panjang perlu dilengkapi dengan saluran pelimpah untuk setiap jarak tertentu karena jika terjadi banjir pada saluran tersebut, maka kelebihan air akan terbangun melalui saluran pelimpah.

**3) Bak Pengendap (*Settling Basin*)**

Bak pengendap ini biasanya seperti kolam yang dibuat dengan memperdalam dan memperlebar sebagian saluran pembawa dan

menambahnya saluran penguras. Fungsinya untuk mengendapkan pasir dan kotoran yang hanyut sehingga air yang masuk turbin relative bersih.

#### **4) Bak Penenang (*Forebay*)**

Bak penenang terletak diujung saluran pembawa. Fungsi bak penenang secara kasar ada dua jenis yaitu:

- a) Mengontrol perbedaan debit dalam penstock dan sebuah saluran pembawa karena fluktuasi beban
- b) Pemindahan sampah terakhir (tanah dan pasir, kayu yang mengapung, dll.) dalam air yang mengalir.

Bak penenang dilengkapi dengan:

- a) Saluran pelimpah untuk air yang berlebih (*over flow*)
- b) Lubang untuk menguras bak dan sedimen
- c) Saringan untuk mencegah masuknya sampah yang mengapung.

#### **5) Pipa Pesat (*Penstock*)**

Pipa pesat dapat terbuat dari logam atau plastik dengan diameter yang berbeda-beda. Beberapa jenis bahan pipa pesat dapat dilihat sebagai berikut:

- a. Pipa PVC

Pipa PVC dapat disambung dengan soket yang di kem atau dengan sealing karet. Pipanya terlindungi dari sinar matahari, yang paling baik adalah dengan cara ditimbun di dalam tanah. Apabila tidak ditimbun,

pipa mesti di bungkus dengan material yang bias melindungi dari sinar matahari.

#### b. Pipa Baja

Pipa besi bias berupa pipa yang dibuat dari lembaran baja atau pipa bikinan pabrik dengan ukuran sedemikian rupa sehingga mudah untuk diangkut dengan transportasi, mudah dipasang dan mudah disambung. Pipa yang terbuat dari gulaungan lembaran baja biasanya sudah digulung di bengkel, yang kemudian dilas di lokasi PLTMH. Penyambungan ruas-ruas pipa besi dapat dilakukan dengan cara dilas di lokasi atau dengan flange yang di sambung dengan baut.

### **6) Turbin dan Generator (*Turbine and Generator*)**

Turbin mengubah atau mengkonversikan energi potensial air menjadi energi mekanik berupa putaran poros turbin. Putaran poros turbin ini yang akan diteruskan untuk memutar poros generator. Turbin berfungsi untuk mengkonversi energi aliran air menjadi energi putaran mekanis.

### **7) Rumah Pembangkit (*Power House*)**

Rumah pembangkit dibangun untuk menampung dan melindungi peralatan turbin dan generator (*dynamo*) dari yang tidak berkepentingan dan dari kerusakan yang mungkin timbul akibat cuaca. Di dalam rumah turbin biasanya juga terdapat tempat untuk *swith board*, transformer (jika diperlukan) dan area untuk pekerjaan pemeliharaan termasuk lemari/rak untuk peralatan dan suku cadang.

### **8) Saluran Pembuang (*Tail Race*)**

Saluran pembuang mengalirkan air dari turbin kembali ke sungai. Saluran pembuang perlu didesain cukup luas agar air buangan turbin dapat mengalir dengan aman. Dinding pengaman pada sungai dan posisi ketinggian lantai rumah turbin dibuat cukup tinggi, yaitu diatas tinggi muka air maksimum pada saat banjir.





## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Gambaran Lokasi PLTM Ma'dong II

PLTM Ma'dong II berada di daerah Desa Ma'dong, Kecamatan Denpina Kabupaten Toraja Utara, Provinsi Sulawesi Selatan. Sungai Maiting sendiri masuk dalam Water District Saddang-Rantepao, dan merupakan salah satu anak sungai dari Sungai Jenelata. Sungai Maiting bersumber dari mata air dibawah formasi Gunung Lamasi dengan bagian hilir sungai menuju Sungai Saddang. Lokasi PLTM Ma'dong II berada pada ruas Sungai Maiting, sedangkan luas DAS pada lokasi bendung PLTM Ma'dong adalah 188.36 km<sup>2</sup> dengan panjang sungai utama adalah 25.91 km, dengan kemiringan dasar sungai rata-rata 0.03 dan lebar sungai rata-rata adalah 20 m.

Posisi geografis lokasi penelitian terletak pada

**Tabel 1.1 Koordinat Lokasi Bangunan PLTM**

Struktur	Koordinat	Ma'dong
Bendung	X	812248,000
	Y	9673250,000
Head Tank	X	812390,000
	Y	9672500,000
Power House	X	812237,000
	Y	9672533,000



**Gambar 3.1 Peta Lokasi PLTM Ma'dong**

### **3.2. Teknik Pengumpulan Data**

#### **3.2.1 Permintaan Data ke BMKG**

- a. Data Curah Hujan
- b. Data Klimatologi, yaitu:
  - Temperature udara
  - Kecepatan angin
  - Kelembaman udara
  - Penyinaran matahari

#### **3.2.2. Data Perencanaan PLTM Ma,dong**

- a. Debit Sungai
- b. Tinggi jatuh efektif

### 3.3. Langkah-langkah Penelitian

#### a. Pendahuluan:

➤ Permohonan izin permintaan data secara tertulis kepada instansi PLTM Ma'dong 2

➤ Permohonan permintaan data secara tertulis kepada BMKG Makassar

#### b. Pengumpulan data

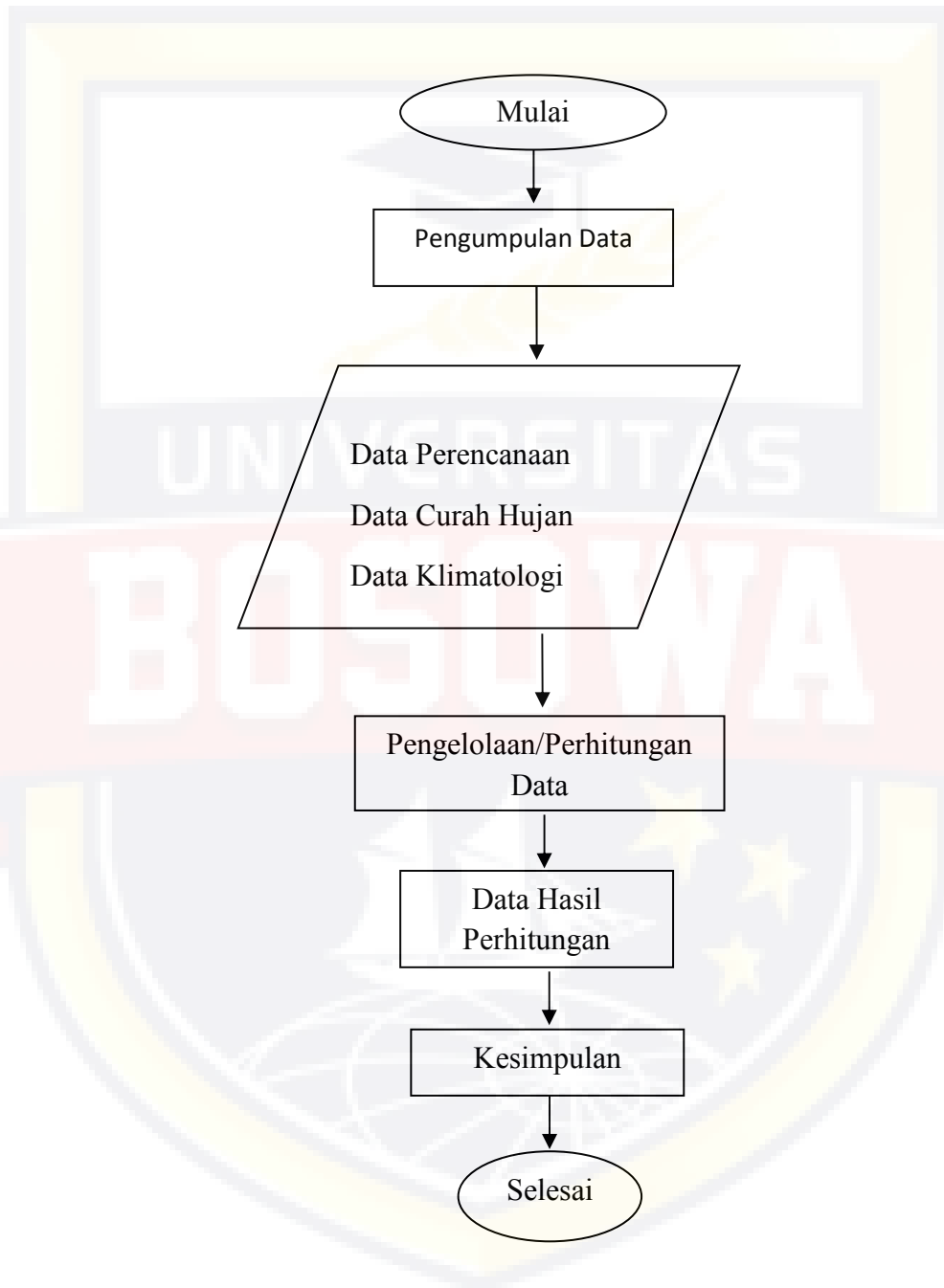
Mengumpulkan semua jenis data yang dibutuhkan, mulai dari data curah hujan, data klimatogogi dan data perencanaan PLTM Ma'dong II

#### c. Pengelolahan data

Melakukan Analisi data serta perhitungan untuk mendapatkan hasil yang diperlukan

### 3.4. Metode Pengelolaan Data

Metode pengolahan data dituangkan dalam bagan alir (*Flow Chart*) berikut ini:





## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Evaluasi Data

Data-data yang akan digunakan dalam menganalisis debit andalan meliputi data curah hujan, hari hujan dan data klimatologi dimana data-data tersebut akan dievaluasi terlebih dahulu. Untuk data-data yang digunakan dalam menganalisis ketersediaan air (debit andalan) secara keseluruhan mencakup antara lain:

4.1.1 Data Klimatologi, diperoleh dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) Makassar, dengan periode 2008-2017 yaitu sebagai berikut:

##### 4.1.1.1 Penyinaran Matahari (n/N)

Tabel 4.1 Penyinaran Matahari (%)

No.	Tahun	Penyinaran Matahari (%)											
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
1	2008	64	56	69	67	60	58	38	43	68	76	70	53
2	2009	66	57	66	72	72	55	60	79	89	74	74	63
3	2010	53	66	61	56	74	59	59	62	74	73	77	65
4	2011	59	65	62	67	69	64	63	69	64	83	67	52
5	2012	57	66	64	74	69	57	45	45	75	85	77	68
6	2013	61	66	64	59	67	69	53	71	66	79	81	60
7	2014	58	54	66	64	64	53	63	63	85	92	80	59
8	2015	61	58	64	66	74	56	80	84	92	96	81	60
9	2016	76	61	61	71	77	63	72	68	69	63	69	63
10	2017	54	66	64	66	58	42	58	54	64	72	72	62
<b>Rata-rata</b>		61	62	64	66	68	58	59	64	75	79	75	61
<b>Max</b>		76	66	69	74	77	69	80	84	92	96	81	68
<b>Min</b>		53	54	61	56	58	42	38	43	64	63	67	52

Sumber : BMKG Makassar

4.1.1.2 Kelembaban Udara (RH)

Tabel 4.2 Kelembaban Udara (%)

No.	Tahun	Kelembaban Udara (%)											
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Desr
1	<b>2008</b>	86	82	89	90	89	89	91	89	87	87	88	88
2	<b>2009</b>	86	86	88	89	89	88	86	82	76	76	76	85
3	<b>2010</b>	84	85	87	86	86	86	87	87	86	87	87	84
4	<b>2011</b>	86	84	85	85	86	86	85	81	81	78	84	86
5	<b>2012</b>	80	84	81	85	84	84	84	84	80	81	82	85
6	<b>2013</b>	76	79	84	87	86	84	87	81	81	77	82	84
7	<b>2014</b>	80	80	86	83	86	88	86	82	77	71	78	87
8	<b>2015</b>	80	86	84	87	86	87	79	77	70	67	78	83
9	<b>2016</b>	84	87	87	86	86	86	84	83	81	85	85	82
10	<b>2017</b>	83	80	85	85	87	88	86	85	82	83	84	84
<b>Rata-rata</b>		83	83	86	86	87	87	86	83	80	79	82	85
<b>Max</b>		86	87	89	90	89	89	91	89	87	87	88	88
<b>Min</b>		76	79	81	83	84	84	79	77	70	67	76	82

Sumber : BMKG Makassar

4.1.1.3 Suhu Udara (T)

Tabel 4.3 Suhu Udara (°C)

No.	Tahun	Suhu Udara (°C)											
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
1	2008	22.6	23.1	22.4	22.3	21.9	21.8	20.9	21.2	21.7	23	22.8	22.7
2	2009	22.7	22.5	22.3	23.2	22.7	22.2	21.6	22.1	22.5	22.8	23.3	22.6
3	2010	22.5	22.9	22.8	23	23.7	22.7	22.4	22.2	22.8	22.6	22.4	22.3
4	2011	22.1	22.1	22.2	22.6	22.7	21.8	21.2	21.7	21.9	22.9	22.8	22.6
5	2012	22.6	22.1	22.7	22.4	22.3	21.7	21.1	21.1	21.8	22.5	22.9	22.8
6	2013	23.1	23.2	22.8	22.7	22.7	22.5	21.6	21.5	21.8	22.4	22.6	22.7
7	2014	22.4	22.4	22.5	22.6	22.9	22.5	21.9	21.3	21.5	22.5	23.3	22.5
8	2015	22.8	22.1	22.4	22.4	22.4	22.1	21.7	21.6	21.9	23	23.6	22.8
9	2016	23	23	23.3	23.2	23.4	22.7	22.2	22.2	22.6	22.5	22.8	23
10	2017	22.5	22.8	22.7	22.9	22.8	22.2	22	21.7	22.4	22.8	23	22.7
<b>Rata-rata</b>		23	23	23	23	23	22	22	22	22	23	23	23
<b>Max</b>		23.1	23.2	23.3	23.2	23.7	22.7	22.4	22.2	22.8	23	23.6	23
<b>Min</b>		22.1	22.1	22.2	22.3	21.9	21.7	20.9	21.1	21.5	22.4	22.4	22.3

