

ANALISIS NERACA AIR SUNGAI TIRTOMOYO SUB DAS BENGAWAN SOLO HULU 3

TUGAS AKHIR

Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Ahli Madya

Pada Program Studi D-III Teknik Sipil Infrastruktur Perkotaan

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik

Universitas Sebelas Maret

Surakarta



Disusun Oleh:

ALFRIDA IRFANI

NIM : I 8709002

PROGRAM STUDI D-III TEKNIK SIPIL INFRASTRUKTUR PERKOTAAN

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SEBELAS MARET

SURAKARTA

com2012 user

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS NERACA AIR SUNGAI TIRTOMOYO
SUB DAS BENGAWAN SOLO HULU 3**



Disusun oleh :

ALFRIDA IRFANI

NIM : I 8709002

Telah disetujui untuk dipertahankan dihadapan Tim Penguji Pendadaran
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta

Diperiksa dan disetujui
Dosen Pembimbing



Ir. SUYANTO, MM
NIP. 19520317 198503 1 001

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS NERACA AIR SUNGAI TIRTOMOYO
SUB DAS BENGAWAN SOLO HULU 3

TUGAS AKHIR

Dikerjakan oleh :

ALFRIDA IRFANI

NIM. 1 8709002

Dipertahankan di depan Tim Penguji Ujian pendadaran Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta dan diterima guna memenuhi sebagian persyaratan untuk mendapat gelar Ahli Madya.

Pada hari : Kamis
Tanggal : 19 Juli 2012

Dipertahankan di depan tim penguji :

1. **Ir. SUYANTO, MM.**
NIP. 195203171985031001
2. **Ir. SUSILOWATI, M.Si.**
NIP. 194806101985032001
3. **Ir. SOLICHIN, MT.**
NIP. 196001101988031002

(.....)
(.....)
(.....)

Disahkan,
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik UNS



Disahkan,
Ketua Program D-III
Jurusan Teknik Sipil FT UNS

ACHMAD BASUKI, ST, MT
NIP. 1971090 199702 1 001

MOTTO

- *Hai orang-orang yang beriman, mintalah pertolongan (kepada Allah) dengan Sabar dan Shalat. Sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar. (Q.S. Al-Baqarah: 153)*
- *Belajarlah ilmu karena belajar itu khasanah, mencari ilmu itu ibadah, mengingatnya sama dengan tasbih, menyelidikinya sama dengan jihad, mengajarkannya kepada yang tidak mengetahui sama dengan sedekah, memberikannya kepada yang berhak (ahli) itu taqqarab (mendekatkan diri dengan Allah SWT), sebab ilmu itu jalan untuk mencapai tingkat ke surga. (Mu'adz bin Jabal)*
- *Kesabaran adalah mampu untuk menerima kenyataan ketidaksempurnaan yang ada pada diri tiap manusia dengan apa adanya. (Muhammad Firsandi)*
- *Ilmu itu lebih baik daripada harta. Ilmu menjaga engkau dan engkau menjaga harta. Ilmu itu penghukum (hakim) dan harta adalah terhukum. Harta itu kurang apabila dibelanjakan, tapi ilmu bertambah bila dibelanjakan. (Sa'idina Ali bin Abi Thalib)*
- *Tugas kita bukanlah untuk berhasil. Tugas kita adalah untuk mencoba, karena didalam mencoba itulah kita menemukan dan belajar membangun kesempatan untuk berhasil. (Mario Teguh)*
- *Segala hal yang diberikan Tuhan dalam hidup kita patut kita syukuri. Entah itu hal yang manis dan pahit sekalipun.*

commit to user

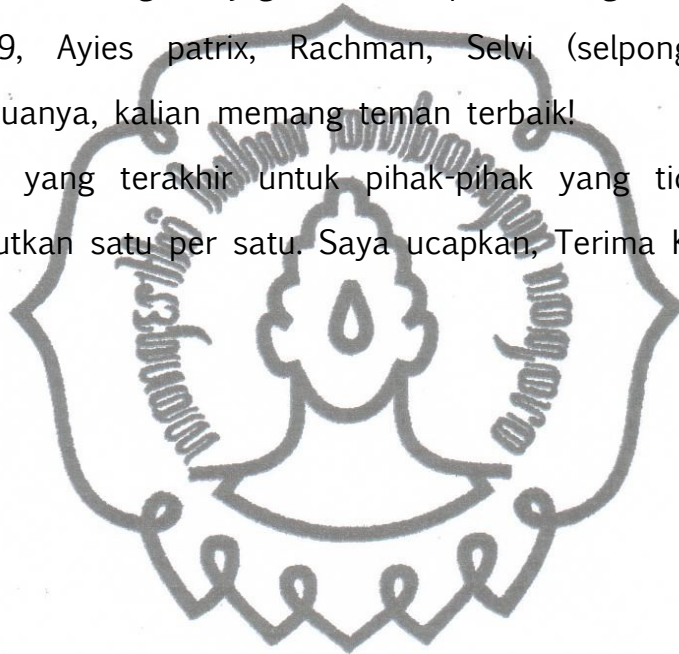
PERSEMBAHAN

Ya Allah.... dengan mengharap Ridho dan Hidayah Mu ingin ku persembahkan Tugas Akhir ini kepada :