Sumber : BMKG Makassar



4.1.1.4 Kecepatan Angin (U)

Tabel 4.4 Kecepatan Angin (knot)

No.	Tahun	Kecepatan Angin (knot)											
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
1	2008	4	4	3	3	4	4	4	4	5	5	3	3
2	2009	3	3	3	3	3	3	4	5	5	4	4	3
3	2010	3	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4
4	2011	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3
5	2012	3	2	2	2	2	3	2	2	3	3	3	2
6	2013	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	2
7	2014	3	2	2	2	2	2	3	3	3	4	3	2
8	2015	3	2	3	2	3	3	4	4	5	5	4	2
9	2016	3	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2
10	2017	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2
<b>Rata-rata</b>		3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3
<b>Max</b>		4	4	3	3	4	4	4	5	5	5	4	4
<b>Min</b>		2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2

Sumber : BMKG Makassar

4.1.2 Data Curah Hujan diperoleh dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) Makassar, Pos Hujan BPP.

Tokarau, Kec. Sesean, Toraja Utara dengan periode pengamatan 2008-2017

4.1.2.1 Curah Hujan (P)

Tabel 4.5 Curah Hujan Pos BPP. Tokarau, Kec. Sesean, Toraja Utara

No.	Tahun	Curah Hujan Bulanan (mm)											
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
1	2008	1257	1289	3238	6216	2734	1219	895	392				
2	2009												
3	2010	186	324	887	637	519	220	242	362	308	612	367	192
4	2011	222	224	505	637	217	84	92	40	150	187	264	384
5	2012	188	462	453	378	234	167	87	71	73	148	185	
6	2013	159	320	471	570	421	383	339	84	79	126	400	313
7	2014	93	266	354	552	166	253	178	136	0	0	135	317
8	2015			289	539	179	189	69	17	-	18	67	460
9	2016	187	674	533	508	171	255	69	180	155	418	448	315
10	2017	310	234	540	379	307	315	141	174	158	234	364	513
	<b>Rata-rata</b>	325	474	808	1157	550	343	235	162	132	218	279	356
	<b>Max</b>	1257	1289	3238	6216	2734	1219	895	392	308	612	448	513
	<b>Min</b>	93	224	289	378	166	84	69	17	0	0	67	192

Sumber : BMKG Makassar

4.1.2.2 Hari Hujan (n)

Tabel 4.6 Hari Hujan Bulanan Pos BPP. Tokarau, Kec. Sesean, Toraja Utara

No.	Tahun	Curah Hujan Bulanan (mm)											
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
1	2008	10	9	19	26	11	16	19	18				
2	2009												
3	2010	15	16	27	27	28	23	25	22	24	27	18	11
4	2011	14	11	18	22	20	7	11	8	11	17	20	24
5	2012	12	24	17		15	15		10	8	14	16	
6	2013	31	28	31	30	31	30	31		30	31	30	31
7	2014	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
8	2015			14	22	15	17	9	2	-	5	6	16
9	2016	12	25	26	20	10	11	7	11	11	20	20	14
10	2017	15		23	22	21	25	14	9	14	15	24	13
<b>Rata-rata</b>		18	20	23	25	20	19	18	14	18	20	21	20
<b>Max</b>		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
<b>Min</b>		10	9	14	20	10	7	7	2	8	5	6	11

Sumber : BMKG Makassar

## 4.2 Perhitungan Evapotranspirasi Potensial (ET<sub>0</sub>)

Untuk menghitung evapotranspirasi potensial (ET<sub>0</sub>) digunakan metode “Penman Modifikasi” dengan persamaan:

$$ET_0 = c ( W \times R_n ) + ( 1 - W ) \times f(u) \times ( e_a - e_d )$$

Contoh perhitungan ET<sub>0</sub>, untuk bulan Januari pada stasiun Pongtiku, adalah sebagai berikut:

Diketahui : Data rata-rata Klimatologi

- Suhu rata-rata, T = 22,630°C (tabel 4.3.)
- Kelembaban udara relatif, RH = 83% (table 4.2.)
- Kecepatan angin, U = 3 knot = 1.5433 m/dtk (table 4.4.)
- Penyinaran matahari, n/N = 60,90% (table 4.1.)

### Langkah 1:

Dengan data T = 22,630°C (table 4.3.), didapat:

- Tekanan uap jenuh (e<sub>a</sub>) (tabel 2.1.), melalui interpolasi didapat :

$$T = 22^\circ\text{C} \rightarrow e_a = 19,82 \qquad T = 23^\circ\text{C} \rightarrow e_a = 21,05$$

$$T = 22,630 \rightarrow e_a = 19,82 + \frac{21,05 - 19,82}{23 - 22} \times (22,630 - 22)$$

$$e_a = 20,594 \text{ mm/Hg}$$

- Faktor penimbang suhu dan elevasi daerah (W) (tabel 2.2),

$$T = 22^\circ\text{C} \rightarrow 0,73 \qquad T = 23^\circ\text{C} \rightarrow 0,74$$

$$T = 22,630 \rightarrow W = 0,73 + \frac{0,74 - 0,73}{23 - 22} \times (22,630 - 22)$$

$$W = 0,736$$

3.  $(1 - W) = 1 - 0,736 = 0,263$

4. Fungsi suhu,  $f(T)$  (tabel 2.4.)

$$T = 22^{\circ}\text{C} \rightarrow 15$$

$$T = 23^{\circ}\text{C} \rightarrow 15,2$$

$$T = 22,630 \rightarrow f(T) = 15 + \frac{15,2 - 15}{23 - 22} \times (22,630 - 22)$$

$$f(T) = 15,126$$

**Langkah 2 :**

Dengan data : RH = 83% (tabel 4.2)

$$e_a = 20,594 \text{ mm/Hg}$$

5. Tekanan uap aktual

$$e_d = e_a \times \text{RH}/100$$

$$= 20,594 \times (83/100)$$

$$= 16,990 \text{ mm/Hg}$$

6. Perbedaan tekanan uap jenuh dengan tekanan uap sebenarnya:

$$(e_a - e_d) = 20,594 - 16,990$$

$$= 3,604 \text{ mm/Hg}$$

7. Fungsi tekanan uap,  $f(e_d)$

$$f(e_d) = 0,34 - 0,044 \times \sqrt{e_d}$$

$$= 0,34 - 0,044 \times \sqrt{16,990}$$

$$= 0,159 \text{ mm/Hg}$$

**Langkah 3 :**

Dengan data :

- Koordinat  $3^{\circ}2'40''$   $LS = 3,044$
- Penyinaran matahari  $(n/N) = 60,90\%$
- 8. Nilai Radiasi matahari ( $R_a$ ) (tabel 2.3.) didapat melalui interpolasi pada bulan Januari :

$$\text{Januari, } 0^{\circ}\text{LU} \rightarrow R_a = 14,50$$

$$5^{\circ}\text{LS} \rightarrow R_a = 15,20$$

$$3,044^{\circ}\text{LU} \rightarrow R_a = 14,50 + \frac{15,20-14,50}{5-0} \times (3,044 - 05^{\circ})$$

$$R_a = 14,226 \text{ mm/hari}$$

- 9. Radiasi yang terima matahari,  $R_s$  diperoleh dari

$$R_s = (0,25 + 0,54 \times n/N)R_a$$

$$= (0,25 + 0,4 \times 0,609) \times 14,226$$

$$= 8.235 \text{ mm/hari}$$

- 10. Fungsi rasio keawanan  $f(n/N)$  didapat melalui persamaan :

$$f(n/N) = 0,1 + 0,9 \times (n/N)$$

$$= 0,1 + 0,9 \times (0,609)$$

$$= 0,648$$

**Langkah 4 :**

Dengan data : Kecepatan angin,  $U = 1,5433 \text{ m/det}$

Didapat besaran :

11. Fungsi kecepatan angin diatas permukaan tanah (m/det) = f(u) didapat melalui persamaan :

$$f(u) = 0,27 (1 + U/100)$$

$$= 0,27 (1 + 1,5433/100)$$

$$= 0,274 \text{ m/det}$$

**Langkah 5:**

12. Menghitung besaran radiasi bersih gelombang panjang (Rn1) mm/hari dengan persamaan :

$$Rn1 = f(T) \times f(ed) \times f(n/N)$$

$$= 15,126 \times 0,158 \times 0,648 = 1,555 \text{ mm/hari}$$

**Langkah 6**

13. Menghitung faktor koreksi (c) berdasarkan perkiraan perbandingan kecepatan angin siang/malam di Indonesia.

Data :      RH = 83%

$$U = 1,5433 \text{ m/dtk}$$

$$Rs = 8.235 \text{ mm/hari}$$

$$\text{Asumsi Usiang / Umalam} = 1$$

Melalui interpolasi (tabel.2.6),diperoleh c = 1.022

$$Rns = (1-\alpha)Rs \rightarrow \alpha = 0,25, \text{ untuk tutupan lahan rumput } \alpha = 0,10 - 0,33$$

$$= (1 - 0,25) 8,332 = 6,249 \text{ mm/hari}$$

$$Rn = Rns - Rn1$$

$$Rn = 6,176 - 1,555 = 4.621 \text{ mm/hari}$$

**Langkah 7:**

14. Menghitung  $ET_0$  dengan persamaan :

$$ET_0 = C [(W \times R_n) + (1 - W) \times (f(u) \times (e_a - e_d))]$$

$$= 1,022 [(0,736 \times 4,621) + (1 - 0,736) \times (0,274) \times (3,604)]$$

$$= 3,743 \text{ mm/hari}$$

$$ET_0 \text{ bulanan} = 3,743 \times 31 \text{ hr} = 116,054 \text{ mm/bulan}$$

Perhitungan evapotranspirasi potensial langkah 1 sampai dengan langkah 7 bulan januari dan bulan selanjutnya disajikan pada tabel 4.7.



Tabel 4.7 Perhitungan Evapotranspirasi Bulanan dengan Metode Penman Modifikasi

No	Uraian	Satuan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
1	Temperatur rata-rata (T)	°C	22.63	22.62	22.61	22.73	22.75	22.22	21.66	21.66	22.09	22.70	22.95	22.67
2	ea	mm/Hg	20.59	20.58	20.57	20.72	20.74	20.09	25.89	25.89	26.57	27.57	27.98	27.52
3	Kelembaban relatif (RH)	%	82.50	83.30	85.60	86.30	86.50	86.60	85.50	83.10	80.10	79.20	82.40	84.80
4	ed = ea x RH	mm/Hg	16.99	17.15	17.61	17.88	17.94	17.40	22.14	21.51	21.28	21.83	23.05	23.34
5	ea-ed	mm/Hg	3.60	3.44	2.96	2.84	2.80	2.69	3.75	4.38	5.29	5.73	4.92	4.18
6	Kecepatan Angin (U2)	m/dtk	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	2.06	2.06	1.54	1.54
7	f(U) = 0.27 (1+U/100)	m/dtk	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.28	0.28	0.27	0.27
8	1-W		0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26
9	Ra	mm/hari	14.23	14.84	15.20	14.86	14.17	13.75	13.81	14.43	14.98	14.92	14.37	13.99
10	Penyinaran Matahari (n/N)	%	60.90	61.50	64.10	64.10	68.40	57.60	59.10	63.80	74.60	79.30	74.80	60.50
11	(0,25 + 0,5 n/N)		0.58	0.58	0.60	0.60	0.62	0.56	0.57	0.59	0.65	0.68	0.65	0.58
12	Rs = (0.25+0.54 x n/N) x Ra	mm/hari	8.23	8.64	9.06	8.86	8.78	7.72	7.86	8.58	9.78	10.12	9.39	8.07
13	(1-α)		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
14	Rns = (1-α) Rs	mm/hari	6.18	6.48	6.80	6.64	6.58	5.79	5.90	6.44	7.33	7.59	7.05	6.05
15	f(T)		15.13	15.12	15.12	15.15	15.15	15.04	14.93	14.93	15.02	15.14	15.19	15.13
16	f(ed) = 0.34 - 0.044 x akar (ed)		0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.16	0.13	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13
17	f(n/N) = 0,1 +0,9 n/N		0.65	0.65	0.68	0.68	0.72	0.62	0.63	0.67	0.77	0.81	0.77	0.64
18	Rn1 = f(T).f(ed).f(n/N)	mm/hari	1.56	1.56	1.59	1.58	1.67	1.46	1.25	1.37	1.59	1.66	1.51	1.24
19	Rn= Rns - Rn1	mm/hari	4.62	4.92	5.21	5.06	4.92	4.33	4.64	5.07	5.75	5.93	5.53	4.81
20	W		0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.73	0.73	0.73	0.73	0.74	0.74	0.74
21	C		1.02	1.02	1.02	1.06	1.06	1.06	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
22	Jumah hari dalam satu bulan		31.00	29.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	30.00	30.00	31.00	30.00	31.00
23	Eto	mm/hari	3.74	3.96	4.13	4.17	4.06	3.57	4.02	4.41	5.05	5.27	4.89	4.23
24	Eto	mm/bln	116.05	114.73	127.94	125.23	125.82	107.13	124.59	132.34	151.54	163.31	146.64	131.05

Sumber : Hasil Perhitungan

### 4.3 Analisis Debit Andalan

Dalam menentukan ketersediaan air atau debit andalan pada DAS sungai Maiting, digunakan **Metode F.J.Mock** untuk tiap tahunnya selama 10 tahun. Data yang menjadi parameter dalam menentukan debit andalan adalah :

- a. Data evapotranspirasi potensial yang dihitung dengan metode Penman Modifikasi.
- b. Data curah hujan bulanan.
- c. Data jumlah hari hujan bulanan.