1. Allah SWT, Tuhan Semesta Alam, yang selalu memberikan Ridho dan Inayah-Nya. Yang selalu memberikan kekuatan, kelancaran serta kemudahan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini...
2. Orang Tuaku yang tak henti-hentinya mendoakan, mendidikku, mengasihiku dan selalu menaburkan pengorbanan dengan kasih sayangnya yang begitu tulus dan ikhlas. Dukungan kalian sangat berarti bagiku...
3. Adikku Tersayang, Alda Yusnaviza, yang selalu mendoakan dan menyemangatiku agar cepat lulus kuliah...
4. Teman-teman satu perjuangan, satu visi dan misi, satu kelompok TA yang terdiri dari Ayu, Rimce alias Rima, Lindul alias Linda, Si Kriting yang sudah tidak kriting lagi alias Orien, Mas Cahyo, Putri, Himawan dan Joni selaku partner sepenanggung. Perjuangan kita ga akan berhenti sampai disini, Kawan! Tetep Semangat untuk meraih mimpi kita ke depan...
5. Netbook Acer Aspire One D255, Laptop Acer *Extensa* 4620Z, dan Printer Canon Pixma MP198 yang terkadang sama-sama super lemot, perjuangan kalian sungguh berarti untukku. Terima kasih! *cium ketiganya*

commit to user

6. Rekan-rekan Sipil Infrastruktur 2009, Kiky, Icha, Diella, Novi, Tya, Ara, Andrew, Adit, Fahrizal, Rusdi (kebo), (Alm.) Eko/kodok atas segala bantuan dan dukungannya selama menjalani kuliah di Fakultas Teknik kita tercinta ini. Semoga kita tetap jadi rekan yang paling solid! Terimakasih buanyaaak...
7. Adik-adik tingkat, juga rekan Sipil Gedung dan Transportasi 2009, Ayies patrix, Rachman, Selvi (selpong), Ogik, dan semuanya, kalian memang teman terbaik!
8. Dan yang terakhir untuk pihak-pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu. Saya ucapkan, Terima Kasih...



commit to user

ABSTRAK

Alfrida Irfani, 2012, **Analisis Neraca Air Sungai Tirtomoyo Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3**, Tugas Akhir, Program Studi Diploma III Teknik Sipil Infrastruktur Perkotaan, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

Penyebaran hujan yang tidak merata menyebabkan kondisi ketersediaan air berbeda di setiap tempat. Faktor yang berperan adalah faktor iklim. Perubahan iklim mempunyai pengaruh besar terhadap siklus hidrologi. Salah satunya menyebabkan terjadinya kekeringan di beberapa daerah seperti Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Hulu 3 pada DAS Tirtomoyo yang berada di Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah. Selain faktor iklim, evapotranspirasi juga mempunyai peran dalam ketersediaan air. Evapotranspirasi adalah kombinasi atau perpaduan antara proses kehilangan air dari suatu lahan (evaporasi) dengan pelepasan (transpirasi) dari tumbuh-tumbuhan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis ketersediaan air dan mengetahui besarnya debit andalan (Q_{80}) dengan Metode Mock di DAS Tirtomoyo.

Neraca air adalah selisih antara masukan (*input*) dan keluaran (*output*) air di suatu tempat dalam periode tertentu, sehingga dapat untuk mengetahui jumlah air tersebut kelebihan air (surplus) ataupun kekurangan air (defisit). Sebagai hasil cukup atau tidaknya ketersediaan air di DAS Tirtomoyo.

Hasil analisis dan pembahasan menunjukkan bahwa kekurangan air terjadi pada musim kemarau yaitu antara bulan April sampai dengan bulan November. Ketersediaan air yang paling besar di DAS Tirtomoyo ini terdapat pada bulan Februari. Dengan kebutuhan air di saluran primer sebesar $4,28 \text{ m}^3/\text{dt}$, lalu dengan debit andalan (Q_{80}) sebesar $10,31 \text{ m}^3/\text{dt}$. Dengan keandalan sebesar 100%.

Kata kunci : Sungai Tirtomoyo, Neraca Air, Ketersediaan Air, Debit Andalan.

ABSTRACT

Alfrida Irfani, 2012. **An Analysis on Water Balance of Tirtomoyo River in Bengawan Solo Hulu 3 Sub River Flow Area (DAS)**, Final Project, Diploma III Urban Infrastructure Civil Engineering Study Program, Civil Engineering Department of Engineering Faculty, Sebelas Maret University, Surakarta.

The rain is distributed unevenly leading to the different availability of water in each place. The contributing factor is climate factor. The climate change affected substantially the hydrology cycle. One effect of it is drought occurrence in several areas such as Bengawan Solo Hulu Sub River Flow Area (DAS) in Tirtomoyo DAS located in Wonogiri Regency of Central Java Province. In addition to climate factor, evapotranspiration plays a role in water availability as well. Evapotranspiration was combination of water loss process from an area (evaporation) by transpiration from the plants.