Adapun langkah perhitungan ketersediaan air atau debit andalan pada DAS Sungai Maiting dengan metode F.J.Mock dapat dilihat pada contoh perhitungan pada bulan Januari tahun 2008 sebagai berikut:

1. Data meterologi
  - a. Curah hujan bulanan (P) = 1257.00 mm/bln (tabel 4.5.)
  - b. Jumlah hari hujan (n) = 10 hari (tabel 4.6.)
2. Evapotranspirasi aktual (Ea) :
  - a. Evapotranspirasi potensial (ETo) = 116.054 mm/bln (tabel 4.7.)
  - b. Permukaan lahan terbuka (m) = 30%
  - c.  $ETo/Ea = (m/20) \times (18 - n)$   
 $= (30/20) \times (18 - 10)$   
 $= 12 \%$

d. Evapotranspirasi terbatas (Ee)

$$\begin{aligned} Ee &= ET_0 \times (m/20) \times (18 - n) \\ &= 116.054 \times (0.12) \\ &= 12.92 \text{ mm/bln} \end{aligned}$$

e. Evapotranspirasi aktual (Ea)

$$\begin{aligned} Ea &= ET_0 - Ee \\ &= 116.054 - (12.92) \\ &= 103.13 \text{ mm/bln} \end{aligned}$$

3. Keseimbangan air (water balance)

a.  $P - Ea$

$$\begin{aligned} &= 1257.00 - 103.13 \\ &= 1153.87 \text{ mm/bln} \end{aligned}$$

b. Tampung tanah (SS) = 0,

c. Kapasitas kelembaban tanah (SMC)

Jika  $P - Ea > 0$  maka SMC = 200 mm/bulan

Jika  $P - Ea < 0$  maka SMC = SMC bulan sebelumnya

d. Kelebihan air (WS)

$$\begin{aligned} WS &= (P - Ea) - SS \\ &= 1153.87 - 0 \\ &= 1153.87 \text{ mm/bln} \end{aligned}$$

Karena air hujan dapat masuk ke dalam tanah, sehingga terjadi kelebihan air sebanyak 1153.87 mm/bln.

4. Limpasan dan penyimpanan air

a. Faktor infiltrasi (if) diambil 0.5 (untuk daerah pegunungan  $if > 0.5$ )

b. Faktor resesi air tanah (k) diambil 0.6 (untuk daerah pegunungan  $k > 0.6$ )

c. Infiltrasi (I)

$$\begin{aligned} I &= WS \times if \\ &= 1154.87 \times 0.5 \\ &= 577.44 \text{ mm/bln} \end{aligned}$$

d. Volume air tanah (G)

$$\begin{aligned} G &= 0.5 (1 + k) \times I \\ &= 0.5 (1 + 0.6) \times 577.44 \\ &= 461.95 \text{ mm/bln} \end{aligned}$$

e. Penyimpanan volume air tanah awal terkoreksi

$$\begin{aligned} k \times G_{som} &\rightarrow G_{som} = 100 \text{ (asumsi)} \\ &= 0.6 \times 100 \\ &= 60 \text{ mm/bln} \end{aligned}$$

f. Volume Penyimpanan (*Groundwater Storage* (GS))

$$\begin{aligned} GS &= G + (k \times G_{som}) \\ &= 461.95 + 60 \\ &= 521.95 \text{ mm/bln} \end{aligned}$$

g. Perubahan Volume Penyimpanan (*Groundwater Storage* ( $\Delta GS$ ))

$$\begin{aligned}\Delta GS &= GS - G_{som} \\ &= 521.95 - 100 \\ &= 421.95 \text{ mm/bln}\end{aligned}$$

h. Aliran dasar (*Base Flow*) (BF)

$$\begin{aligned}BF &= I - \Delta GS \\ &= 577.44 - 421.95 \\ &= 155.49 \text{ mm/bln}\end{aligned}$$

i. Limpasan Langsung (DRO)

$$\begin{aligned}DRO &= WS - I \\ &= 1154.87 - 577.44 \\ &= 577.44 \text{ mm/bln}\end{aligned}$$

j. *Storm Run of* (SRO)

$$SRO = 0, \text{ karena } (P) > SMC$$

k. Total Limpasan (TRO)

$$\begin{aligned}TRO &= BF + DRO + SRO \\ &= 155.49 + 577.44 + 0 \\ &= 732.92 \text{ mm/bln}\end{aligned}$$

l. Debit Andalan ( $Q_n$ )

Diketahui data-data sebagai berikut :

- Luas Daerah Tangkapan ( $A$ ) = 188.36 km<sup>2</sup>

- Jumlah hari dalam bulan januari = 31 hari

Maka untuk debit tersedia dapat dihitung sebagai berikut :

Debit tersedia bulan n ( $Q_n$ )

$$Q_n = TRO \times A$$

$$= \frac{TRO \times A \times 1000}{31 \times 24 \times 3600}$$

$$= \frac{732.92 \times 80.538 \times 1000}{31 \times 24 \times 3600}$$

$$= 51.543 \text{ m}^3/\text{det}$$

Perhitungan debit bulan Januari tahun 2008 diatas dan bulan selanjutnya dari tahun 2008 – 2017 disajikan dalam bentuk tabel (tabel 4.8 – tabel 4.17).

UNIVERSITAS

**BOSOWA**

Tabel 4.8 Debit Andalan dengan Metode F.J.Mock Sungai Maiting Tahun 2008

No	Uraian	Satuan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
<b>Data Meteorologi</b>														
1	Curah Hujan Bulanan (P)	mm/bln	1257.00	1289.00	3238.00	6216.00	2734.00	1219.00	895.00	392.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Hari Hujan (n)	hari	10.00	9.00	19.00	26.00	11.00	16.00	19.00	18.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Evaporasi Aktual (Ea)</b>														
3	Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bln	116.05	114.73	127.94	125.23	125.82	107.13	124.59	132.34	151.54	163.31	146.64	131.05
4	Exposed Surface (m)	%	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
5	Eto/Ea = m/20 x (18-n)	%	12.00	13.50	-1.50	-12.00	10.50	3.00	-1.50	0.00	27.00	27.00	27.00	27.00
6	Ee = Eto x (m/20) x (18-n)	mm/bln	13.93	15.49	-1.92	-15.03	13.21	3.21	-1.87	0.00	40.92	44.09		35.38
7	Ea = Eto - Ee	mm/bln	102.13	99.24	129.86	140.26	112.61	103.91	126.46	132.34	110.62	119.22	146.64	95.66
<b>Water Balance</b>														
8	P- Ea	mm/bln	1154.87	1189.76	3108.14	6075.74	2621.39	1115.09	768.54	259.66	-110.62	-119.22	-146.64	-95.66
9	Tampungan Tanah (SS)	mm/bln	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	110.62	119.22	146.64	95.66
10	SMC	mm/bln	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	89.38	-29.84	-176.48	-272.14
11	SMS = ISMS + (P - Ea)		1354.87	1389.76	3308.14	6275.74	2821.39	1315.09	968.54	459.66	89.38	-29.84	-176.48	-272.14
12	Kelebihan Air (Ws)	mm/bln	1154.87	1189.76	3108.14	6075.74	2621.39	1115.09	768.54	259.66	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Total Run Off</b>														
13	Faktor I (if= 0.5)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
14	Faktor k (k = 0.6)		0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
15	Infiltrasi (I)	mm/bln	577.44	594.88	1554.07	3037.87	1310.70	557.54	384.27	129.83	0.00	0.00	0.00	0.00
16	G = 0.5 (1+k). I		461.95	475.90	1243.26	2430.30	1048.56	446.03	307.41	103.86	0.00	0.00	0.00	0.00
17	Gsom		100.00	521.95	789.07	1716.70	3460.31	3124.75	2320.88	1699.94	1123.83	674.30	404.58	242.75
18	k x Gsom		60.00	313.17	473.44	1030.02	2076.19	1874.85	1392.53	1019.97	674.30	404.58	242.75	145.65
19	Groundwater Storage (GS)		521.95	789.07	1716.70	3460.31	3124.75	2320.88	1699.94	1123.83	674.30	404.58	242.75	145.65
20	ΔGs = Gs-Gsom	mm/bln	421.95	267.12	927.63	1743.62	-335.57	-803.86	-620.94	-576.11	-449.53	-269.72	-161.83	-97.10
21	Aliran dasar (Base Flow) (BF)	mm/bln	155.49	327.76	626.44	1294.25	1646.27	1361.41	1005.21	705.94	449.53	269.72	161.83	97.10
22	Limpasan Langsung (DRO)	mm/bln	577.44	594.88	1554.07	3037.87	1310.70	557.54	384.27	129.83	0.00	0.00	0.00	0.00
23	Percentage Factor (PF)	%	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
24	Storm Run of (SRO)	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
25	Total Limpasan (TRO)	mm/bln	732.92	922.63	2180.51	4332.12	2956.96	1918.95	1389.48	835.77	449.53	269.72	161.83	97.10
26	Luas Daerah Tangkapan (A)	km <sup>2</sup>	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36
27	Jumlah hari dalam satu bulan		31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
28	Debit Bulanan	m <sup>3</sup> /dtk	51.54	71.84	153.35	314.81	207.95	139.45	97.72	58.78	32.67	18.97	11.76	6.83

Tabel 4.9 Debit Andalan dengan Metode F.J.Mock Sungai Maiting Tahun 2009

No	Uraian	Satuan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
<b>Data Meteorologi</b>														
1	Curah Hujan Bulanan (P)	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
2	Hari Hujan (n)	hari	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Evaporasi Aktual (Ea)</b>														
3	Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bln	116.05	114.73	127.94	125.23	125.82	107.13	124.59	132.34	151.54	163.31	146.64	131.05
4	Exposed Surface (m)	%	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
5	Eto/Ea = m/20 x (18-n)	%	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00
6	Ee = Eto x (m/20) x (18-n)	mm/bln	31.33	30.98	34.54	33.81	33.97	28.92	33.64	35.73	40.92	44.09	39.59	35.38
7	Ea = Eto - Ee	mm/bln	84.72	83.76	93.40	91.42	91.85	78.20	90.95	96.61	110.62	119.22	107.05	95.66
<b>Water Balance</b>														
8	P- Ea	mm/bln	-84.72	-83.76	-93.40	-91.42	-91.85	-78.20	-90.95	-96.61	-110.62	-119.22	-107.05	-95.66
9	Tampungan Tanah (SS)	mm/bln	84.72	83.76	93.40	91.42	91.85	78.20	90.95	96.61	110.62	119.22	107.05	95.66
10	SMC	mm/bln	-356.86	-440.62	-534.01	-625.43	-717.28	-795.49	-886.44	-983.05	-1093.67	-1212.89	-1319.94	-1415.60
11	SMS = ISMS + (P - Ea)		-356.86	-440.62	-534.01	-625.43	-717.28	-795.49	-886.44	-983.05	-1093.67	-1212.89	-1319.94	-1415.60
12	Kelebihan Air (Ws)	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
<b>Total Run Off</b>														
13	Faktor I (if= 0.5)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
14	Faktor k (k = 0.6)		0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
15	Infiltrasi (I)	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
16	G = 0.5 (1+k). I		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	Gsom		100.00	60.00	36.00	21.60	12.96	7.78	4.67	2.80	1.68	1.01	0.60	0.36
18	k x Gsom		60.00	36.00	21.60	12.96	7.78	4.67	2.80	1.68	1.01	0.60	0.36	0.22
19	Groundwater Storage (GS)		60.00	36.00	21.60	12.96	7.78	4.67	2.80	1.68	1.01	0.60	0.36	0.22
20	ΔGs = Gs-Gsom	mm/bln	-40.00	-24.00	-14.40	-8.64	-5.18	-3.11	-1.87	-1.12	-0.67	-0.40	-0.24	-0.15
21	Aliran dasar (Base Flow) (BF)	mm/bln	40.00	24.00	14.40	8.64	5.18	3.11	1.87	1.12	0.67	0.40	0.24	0.15
22	Limpasan Langsung (DRO)	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
23	Percentage Factor (PF)	%	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
24	Storm Run of (SRO)	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
25	Total Limpasan (TRO)	mm/bln	40.00	24.00	14.40	8.64	5.18	3.11	1.87	1.12	0.67	0.40	0.24	0.15
26	Luas Daerah Tangkapan (A)	km <sup>2</sup>	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36
27	Jumlah hari dalam satu bulan		31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
28	Debit Bulanan	m <sup>3</sup> /dtk	2.81	1.87	1.01	0.63	0.36	0.23	0.13	0.08	0.05	0.03	0.02	0.01



Tabel 4.10 Debit Andalan dengan Metode F.J.Mock Sungai Maiting Tahun 2010

No	Uraian	Satuan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
<b>Data Meteorologi</b>														
1	Curah Hujan Bulanan (P)	mm/bln	186.00	324.00	887.00	637.00	519.00	220.00	242.00	362.00	308.00	612.00	367.00	192.00
2	Hari Hujan (n)	hari	15.00	16.00	27.00	27.00	28.00	23.00	25.00	22.00	24.00	27.00	18.00	11.00
<b>Evaporasi Aktual (Ea)</b>														
3	Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bln	116.05	114.73	127.94	125.23	125.82	107.13	124.59	132.34	151.54	163.31	146.64	131.05
4	Exposed Surface (m)	%	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
5	$Eto/Ea = m/20 \times (18-n)$	%	4.50	3.00	-13.50	-13.50	-15.00	-7.50	-10.50	-6.00	-9.00	-13.50	0.00	10.50
6	$Ee = Eto \times (m/20) \times (18-n)$	mm/bln	5.22	3.44	-17.27	-16.91	-18.87	-8.03	-13.08	-7.94	-13.64	-22.05	0.00	13.76
7	$Ea = Eto - Ee$	mm/bln	110.83	111.29	145.21	142.14	144.69	115.16	137.68	140.28	165.18	185.36	146.64	117.29
<b>Water Balance</b>														
8	$P - Ea$	mm/bln	75.17	212.71	741.79	494.86	374.31	104.84	104.32	221.72	142.82	426.64	220.36	74.71
9	Tampungan Tanah (SS)	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
10	SMC	mm/bln	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
11	$SMS = ISMS + (P - Ea)$		-1340.43	412.71	941.79	694.86	574.31	304.84	304.32	421.72	342.82	626.64	420.36	274.71
12	Kelebihan Air (Ws)	mm/bln	75.17	212.71	741.79	494.86	374.31	104.84	104.32	221.72	142.82	426.64	220.36	74.71
<b>Total Run Off</b>														
13	Faktor I (if= 0.5)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
14	Faktor k (k= 0.6)		0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
15	Infiltrasi (I)	mm/bln	37.58	106.35	370.89	247.43	187.15	52.42	52.16	110.86	71.41	213.32	110.18	37.36
16	$G = 0.5 (1+k). I$		30.07	85.08	296.71	197.94	149.72	41.94	41.73	88.69	57.13	170.66	88.14	29.89
17	Gsom		100.00	90.07	139.12	380.19	426.06	405.36	285.15	212.82	216.38	186.96	282.83	257.84
18	$k \times Gsom$		60.00	54.04	83.47	228.11	255.63	243.21	171.09	127.69	129.83	112.17	169.70	154.71
19	Groundwater Storage (GS)		90.07	139.12	380.19	426.06	405.36	285.15	212.82	216.38	186.96	282.83	257.84	184.59
20	$\Delta Gs = Gs - Gsom$	mm/bln	-9.93	49.06	241.07	45.87	-20.70	-120.21	-72.33	3.56	-29.42	95.87	-24.99	-73.25
21	Aliran dasar (Base Flow) (BF)	mm/bln	47.52	57.30	129.83	201.56	207.85	172.63	124.49	107.30	100.83	117.45	135.17	110.61
22	Limpasan Langsung (DRO)	mm/bln	37.58	106.35	370.89	247.43	187.15	52.42	52.16	110.86	71.41	213.32	110.18	37.36
23	Percentage Factor (PF)	%	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
24	Storm Run of (SRO)	mm/bln	148.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	153.60
25	Total Limpasan (TRO)	mm/bln	233.90	163.65	500.72	448.99	395.01	225.05	176.65	218.16	172.25	330.77	245.35	301.57
26	Luas Daerah Tangkapan (A)	km <sup>2</sup>	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36
27	Jumlah hari dalam satu bulan		31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
28	Debit Bulanan	m <sup>3</sup> /dtk	16.45	12.74	35.21	32.63	27.78	16.35	12.42	15.34	12.52	23.26	17.83	21.21

Tabel 4.11 Debit Andalan dengan Metode F.J.Mock Sungai Maiting Tahun 2011

No	Uraian	Satuan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
	<b>Data Meteorologi</b>													
1	Curah Hujan Bulanan (P)	mm/bln	222.00	224.00	505.00	637.00	217.00	84.00	92.00	40.00	150.00	187.00	264.00	384.00
2	Hari Hujan (n)	hari	14.00	11.00	18.00	22.00	20.00	7.00	11.00	8.00	11.00	17.00	20.00	24.00
	<b>Evaporasi Aktual (Ea)</b>													
3	Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bln	116.05	114.73	127.94	125.23	125.82	107.13	124.59	132.34	151.54	163.31	146.64	131.05
4	Exposed Surface (m)	%	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
5	Eto/Ea = m/20 x (18-n)	%	6.00	10.50	0.00	-6.00	-3.00	16.50	10.50	15.00	10.50	1.50	-3.00	-9.00
6	Ee = Eto x (m/20) x (18-n)	mm/bln	6.96	12.05	0.00	-7.51	-3.77	17.68	13.08	19.85	15.91	2.45	-4.40	-11.79
7	Ea = Eto - Ee	mm/bln	109.09	102.69	127.94	132.75	129.59	89.45	111.51	112.49	135.63	160.86	151.04	142.84
	<b>Water Balance</b>													
8	P- Ea	mm/bln	112.91	121.31	377.06	504.25	87.41	-5.45	-19.51	-72.49	14.37	26.14	112.96	241.16
9	Tampungan Tanah (SS)	mm/bln	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.45	19.51	72.49	0.00	0.00	0.00	0.00
10	SMC	mm/bln	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	194.55	175.04	102.55	200.00	200.00	200.00	200.00
11	SMS = ISMS + (P - Ea)		312.91	321.31	577.06	704.25	287.41	194.55	175.04	102.55	116.92	226.14	312.96	441.16
12	Kelebihan Air (Ws)	mm/bln	112.91	121.31	377.06	504.25	87.41	0.00	0.00	0.00	14.37	26.14	112.96	241.16
	<b>Total Run Off</b>													
13	Faktor I (if= 0.5)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
14	Faktor k (k = 0.6)		0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
15	Infiltrasi (I)	mm/bln	56.45	60.66	188.53	252.13	43.70	0.00	0.00	0.00	7.19	13.07	56.48	120.58
16	G = 0.5 (1+k). I		45.16	48.53	150.82	201.70	34.96	0.00	0.00	0.00	5.75	10.45	45.19	96.46
17	Gsom		100.00	105.16	111.62	217.80	332.38	234.39	140.63	84.38	50.63	36.13	32.13	64.46
18	k x Gsom		60.00	63.10	66.97	130.68	199.43	140.63	84.38	50.63	30.38	21.68	19.28	38.68
19	Groundwater Storage (GS)		105.16	111.62	217.80	332.38	234.39	140.63	84.38	50.63	36.13	32.13	64.46	135.14
20	$\Delta G_s = G_s - G_{som}$	mm/bln	5.16	6.46	106.17	114.58	-97.99	-93.76	-56.25	-33.75	-14.50	-4.00	32.33	70.68
21	Aliran dasar (Base Flow) (BF)	mm/bln	51.29	54.20	82.36	137.54	141.69	93.76	56.25	33.75	21.69	17.06	24.15	49.90
22	Limpasan Langsung (DRO)	mm/bln	56.45	60.66	188.53	252.13	43.70	0.00	0.00	0.00	7.19	13.07	56.48	120.58
23	Percentage Factor (PF)	%	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
24	Storm Run of (SRO)	mm/bln	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	67.20	73.60	32.00	120.00	149.60	0.00	0.00
25	Total Limpasan (TRO)	mm/bln	107.75	114.85	270.89	389.67	185.40	160.96	129.85	65.75	148.88	179.73	80.63	170.48
26	Luas Daerah Tangkapan (A)	km <sup>2</sup>	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36
27	Jumlah hari dalam satu bulan		31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
28	Debit Bulanan	m <sup>3</sup> /dtk	7.58	8.94	19.05	28.32	13.04	11.70	9.13	4.62	10.82	12.64	5.86	11.99

Tabel 4.12 Debit Andalan dengan Metode F.J.Mock Sungai Maiting Tahun 2012

No	Uraian	Satuan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
	<b>Data Meteorologi</b>													
1	Curah Hujan Bulanan (P)	mm/bln	188.00	462.00	453.00	378.00	234.00	167.00	87.00	71.00	73.00	148.00	185.00	0.00
2	Hari Hujan (n)	hari	12.00	24.00	17.00	0.00	15.00	15.00	0.00	10.00	8.00	14.00	16.00	0.00
	<b>Evaporasi Aktual (Ea)</b>													
3	Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bln	116.05	114.73	127.94	125.23	125.82	107.13	124.59	132.34	151.54	163.31	146.64	131.05
4	Exposed Surface (m)	%	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
5	Eto/Ea = m/20 x (18-n)	%	9.00	-9.00	1.50	27.00	4.50	4.50	27.00	12.00	15.00	6.00	3.00	27.00
6	Ee = Eto x (m/20) x (18-n)	mm/bln	10.44	-10.33	1.92	33.81	5.66	4.82	33.64	15.88	22.73	9.80	4.40	35.38
7	Ea = Eto - Ee	mm/bln	105.61	125.06	126.02	91.42	120.16	102.31	90.95	116.46	128.81	153.51	142.24	95.66
	<b>Water Balance</b>													
8	P- Ea	mm/bln	82.39	336.94	326.98	286.58	113.84	64.69	-3.95	-45.46	-55.81	-5.51	42.76	-95.66
9	Tampungan Tanah (SS)	mm/bln	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.95	45.46	55.81	5.51	0.00	95.66
10	SMC	mm/bln	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	196.05	150.58	94.78	89.26	200.00	104.34
11	SMS = ISMS + (P - Ea)		282.39	536.94	526.98	486.58	313.84	264.69	196.05	150.58	94.78	89.26	132.02	104.34
12	Kelebihan Air (Ws)	mm/bln	82.39	336.94	326.98	286.58	113.84	64.69	0.00	0.00	0.00	0.00	42.76	0.00
	<b>Total Run Off</b>													
13	Faktor I (if= 0.5)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
14	Faktor k (k = 0.6)		0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
15	Infiltrasi (I)	mm/bln	41.20	168.47	163.49	143.29	56.92	32.35	0.00	0.00	0.00	0.00	21.38	0.00
16	G = 0.5 (1+k). I		32.96	134.78	130.79	114.63	45.54	25.88	0.00	0.00	0.00	0.00	17.10	0.00
17	Gsom		100.00	92.96	190.55	245.12	261.70	202.56	147.41	88.45	53.07	31.84	19.10	28.57
18	k x Gsom		60.00	55.77	114.33	147.07	157.02	121.54	88.45	53.07	31.84	19.10	11.46	17.14
19	Groundwater Storage (GS)		92.96	190.55	245.12	261.70	202.56	147.41	88.45	53.07	31.84	19.10	28.57	17.14
20	$\Delta G_s = G_s - G_{som}$	mm/bln	-7.04	97.59	54.57	16.58	-59.14	-55.15	-58.97	-35.38	-21.23	-12.74	9.46	-11.43
21	Aliran dasar (Base Flow) (BF)	mm/bln	48.24	70.88	108.92	126.71	116.07	87.49	58.97	35.38	21.23	12.74	11.92	11.43
22	Limpasan Langsung (DRO)	mm/bln	41.20	168.47	163.49	143.29	56.92	32.35	0.00	0.00	0.00	0.00	21.38	0.00
23	Percentage Factor (PF)	%	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
24	Storm Run of (SRO)	mm/bln	150.40	0.00	0.00	0.00	0.00	133.60	69.60	56.80	58.40	118.40	148.00	0.00
25	Total Limpasan (TRO)	mm/bln	239.83	239.35	272.41	270.00	172.99	253.44	128.57	92.18	79.63	131.14	181.30	11.43
26	Luas Daerah Tangkapan (A)	km <sup>2</sup>	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36
27	Jumlah hari dalam satu bulan		31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
28	Debit Bulanan	m <sup>3</sup> /dtk	16.87	18.64	19.16	19.62	12.17	18.42	9.04	6.48	5.79	9.22	13.17	0.80

Tabel 4.13 Debit Andalan dengan Metode F.J.Mock Sungai Maiting Tahun 2013

No	Uraian	Satuan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
<b>Data Meteorologi</b>														
1	Curah Hujan Bulanan (P)	mm/bln	159.00	320.00	471.00	570.00	421.00	383.00	339.00	84.00	79.00	126.00	400.00	313.00
2	Hari Hujan (n)	hari	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	0.00	30.00	31.00	30.00	31.00
<b>Evaporasi Aktual (Ea)</b>														
3	Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bln	116.05	114.73	127.94	125.23	125.82	107.13	124.59	132.34	151.54	163.31	146.64	131.05
4	Exposed Surface (m)	%	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
5	Eto/Ea = m/20 x (18-n)	%	-19.50	-15.00	-19.50	-18.00	-19.50	-18.00	-19.50	27.00	-18.00	-19.50	-18.00	-19.50
6	Ee = Eto x (m/20) x (18-n)	mm/bln	-22.63	-17.21	-24.95	-22.54	-24.53	-19.28	-24.30	35.73	-27.28	-31.85	-26.39	-25.55
7	Ea = Eto - Ee	mm/bln	138.68	131.94	152.89	147.78	150.35	126.41	148.89	96.61	178.82	195.16	173.03	156.60
<b>Water Balance</b>														
8	P - Ea	mm/bln	20.32	188.06	318.11	422.22	270.65	256.59	190.11	-12.61	-99.82	-69.16	226.97	156.40
9	Tampungan Tanah (SS)	mm/bln	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.61	99.82	69.16	0.00	0.00
10	SMC	mm/bln	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	187.39	87.57	18.42	200.00	200.00
11	SMS = ISMS + (P - Ea)		124.65	388.06	518.11	622.22	470.65	456.59	390.11	187.39	87.57	18.42	245.38	356.40
12	Kelebihan Air (Ws)	mm/bln	20.32	188.06	318.11	422.22	270.65	256.59	190.11	0.00	0.00	0.00	226.97	156.40
<b>Total Run Off</b>														
13	Faktor I (if= 0.5)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
14	Faktor k (k = 0.6)		0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
15	Infiltrasi (I)	mm/bln	10.16	94.03	159.06	211.11	135.32	128.30	95.06	0.00	0.00	0.00	113.48	78.20
16	G = 0.5 (1+k). I		8.13	75.22	127.24	168.89	108.26	102.64	76.04	0.00	0.00	0.00	90.79	62.56
17	Gsom		100.00	68.13	116.10	196.90	287.03	280.48	270.92	238.60	143.16	85.90	51.54	121.71
18	k x Gsom		60.00	40.88	69.66	118.14	172.22	168.29	162.55	143.16	85.90	51.54	30.92	73.03
19	Groundwater Storage (GS)		68.13	116.10	196.90	287.03	280.48	270.92	238.60	143.16	85.90	51.54	121.71	135.59
20	ΔGs = Gs-Gsom	mm/bln	-31.87	47.97	80.80	90.13	-6.55	-9.55	-32.32	-95.44	-57.26	-34.36	70.17	13.88
21	Aliran dasar (Base Flow) (BF)	mm/bln	42.03	46.06	78.25	120.98	141.88	137.85	127.38	95.44	57.26	34.36	43.31	64.32
22	Limpasan Langsung (DRO)	mm/bln	10.16	94.03	159.06	211.11	135.32	128.30	95.06	0.00	0.00	0.00	113.48	78.20
23	Percentage Factor (PF)	%	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
24	Storm Run of (SRO)	mm/bln	127.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	67.20	63.20	100.80	0.00	0.00
25	Total Limpasan (TRO)	mm/bln	179.39	140.08	237.31	332.10	277.20	266.15	222.44	162.64	120.46	135.16	156.80	142.52
26	Luas Daerah Tangkapan (A)	km <sup>2</sup>	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36
27	Jumlah hari dalam satu bulan		31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
28	Debit Bulanan	m <sup>3</sup> /dtk	12.62	10.91	16.69	24.13	19.49	19.34	15.64	11.44	8.75	9.51	11.39	10.02

Tabel 4,14 Debit Andalan dengan Metode F.J.Mock Sungai Maiting Tahun 2014

No	Uraian	Satuan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
<b>Data Meteorologi</b>														
1	Curah Hujan Bulanan (P)	mm/bln	93.00	266.00	354.00	552.00	166.00	253.00	178.00	136.00	0.00	0.00	135.00	317.00
2	Hari Hujan (n)	hari	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
<b>Evaporasi Aktual (Ea)</b>														
3	Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bln	116.05	114.73	127.94	125.23	125.82	107.13	124.59	132.34	151.54	163.31	146.64	131.05
4	Exposed Surface (m)	%	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
5	Eto/Ea = m/20 x (18-n)	%	-19.50	-15.00	-19.50	-18.00	-19.50	-18.00	-19.50	-19.50	-18.00	-19.50	-18.00	-19.50
6	Ee = Eto x (m/20) x (18-n)	mm/bln	-22.63	-17.21	-24.95	-22.54	-24.53	-19.28	-24.30	-25.81	-27.28	-31.85	-26.39	-25.55
7	Ea = Eto – Ee	mm/bln	138.68	131.94	152.89	147.78	150.35	126.41	148.89	158.15	178.82	195.16	173.03	156.60
<b>Water Balance</b>														
8	P- Ea	mm/bln	-45.68	134.06	201.11	404.22	15.65	126.59	29.11	-22.15	-178.82	-195.16	-38.03	160.40
9	Tampungan Tanah (SS)	mm/bln	45.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.15	178.82	195.16	38.03	0.00
10	SMC	mm/bln	154.32	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	177.85	-0.97	-196.12	-234.16	200.00
11	SMS = ISMS + (P - Ea)		154.32	288.37	401.11	604.22	215.65	326.59	229.11	177.85	-0.97	-196.12	-234.16	-73.76
12	Kelebihan Air (Ws)	mm/bln	-91.37	134.06	201.11	404.22	15.65	126.59	29.11	0.00	0.00	0.00	0.00	160.40
<b>Total Run Off</b>														
13	Faktor I (if= 0.5)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
14	Faktor k (k = 0.6)		0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
15	Infiltrasi (I)	mm/bln	-45.68	67.03	100.56	202.11	7.82	63.30	14.56	0.00	0.00	0.00	0.00	80.20
16	G = 0.5 (1+k). I		-36.55	53.62	80.44	161.69	6.26	50.64	11.64	0.00	0.00	0.00	0.00	64.16
17	Gsom		100.00	23.45	67.69	121.06	234.33	146.85	138.75	94.89	56.94	34.16	20.50	12.30
18	k x Gsom		60.00	14.07	40.62	72.64	140.60	88.11	83.25	56.94	34.16	20.50	12.30	7.38
19	Groundwater Storage (GS)		23.45	67.69	121.06	234.33	146.85	138.75	94.89	56.94	34.16	20.50	12.30	71.54
20	ΔGs = Gs-Gsom	mm/bln	-76.55	44.24	53.37	113.27	-87.47	-8.11	-43.86	-37.96	-22.77	-13.66	-8.20	59.24
21	Aliran dasar (Base Flow) (BF)	mm/bln	30.86	22.79	47.19	88.85	95.30	71.40	58.41	37.96	22.77	13.66	8.20	20.96
22	Limpasan Langsung (DRO)	mm/bln	-45.68	67.03	100.56	202.11	7.82	63.30	14.56	0.00	0.00	0.00	0.00	80.20
23	Percentage Factor (PF)	%	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
24	Storm Run of (SRO)	mm/bln	93.80	0.00	0.00	0.00	166.80	0.00	178.80	136.80	0.00	0.00	135.80	0.00
25	Total Limpasan (TRO)	mm/bln	78.98	89.82	147.74	290.96	269.92	134.70	251.77	174.76	22.77	13.66	144.00	101.16
26	Luas Daerah Tangkapan (A)	km <sup>2</sup>	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36
27	Jumlah hari dalam satu bulan		31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
28	Debit Bulanan	m <sup>3</sup> /dtk	5.55	6.99	10.39	21.14	18.98	9.79	17.71	12.29	1.66	0.96	10.46	7.11

Tabel 4.15 Debit Andalan dengan Metode F.J.Mock Sungai Maiting Tahun 2015

No	Uraian	Satuan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
	<b>Data Meteorologi</b>													
1	Curah Hujan Bulanan (P)	mm/bln	0.00	0.00	289.00	539.00	179.00	189.00	69.00	17.00	0.00	18.00	67.00	460.00
2	Hari Hujan (n)	hari	0.00	0.00	14.00	22.00	15.00	17.00	9.00	2.00	0.00	5.00	6.00	16.00
	<b>Evaporasi Aktual (Ea)</b>													
3	Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bln	116.05	114.73	127.94	125.23	125.82	107.13	124.59	132.34	151.54	163.31	146.64	131.05
4	Exposed Surface (m)	%	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
5	$Eto/Ea = m/20 \times (18-n)$	%	27.00	27.00	6.00	-6.00	4.50	1.50	13.50	24.00	27.00	19.50	18.00	3.00
6	$Ee = Eto \times (m/20) \times (18-n)$	mm/bln	31.33	30.98	7.68	-7.51	5.66	1.61	16.82	31.76	40.92	31.85	26.39	3.93
7	$Ea = Eto - Ee$	mm/bln	84.72	83.76	120.26	132.75	120.16	105.52	107.77	100.58	110.62	131.47	120.24	127.11
	<b>Water Balance</b>													
8	$P - Ea$	mm/bln	-84.72	-83.76	168.74	406.25	58.84	83.48	-38.77	-83.58	-110.62	-113.47	-53.24	332.89
9	Tampungan Tanah (SS)	mm/bln	84.72	83.76	0.00	0.00	0.00	0.00	38.77	83.58	110.62	113.47	53.24	0.00
10	SMC	mm/bln	115.28	31.53	200.00	200.00	200.00	200.00	161.23	77.65	-32.98	-146.44	-199.69	200.00
11	$SMS = ISMS + (P - Ea)$		115.28	31.53	200.26	606.25	258.84	283.48	161.23	77.65	-32.98	-146.44	-199.69	133.20
12	Kelebihan Air (Ws)	mm/bln	0.00	0.00	168.74	406.25	58.84	83.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	332.89
	<b>Total Run Off</b>													
13	Faktor I (if= 0.5)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
14	Faktor k (k = 0.6)		0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
15	Infiltrasi (I)	mm/bln	0.00	0.00	84.37	203.13	29.42	41.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	166.44
16	$G = 0.5 (1+k) \cdot I$		0.00	0.00	67.49	162.50	23.54	33.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	133.15
17	Gsom		100.00	60.00	36.00	89.09	215.96	153.11	125.26	75.16	45.09	27.06	16.23	9.74
18	$k \times Gsom$		60.00	36.00	21.60	53.46	129.57	91.87	75.16	45.09	27.06	16.23	9.74	5.84
19	Groundwater Storage (GS)		60.00	36.00	89.09	215.96	153.11	125.26	75.16	45.09	27.06	16.23	9.74	139.00
20	$\Delta Gs = Gs - Gsom$	mm/bln	-40.00	-24.00	53.09	126.86	-62.85	-27.85	-50.10	-30.06	-18.04	-10.82	-6.49	129.26
21	Aliran dasar (Base Flow) (BF)	mm/bln	40.00	24.00	31.27	76.26	92.27	69.59	50.10	30.06	18.04	10.82	6.49	37.18
22	Limpasan Langsung (DRO)	mm/bln	0.00	0.00	84.37	203.13	29.42	41.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	166.44
23	Percentage Factor (PF)	%	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
24	Storm Run of (SRO)	mm/bln	0.00	0.00	0.00	0.00	179.80	189.80	69.80	17.80	0.00	18.80	67.80	0.00
25	Total Limpasan (TRO)	mm/bln	40.00	24.00	115.64	279.39	301.49	301.13	119.90	47.86	18.04	29.62	74.29	203.63
26	Luas Daerah Tangkapan (A)	km <sup>2</sup>	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36
27	Jumlah hari dalam satu bulan		31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
28	Debit Bulanan	m <sup>3</sup> /dtk	2.81	1.87	8.13	20.30	21.20	21.88	8.43	3.37	1.31	2.08	5.40	14.32



Tabel 4.16 Debit Andalan dengan Metode F.J.Mock Sungai Maiting Tahun 2016

No	Uraian	Satuan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
	<b>Data Meteorologi</b>													
1	Curah Hujan Bulanan (P)	mm/bln	187.00	674.00	533.00	508.00	171.00	255.00	69.00	180.00	155.00	418.00	448.00	315.00
2	Hari Hujan (n)	hari	12.00	25.00	26.00	20.00	10.00	11.00	7.00	11.00	11.00	20.00	20.00	14.00
	<b>Evaporasi Aktual (Ea)</b>													
3	Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bln	116.05	114.73	127.94	125.23	125.82	107.13	124.59	132.34	151.54	163.31	146.64	131.05
4	Exposed Surface (m)	%	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
5	Eto/Ea = m/20 x (18-n)	%	9.00	-10.50	-12.00	-3.00	12.00	10.50	16.50	10.50	10.50	-3.00	-3.00	6.00
6	Ee = Eto x (m/20) x (18-n)	mm/bln	10.44	-12.05	-15.35	-3.76	15.10	11.25	20.56	13.90	15.91	-4.90	-4.40	7.86
7	Ea = Eto - Ee	mm/bln	105.61	126.78	143.29	128.99	110.72	95.88	104.04	118.45	135.63	168.21	151.04	123.18
	<b>Water Balance</b>													
8	P- Ea	mm/bln	81.39	547.22	389.71	379.01	60.28	159.12	-35.04	61.55	19.37	249.79	296.96	191.82
9	Tampungan Tanah (SS)	mm/bln	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	SMC	mm/bln	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	164.96	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
11	SMS = ISMS + (P - Ea)		281.39	747.22	589.71	579.01	260.28	359.12	164.96	226.52	219.37	449.79	496.96	391.82
12	Kelebihan Air (Ws)	mm/bln	81.39	547.22	389.71	379.01	60.28	159.12	0.00	61.55	19.37	249.79	296.96	191.82
	<b>Total Run Off</b>													
13	Faktor I (if= 0.5)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
14	Faktor k (k= 0.6)		0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
15	Infiltrasi (I)	mm/bln	40.70	273.61	194.85	189.50	30.14	79.56	0.00	30.78	9.69	124.89	148.48	95.91
16	G = 0.5 (1+k). I		32.56	218.89	155.88	151.60	24.11	63.65	0.00	24.62	7.75	99.92	118.79	76.73
17	Gsom		100.00	92.56	274.42	320.54	343.93	230.47	201.93	121.16	97.32	66.14	139.60	202.54
18	k x Gsom		60.00	55.53	164.65	192.32	206.36	138.28	121.16	72.69	58.39	39.68	83.76	121.53
19	Groundwater Storage (GS)		92.56	274.42	320.54	343.93	230.47	201.93	121.16	97.32	66.14	139.60	202.54	198.25
20	ΔGs = Gs-Gsom	mm/bln	-7.44	181.87	46.11	23.39	-113.46	-28.54	-80.77	-23.84	-31.18	73.46	62.95	-4.29
21	Aliran dasar (Base Flow) (BF)	mm/bln	48.14	91.74	148.74	166.12	143.60	108.10	80.77	54.62	40.86	51.43	85.54	100.20
22	Limpasan Langsung (DRO)	mm/bln	40.70	273.61	194.85	189.50	30.14	79.56	0.00	30.78	9.69	124.89	148.48	95.91
23	Percentage Factor (PF)	%	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
24	Storm Run of (SRO)	mm/bln	187.80	0.00	0.00	0.00	171.80	0.00	69.80	180.80	155.80	0.00	0.00	0.00
25	Total Limpasan (TRO)	mm/bln	276.63	365.35	343.59	355.62	345.54	187.66	150.57	266.19	206.35	176.33	234.02	196.11
26	Luas Daerah Tangkapan (A)	km <sup>2</sup>	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36
27	Jumlah hari dalam satu bulan		31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
28	Debit Bulanan	m <sup>3</sup> /dtk	19.45	28.45	24.16	25.84	24.30	13.64	10.59	18.72	15.00	12.40	17.01	13.79

Tabel 4.17 Debit Andalan dengan Metode F.J.Mock Sungai Maiting Tahun 2017

No	Uraian	Satuan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
	<b>Data Meteorologi</b>													
1	Curah Hujan Bulanan (P)	mm/bln	310.00	234.00	540.00	379.00	307.00	315.00	141.00	174.00	158.00	234.00	364.00	513.00
2	Hari Hujan (n)	hari	15.00	0.00	23.00	22.00	21.00	25.00	14.00	9.00	14.00	15.00	24.00	13.00
	<b>Evaporasi Aktual (Ea)</b>													
3	Evapotranspirasi Potensial (Eto)	mm/bln	116.05	114.73	127.94	125.23	125.82	107.13	124.59	132.34	151.54	163.31	146.64	131.05
4	Exposed Surface (m)	%	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
5	Eto/Ea = m/20 x (18-n)	%	4.50	27.00	-7.50	-6.00	-4.50	-10.50	6.00	13.50	6.00	4.50	-9.00	7.50
6	Ee = Eto x (m/20) x (18-n)	mm/bln	5.22	30.98	-9.60	-7.51	-5.66	-11.25	7.48	17.87	9.09	7.35	-13.20	9.83
7	Ea = Eto - Ee	mm/bln	110.83	83.76	137.54	132.75	131.48	118.38	117.12	114.48	142.45	155.96	159.84	121.22
	<b>Water Balance</b>													
8	P- Ea	mm/bln	199.17	150.24	402.46	246.25	175.52	196.62	23.88	59.52	15.55	78.04	204.16	391.78
9	Tampungan Tanah (SS)	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
10	SMC	mm/bln	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
11	SMS = ISMS + (P - Ea)		399.17	350.24	602.46	446.25	375.52	396.62	223.88	259.52	215.55	278.04	404.16	591.78
12	Kelebihan Air (Ws)	mm/bln	199.17	150.24	402.46	246.25	175.52	196.62	23.88	59.52	15.55	78.04	204.16	391.78
	<b>Total Run Off</b>													
13	Faktor I (if= 0.5)		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
14	Faktor k (k = 0.6)		0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
15	Infiltrasi (I)	mm/bln	99.58	75.12	201.23	123.13	87.76	98.31	11.94	29.76	7.78	39.02	102.08	195.89
16	G = 0.5 (1+k). I		79.67	60.10	160.99	98.50	70.21	78.65	9.55	23.81	6.22	31.21	81.67	156.71
17	Gsom		100.00	139.67	143.90	247.32	246.90	218.34	209.66	135.35	105.02	69.23	72.75	125.32
18	k x Gsom		60.00	83.80	86.34	148.39	148.14	131.01	125.79	81.21	63.01	41.54	43.65	75.19
19	Groundwater Storage (GS)		139.67	143.90	247.32	246.90	218.34	209.66	135.35	105.02	69.23	72.75	125.32	231.90
20	ΔGs = Gs-Gsom	mm/bln	39.67	4.23	103.43	-0.43	-28.55	-8.69	-74.31	-30.33	-35.79	3.52	52.56	106.59
21	Aliran dasar (Base Flow) (BF)	mm/bln	59.92	70.89	97.81	123.56	116.31	107.00	86.25	60.09	43.56	35.50	49.52	89.31
22	Limpasan Langsung (DRO)	mm/bln	99.58	75.12	201.23	123.13	87.76	98.31	11.94	29.76	7.78	39.02	102.08	195.89
23	Percentage Factor (PF)	%	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
24	Storm Run of (SRO)	mm/bln	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	141.80	174.80	0.00	0.00	0.00	0.00
25	Total Limpasan (TRO)	mm/bln	159.50	146.01	299.04	246.68	204.07	205.31	239.99	264.65	51.34	74.51	151.60	285.20
26	Luas Daerah Tangkapan (A)	km <sup>2</sup>	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36	188.36
27	Jumlah hari dalam satu bulan		31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
28	Debit Bulanan	m <sup>3</sup> /dtk	11.22	11.37	21.03	17.93	14.35	14.92	16.88	18.61	3.73	5.24	11.02	20.06



Tabel 4.18 Rekapitulasi Debit Andalan Sungai Maiting (m<sup>3</sup>/det)

TAHUN	BULAN											
	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOV	DES
<b>2008</b>	51.54	71.84	153.35	314.81	207.95	139.45	97.72	58.78	32.67	18.97	11.76	6.83
<b>2009</b>	2.81	1.87	1.01	0.63	0.36	0.23	0.13	0.08	0.05	0.03	0.02	0.01
<b>2010</b>	16.45	12.74	35.21	32.63	27.78	16.35	12.42	15.34	12.52	23.26	17.83	21.21
<b>2011</b>	7.58	8.94	19.05	28.32	13.04	11.70	9.13	4.62	10.82	12.64	5.86	11.99
<b>2012</b>	16.87	18.64	19.16	19.62	12.17	18.42	9.04	6.48	5.79	9.22	13.17	0.80
<b>2013</b>	12.62	10.91	16.69	24.13	19.49	19.34	15.64	11.44	8.75	9.51	11.39	10.02
<b>2014</b>	5.55	6.99	10.39	21.14	18.98	9.79	17.71	12.29	1.66	0.96	10.46	7.11
<b>2015</b>	2.81	1.87	8.13	20.30	21.20	21.88	8.43	3.37	1.31	2.08	5.40	14.32
<b>2016</b>	19.45	28.45	24.16	25.84	24.30	13.64	10.59	18.72	15.00	12.40	17.01	13.79
<b>2017</b>	11.22	11.37	21.03	17.93	14.35	14.92	16.88	18.61	3.73	5.24	11.02	20.06
<b>Rata-rata</b>	<b>14.69</b>	<b>17.36</b>	<b>30.82</b>	<b>50.54</b>	<b>35.96</b>	<b>26.57</b>	<b>19.77</b>	<b>14.97</b>	<b>9.23</b>	<b>9.43</b>	<b>10.39</b>	<b>10.61</b>

Sumber : Hasil Perhitungan

5. Setelah nilai debit didapatkan, kemudian direkap semua hasil perhitungan debit dari tahun 2008-2017, seperti pada tabel 4.18. Berdasarkan analisis debit andalan, untuk mendapatkan probabilitas, terlebih dahulu debit diurutkan berdasarkan rangking (m) dari yang terbesar hingga terkecil. Kemudian hitung probabilitasnya dalam persen (%) menggunakan persamaan Weibull (persamaan 2.25). Hasil dari perhitungan probabilitas dapat dilihat pada tabel 4.19.

Tabel 4.19 Debit dan Probabilitas (P)

<b>m</b>	<b>P (%)</b>	<b>Debit</b>	<b>m</b>	<b>P (%)</b>	<b>Debit</b>	<b>m</b>	<b>P (%)</b>	<b>Debit</b>
1	0.83	314.81	41	34.17	17.71	81	67.50	9.51
2	1.67	207.95	42	35.00	17.01	82	68.33	9.22
3	2.50	153.35	43	35.83	16.88	83	69.17	9.13
4	3.33	139.45	44	36.67	16.87	84	70.00	9.04
5	4.17	97.72	45	37.50	16.69	85	70.83	8.94
6	5.00	71.84	46	38.33	16.45	86	71.67	8.75
7	5.83	58.78	47	39.17	16.35	87	72.50	8.43
8	6.67	51.54	48	40.00	15.64	88	73.33	8.13
9	7.50	35.21	49	40.83	15.34	89	74.17	7.58
10	8.33	32.67	50	41.67	15.00	90	75.00	7.11
11	9.17	32.63	51	42.50	14.92	91	75.83	6.99
12	10.00	28.45	52	43.33	14.35	92	76.67	6.83
13	10.83	28.32	53	44.17	14.32	93	77.50	6.48
14	11.67	27.78	54	45.00	13.79	94	78.33	5.86
15	12.50	25.84	55	45.83	13.64	95	79.17	5.79
16	13.33	24.30	56	46.67	13.17	96	80.00	5.55
17	14.17	24.16	57	47.50	13.04	97	80.83	5.40
18	15.00	24.13	58	48.33	12.74	98	81.67	5.24
19	15.83	23.26	59	49.17	12.64	99	82.50	4.62
20	16.67	21.88	60	50.00	12.62	100	83.33	3.73
21	17.50	21.21	61	50.83	12.52	101	84.17	3.37
22	18.33	21.20	62	51.67	12.42	102	85.00	2.81
23	19.17	21.14	63	52.50	12.40	103	85.83	2.81
24	20.00	21.03	64	53.33	12.29	104	86.67	2.08
25	20.83	20.30	65	54.17	12.17	105	87.50	1.87
26	21.67	20.06	66	55.00	11.99	106	88.33	1.87
27	22.50	19.62	67	55.83	11.76	107	89.17	1.66
28	23.33	19.49	68	56.67	11.70	108	90.00	1.31
29	24.17	19.45	69	57.50	11.44	109	90.83	1.01
30	25.00	19.34	70	58.33	11.39	110	91.67	0.96
31	25.83	19.16	71	59.17	11.37	111	92.50	0.80
32	26.67	19.05	72	60.00	11.22	112	93.33	0.63
33	27.50	18.98	73	60.83	11.02	113	94.17	0.36
34	28.33	18.97	74	61.67	10.91	114	95.00	0.23
35	29.17	18.72	75	62.50	10.82	115	95.83	0.13
36	30.00	18.64	76	63.33	10.59	116	96.67	0.08
37	30.83	18.61	77	64.17	10.46	117	97.50	0.05
38	31.67	18.42	78	65.00	10.39	118	98.33	0.03
39	32.50	17.93	79	65.83	10.02	119	99.17	0.02
40	33.33	17.83	80	66.67	9.79	120	100.00	0.01

Sumber : Hasil Perhitungan

6. Dari perhitungan probabilitas yang didapatkan, maka dalam menganalisis debit andalan untuk pembangkit listrik tenaga air digunakan keandalan 80% (tabel 2.9). Keandalan 80% ( $Q_{\text{probabilitas}80\%}$ ) merupakan debit pada probabilitas 80%.

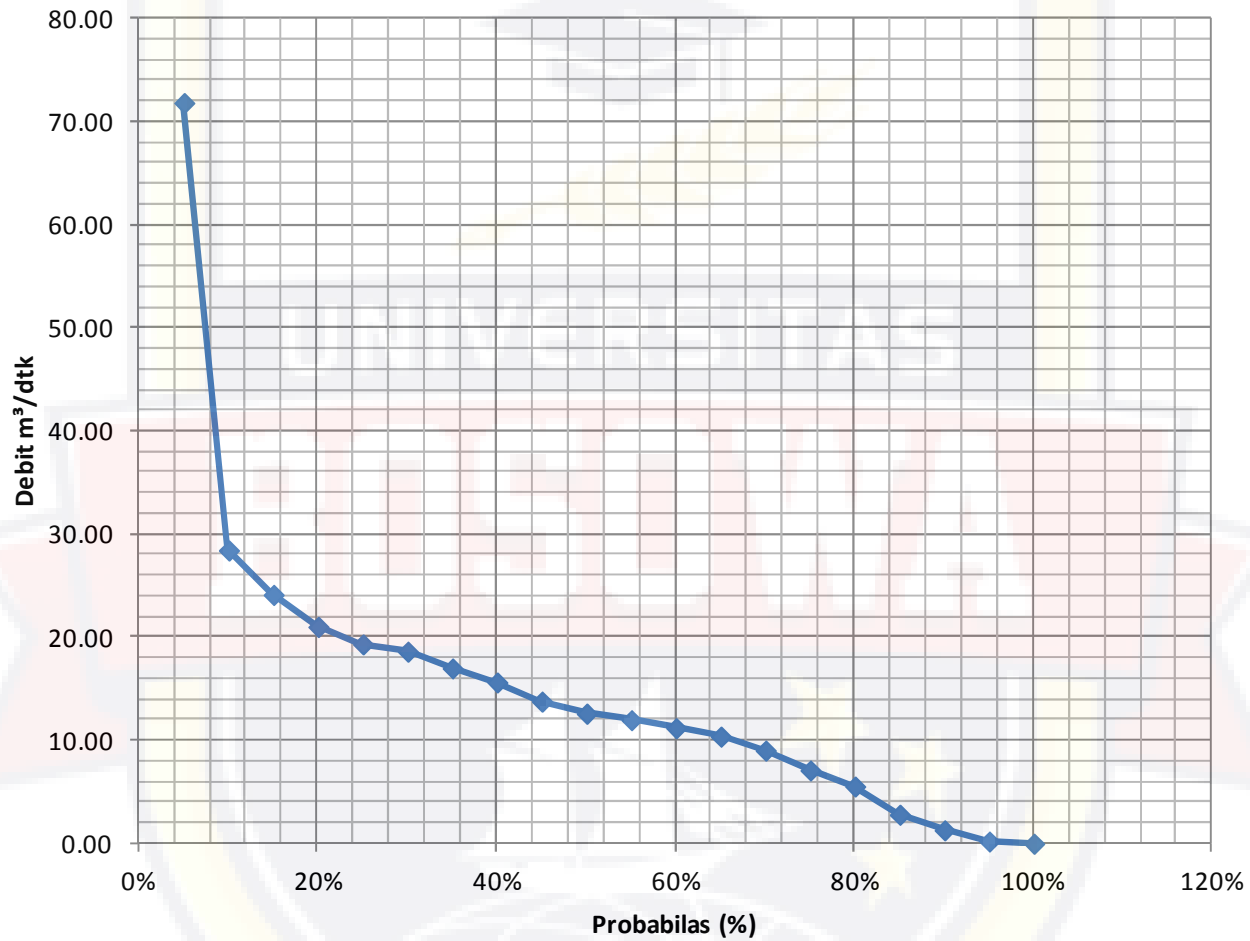
Untuk mendapatkan probabilitas 80% di tabel dilakukan interpolasi

7. Kemudian dibuatkan *flow duration curve (FDC)* yang menggambarkan hubungan antara debit dan probabilitas. Debit andalan di dapatkan dari *flow duration curve* untuk presentase keandalan 80% ( $Q_{80}$ ) yang diperlukan.

8. Dari grafik *flow duration curve (FDC)* pada grafik di dapatkan debit andalan ( $Q_{80}$ ) sebesar  $5.55 \text{ m}^3/\text{dtk}$ .

Grafik 4.1 *Flow Duration Curve (FDC)*

Prob	Debit
5%	71.84
10%	28.45
15%	24.13
20%	21.03
25%	19.34
30%	18.64
35%	17.01
40%	15.64
45%	13.79
50%	12.62
55%	11.99
60%	11.22
65%	10.39
70%	9.04
75%	7.11
80%	5.55
85%	2.81
90%	1.31
95%	0.23
100%	0.01



#### 4.4 Perhitungan Daya

Pada Perencanaan PLTM Ma'dong 2 diketahui debit sungai Maiting sebesar 14,97 m<sup>3</sup>/dtk, debit intake untuk pembangkit PLTM sebesar 12,21 m<sup>3</sup>/dtk, tinggi jatuh efektif (*head efektif*) 103.40 m, dan efisiensi ( $\eta_t$ ) 90%. Dengan diketahui efisiensi dan tinggi jatuh efektif yang diperoleh dengan mengurangi kehilangan tinggi tekan (*head loss*) terhadap tinggi statis (*gross head*) maka daya yang dihasilkan dari Debit Sungai Maiting dapat dihitung sebagai berikut :

$$P = g \times H^{eff} \times Q \times \eta \dots\dots\dots (2.1)$$

$$P = 9,81 \times 103,40 \times 14,97 \times 90 \%$$

$$P = 9,81 \times 103,40 \times 14,97 \times 0,9$$

$$= 136,664 \text{ MW}$$

daya yang dihasilkan dari Debit Intake Sungai Maiting dapat dihitung sebagai berikut :

$$P = g \times H^{eff} \times Q \times \eta \dots\dots\dots (2.1)$$

$$P = 9,81 \times 103,40 \times 12,21 \times 90 \%$$

$$P = 9,81 \times 103,40 \times 12,21 \times 0,9$$

$$= 111,467 \text{ MW}$$

Sedangkan daya yang dihasilkan dari Debit Andalan sebagai berikut

$$P = g \times H^{eff} \times Q \times \eta \dots\dots\dots (2.1)$$

$$P = 9,81 \times 103,40 \times 5,55 \times 90 \%$$

$$P = 9,81 \times 103,40 \times 5,55 \times 0,9$$

$$= 50,66 \text{ MW}$$



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

Dari hasil tinjauan dan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil perhitungan debit andalan didapatkan ( $Q_{\text{probabilitas } 80\%}$ ) sebesar  $5.55 \text{ m}^3/\text{dtk}$ .
2. Pada perencanaan PLTM Ma'dong II diketahui daya yang dapat dihasilkan dari debit sungai Maiting sebesar 136,664 MW, daya yang dihasilkan dari debit intake untuk pembangkit PLTM sebesar 111,467 MW, dan daya sebesar 50,66 MW dari debit andalan yang telah dihitung.

#### 5.2 SARAN

1. Perlunya data curah hujan dan klimatologi yang akurat dan spesifik pada setiap Stasiun di kabupaten Tana Utara..
2. Untuk mendapatkan perhitungan debit andalan yang akurat, sebaiknya mengambil 3 stasiun catchment area untuk data curah hujan.





## DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, Artono, dan Kuwahara Susumu. 1991. Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Direktorat Jendral Listrik Dan Pemanfaatan Energi. 2009. Buku 2A Pedoman Studi Kelayakan Hidrologi. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Indra, Zulfikar. 2012. Analisa Debit Sungai Munte dengan Metode Mock dan Metode NRECA untuk Kebutuhan Pembangkit Listrik Tenaga Air. Tugas Akhir Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Kadir, Ramli. 2010. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Sungai Marimpa Kecamatan Pinembani. Tugas Akhir Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, Palu.
- Indartp. 2012. Hidrologi : Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi. Jakarta : Bumi Aksara
- Triatmodjo, Bambang. 2008. Hidrologi Terapan. Yogyakarta : Bata Offset

**BOSOWA**





**LAMPIRAN 1**

**BOSOWA**



**Tabel 2.7 Daya Terpasang, Produksi dan Distribusi Listrik PT. PLN (Persero) di Kab. Toraja Utara**

Bulan	Daya Terpasang (VA)	Produksi (KWh)	Listrik Terjual (KWh)
Januari	18.010.990,00	1.733.292,00	1.733.292,00
Pebruari	18.021.240,00	1.904.009,00	1.904.009,00
Maret	17.992.190,00	1.819.967,00	1.819.967,00
April	18.022.190,00	2.028.509,00	2.028.509,00
Mei	18.022.590,00	2.028.509,00	2.028.509,00
Juni	18.024.590,00	2.061.234,00	2.061.234,00
Juli	18.070.440,00	2.122.812,00	2.122.812,00
Agustus	18.368.540,00	2.117.613,00	2.117.613,00
September	18.546.190,00	2.100.723,00	2.100.723,00
Oktober	18.682.990,00	2.162.064,00	2.162.064,00

Sumber : Toraja Utara Dalam Angka 2010

Untuk sebaran serta kenaikan pelanggan listrik untuk setiap kecamatan di Kabupaten Toraja Utara disajikan dalam Tabel 2.8.

**Tabel 2.8 Jumlah Pelanggan Listrik Menurut Kecamatan di Kabupaten Toraja Utara**

Kecamatan	2005	2006	2007	2008	2009
Sopai	1.221	1.241	1.321	1.361	1.361
Kesu	1.587	1.607	1.624	1.688	1.688
Sanggalangi	2.077	2.127	2.130	2.137	2.137
Buntao	576	603	613	623	623
Rantebua	540	590	620	640	640
Nanggala	552	579	590	609	609
Tondon	487	490	498	498	498
Tallunglipu	978	1.020	1.031	1.041	1.041
Rantepao	5.487	5.512	5.624	5.679	5.679
Tikala	498	541	620	630	630
Sesean	879	980	1.004	1.004	1.004
Balusu	271	325	340	370	370
Sa'dan	260	340	380	390	390
Bangkele Kila	587	624	642	658	658
Sesean Suloaara	117	120	125	125	125
Kapala Pitu	251	251	251	251	251
Dende Piongan Napo	-	-	-	-	-
Awan Rante Karua	-	-	-	-	-
Rindingallo	879	890	979	979	979
Buntu Pepasan	470	510	547	547	547
Baruppu	-	-	-	-	-

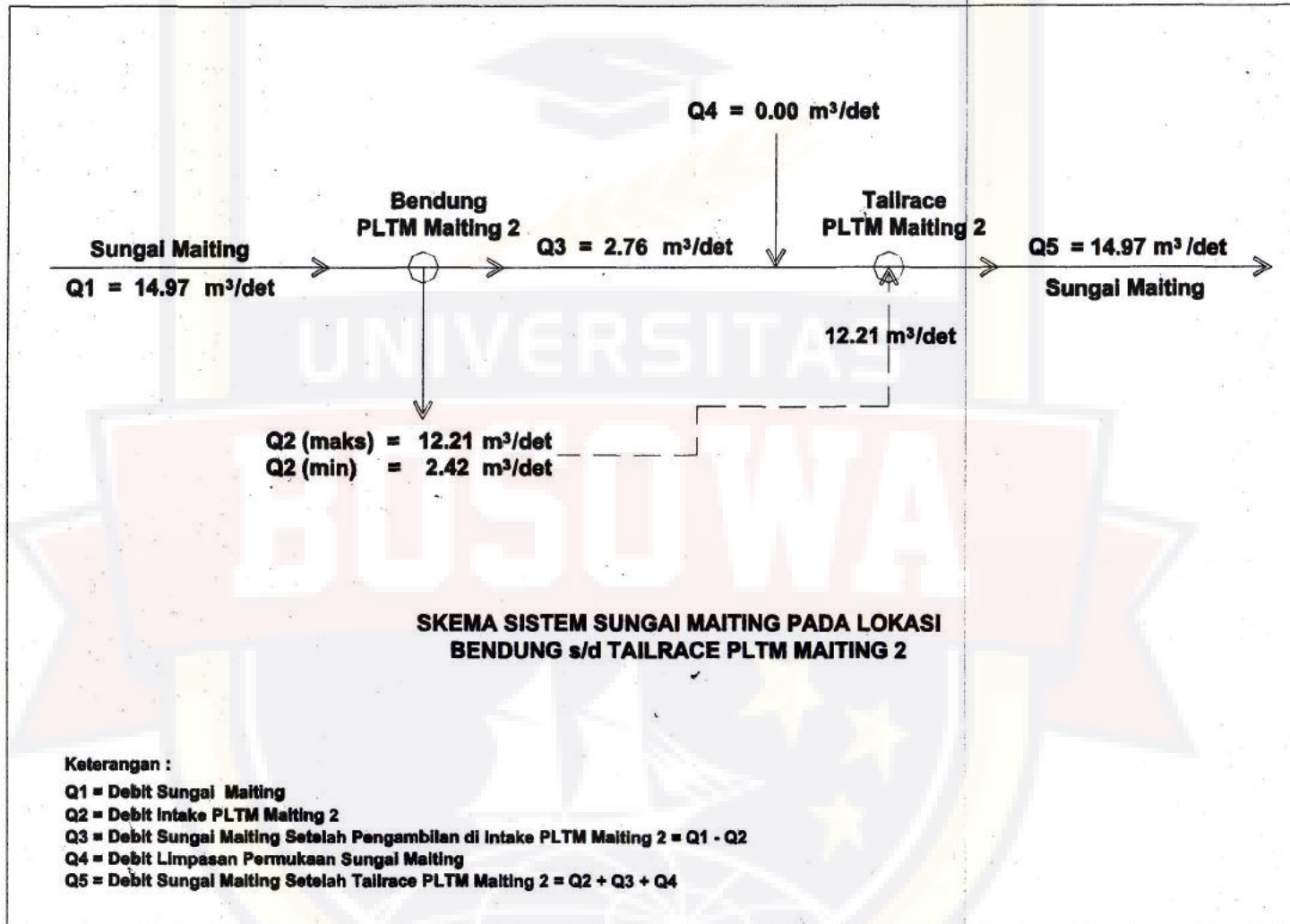
Sumber : Toraja Utara Dalam Angka 2010



**LAMPIRAN 2**

**BOSOWA**



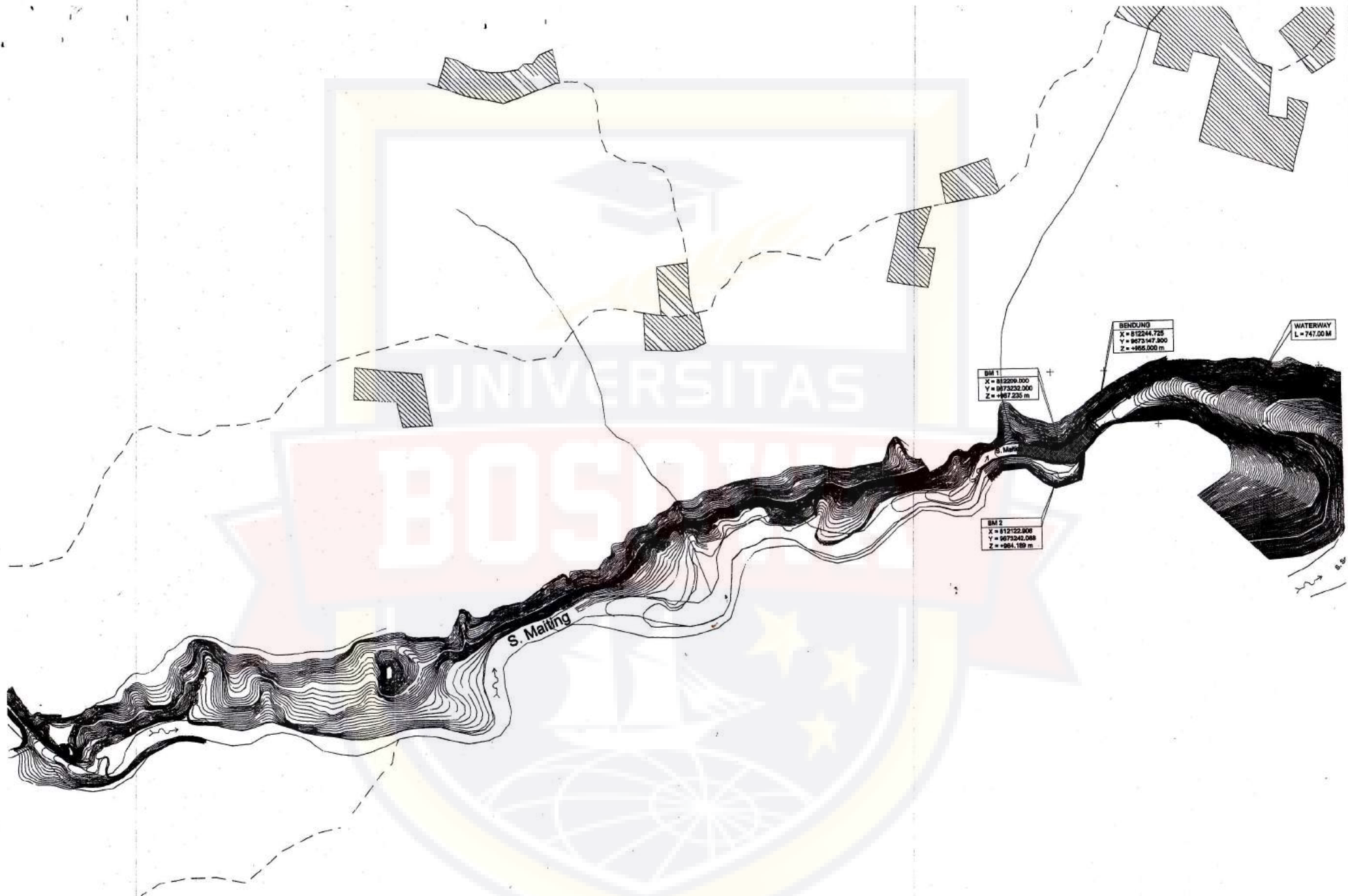


Gambar 3 Skema Sistem Sungai Maiting pada Ruas Bendung s/d Tairace PLTM Maiting 2

A large, faint watermark of a university logo is centered on the page. The logo is shield-shaped with a yellow border. At the top is a graduation cap. Below it is a banner with the text 'UNIVERSITAS'. In the center is a red banner with the text 'BOSOWA'. At the bottom is a globe with a sailboat and three stars.

**LAMPIRAN 3**

**BOSOWA**



S. Maiting

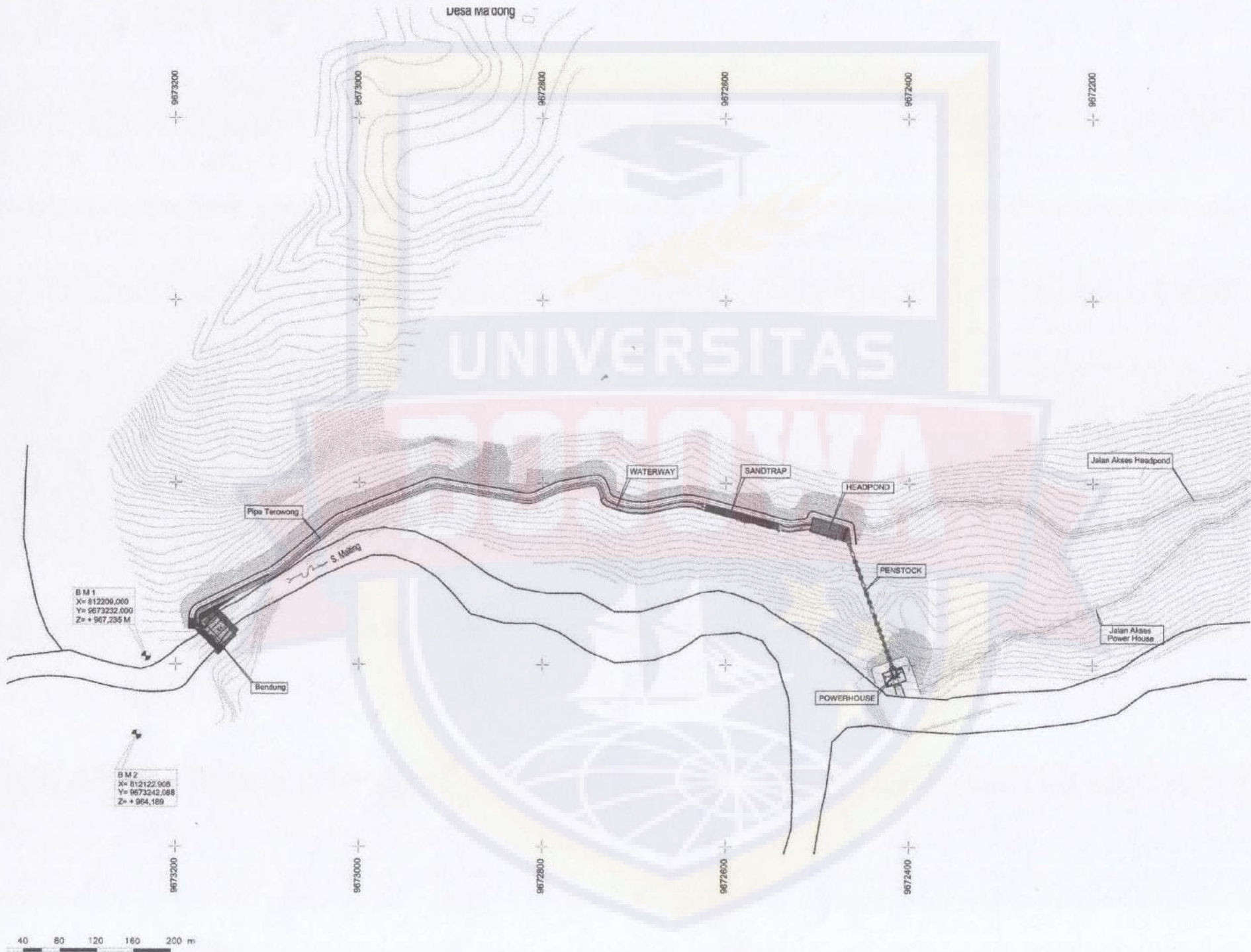
BM 1  
X = 812200.000  
Y = 8673232.000  
Z = +967.235 m

BM 2  
X = 812122.908  
Y = 8673242.088  
Z = +964.189 m

BENDUNG  
X = 812244.725  
Y = 8673147.800  
Z = +965.000 m

WATERWAY  
L = 747.00 M





40 80 120 160 200 m



**LAMPIRAN 4**

**BOSOWA**





BADAN METEOROLOGI, KLIMATOLOGI, DAN GEOFISIKA  
BALAI BESAR METEOROLOGI, KLIMATOLOGI, DAN GEOFISIKA  
WILAYAH IV MAKASSAR

Jln. Prof. DR. Abdurrahman Basalamah No. 4 Makassar 90231, Telp : (0411) 456493, 437331  
Fax : (0411) 455019, 449286, Email : bbmkg4@bmkg.go.id

Nomor : KT.401/050/KBW IV/VIII/2018  
Sifat : Biasa  
Lampiran : 1 (satu) berkas  
Perihal : Permohonan Tarif Rp.0,00  
(Nol Rupiah) untuk Permintaan  
Data Iklim

Makassar, 6 Agustus 2018

Yth. Ketua Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik  
Universitas Bosowa  
di  
Tempat

Berdasarkan surat Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Nomor: 251/JS-FT/UNIBOS/VII/2018 tanggal 31 Juli 2018 perihal sebagaimana tercantum dalam pokok surat, bersama ini kami sampaikan **persetujuan** atas Permohonan Tarif Rp.0,00 (Nol Rupiah) untuk **kegiatan penelitian** dengan Judul **Tinjauan Debit Sungai Maiting Untuk Perencanaan Pembangunan PLTMH Ma'dong II Kabupaten Toraja Utara.**

Alasan **persetujuan** atas permohonan tersebut berdasarkan Peraturan Kepala BMKG Nomor 8 Tahun 2013 Tentang Syarat dan Tata Cara Pengenaan Tarif Rp.0,00 (Nol Rupiah) Atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak Terhadap Kegiatan Tertentu di Lingkungan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.

Demikian kami sampaikan, atas kerjasamanya diucapkan terima kasih.

a.n. Kepala Balai Besar Meteorologi,  
Klimatologi, dan Geofisika  
Wilayah IV Makassar  
u.b.

Kepala Sub Bidang Manajemen Data



Dra. Hj. Sri Murniati  
NIP: 19620201 198203 2 001



Lampiran Surat :  
 Nomor : KT.401/050/KBW IV/VIII/2018  
 Tanggal : 6 Agustus 2018

**DATA CURAH HUJAN BULANAN  
 POS HUJAN BPP. TOKARAU, KEC. SESEAN, TORAJA UTARA**

Lintang : 02o 53' 42.2" LS  
 Bujur : 119o 56' 49.4" BT  
 Tinggi : 796 m

Tahun	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
2008	1257	1289	3238	6216	2734	1219	895	392	X	X	X	X
2009	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2010	186	324	887	637	519	220	242	362	308	612	367	192
2011	222	224	505	637	217	84	92	40	150	187	264	384
2012	188	462	453	378	234	167	87	71	73	148	185	X
2013	159	320	471	570	421	383	339	84	79	126	400	313
2014	93	266	354	552	166	253	178	136	0	0	135	317
2015	X	X	289	539	179	189	69	17	-	18	67	460
2016	187	674	533	508	171	255	69	180	155	418	448	315
2017	310	234	540	379	307	315	141	174	158	234	364	513

*Keterangan:*

*Curah hujan dalam milimeter (mm)*

*"-" : tidak ada hujan*

*"X" : tidak ada data*

*"0" : curah hujan tak terukur*

**DATA HARI HUJAN BULANAN**

Tahun	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
2008	10	9	19	26	11	16	19	18	X	X	X	X
2009	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2010	15	16	27	27	28	23	25	22	24	27	18	11
2011	14	11	18	22	20	7	11	8	11	17	20	24
2012	12	24	17	X	15	15	X	10	8	14	16	X
2013	31	28	31	30	31	30	31	X	30	31	30	31
2014	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2015	X	X	14	22	15	17	9	2	-	5	6	16
2016	12	25	26	20	10	11	7	11	11	20	20	14
2017	15	X	23	22	21	25	14	9	14	15	24	13

*Keterangan:*

*Hari hujan dalam satuan hari*

**DATA LAMANYA PENYINARAN MATAHARI BULANAN  
STASIUN METEOROLOGI PONGTIKU, TANA TORAJA**

Lintang : 03° 02' 40.0" LS

Bujur : 119° 49' 09.0" BT

Tinggi : 821 m

Tahun	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
2008	64	56	69	67	60	57	38	43	68	76	70	53
2009	66	57	66	72	72	55	60	79	89	74	74	63
2010	53	66	61	56	74	59	59	62	74	73	77	65
2011	59	65	62	67	69	64	63	69	64	83	67	52
2012	57	66	64	74	69	57	45	45	75	85	77	68
2013	61	66	64	59	67	69	53	71	66	79	81	60
2014	58	54	66	64	64	53	63	63	85	92	80	59
2015	61	58	64	66	74	56	80	84	92	96	81	60
2016	76	61	61	71	77	63	72	68	69	63	69	63
2017	54	66	64	66	58	42	58	54	64	72	72	62

Keterangan :

Satuan dalam Persen (%)

**DATA KELEMBABAN BULANAN RATA-RATA  
STASIUN METEOROLOGI PONGTIKU, TANA TORAJA**

Tahun	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
2008	86	82	89	90	89	89	91	89	87	87	88	88
2009	86	86	88	89	89	88	86	82	76	76	76	85
2010	84	85	87	87	86	86	87	87	86	87	87	84
2011	86	84	85	85	86	86	85	81	81	78	84	86
2012	80	84	81	85	84	86	84	84	80	81	82	85
2013	76	79	84	87	86	84	87	81	81	77	82	84
2014	80	80	86	83	86	88	86	82	77	71	78	87
2015	80	86	84	87	86	87	79	77	70	67	78	83
2016	84	87	87	86	86	86	84	83	81	85	85	82
2017	83	80	85	85	87	88	86	85	82	83	84	84

Keterangan :

Satuan dalam Persen (%)



**DATA SUHU BULANAN RATA-RATA  
STASIUN METEOROLOGI PONGTIKU, TANA TORAJA**

Tahun	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
2008	22.6	23.1	22.4	22.3	21.9	21.8	20.9	21.2	21.7	23.0	22.8	22.7
2009	22.7	22.5	22.3	23.2	22.7	22.2	21.6	22.1	22.5	22.8	23.3	22.6
2010	22.5	22.9	22.8	23.0	23.7	22.7	22.4	22.2	22.8	22.6	22.4	22.3
2011	22.1	22.1	22.2	22.6	22.7	21.8	21.2	21.7	21.9	22.9	22.8	22.6
2012	22.6	22.1	22.7	22.4	22.3	21.7	21.1	21.1	21.8	22.5	22.9	22.8
2013	23.1	23.2	22.8	22.7	22.7	22.5	21.6	21.5	21.8	22.4	22.6	22.7
2014	22.4	22.4	22.5	22.6	22.9	22.5	21.9	21.3	21.5	22.5	23.3	22.5
2015	22.8	22.1	22.4	22.4	22.4	22.1	21.7	21.6	21.9	23.0	23.6	22.8
2016	23.0	23.0	23.3	23.2	23.4	22.7	22.2	22.2	22.6	22.5	22.8	23.0
2017	22.5	22.8	22.7	22.9	22.8	22.2	22.0	21.7	22.4	22.8	23.0	22.7

Keterangan :

Satuan dalam Derajat Selsius (°C)

**DATA KECEPATAN ANGIN RATA-RATA BULANAN  
STASIUN METEOROLOGI PONGTIKU, TANA TORAJA**

Tahun	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
2008	4	4	3	3	4	4	4	4	5	5	3	3
2009	3	3	3	3	3	3	4	5	5	4	4	3
2010	3	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4
2011	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3
2012	3	2	2	2	2	3	2	2	3	3	3	2
2013	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	2
2014	3	2	2	2	2	2	3	3	3	4	3	2
2015	3	2	3	2	3	3	4	4	5	5	4	2
2016	3	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2
2017	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2

Keterangan :

Satuan dalam Knot

Makassar, 6 Agustus 2018

Kepala Sub Bidang Manajemen Data



Dra. Hj. Sri Murniati

NIP. 19620201 198203 2 001