This research aims to analyze water availability and to find out the mainstay flow rate (Q_{80}) with Mock Method in Tirtomoyo DAS.

The water balance was the difference of water input and output in an area in a certain period, so that it could be found the water volume, whether surplus or deficit. It indicated whether or not the water available is sufficient in Tirtomoyo DAS.

The result of analysis and discussion showed that water deficit occurred in dry season, during April to November period. The highest water availability in Tirtomoyo DAS occurred in February, with the water requirement of $4.28 \text{ m}^3/\text{s}$ primary channel, and $10.31 \text{ m}^3/\text{s}$ mainstay flow rate, and 100% reliability.

Keywords: Tirtomoyo Sungai, Water Balance, Water Availability, Mainstay Flow rate.

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya, Sholawat dan Salam teruntuk makhluk Illahi, Muhammad SAW, yang dengan perjuangannya telah dapat mengantarkan umat pilihan terakhir untuk semua umat manusia demi menuju Ridho-Nya. Maka penulis sangat bersyukur karena telah dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini sesuai dengan yang diharapkan.

Laporan Tugas Akhir ini berjudul “Analisis Neraca Air Sungai Tirtomoyo Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3”, ini penulis susun untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya pada Program Studi D3 Teknik Sipil Infrastruktur Perkotaan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, walaupun telah diusahakan semaksimal mungkin untuk kesempurnaannya. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi perbaikan penulisan laporan pada masa mendatang.

Penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak dapat terwujud tanpa adanya bimbingan, arahan dan bantuan dari berbagai pihak maka dari itu dalam kesempatan ini pula penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat :

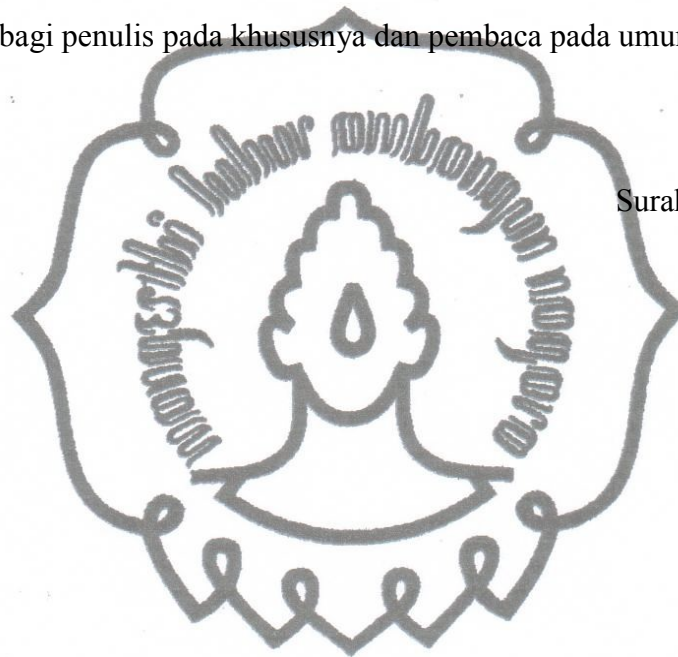
1. Ir. Suyanto, MM, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir 1.
2. DR. Ir. Rr. Rintis Hadiani, MT, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir 2.
3. Kantor DPU kota Wonogiri dalam proses pengambilan data lapangan.
4. Kantor Mateo Landasan Udara Adi Soemarmo Boyolali dalam proses pengambilan data lapangan.
5. Rekan-rekan D-III Teknik Sipil Infrastruktur Perkotaan 2009.

commit to user

6. Dan semua pihak yang telah membantu terselesaikannya Tugas Akhir dan Laporan Tugas Akhir ini.

Penulis hanya dapat mengucapkan terima kasih atas semua bantuan yang telah diberikan, semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.

Akhir kata, penulis berharap semoga laporan hasil Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya. Amin.



Surakarta, Juni 2012

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR GRAFIK	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	
2.1. Tinjauan Pustaka	4
2.1.1. Pengertian Analisis Neraca Air.....	4
2.1.2. Manfaat Analisis Neraca Air	5
2.2. Dasar Teori	6
2.2.1. Air Permukaan	6
2.2.2. Ketersediaan Air	7
2.2.3. Debit Andalan (Q_{80})	8

2.2.4. Metode DR. FJ Mock/Metode Mock (1973)	10
2.2.5. Metode Penman	15
2.2.6. Data yang Diperlukan untuk Kebutuhan Air	15
2.2.6.1. Data Klimatologi	15
2.2.6.2. Data Curah Hujan	15
2.2.7. Kebutuhan Air Irigasi	16
2.2.7.1. Kebutuhan Air untuk Penyiapan Lahan dan Penggantian Lapisan Air	19
 BAB III METODE PENELITIAN	
3.1. Lokasi Penelitian	22
3.2. Data yang Dibutuhkan	23
3.3. Alat yang Digunakan	23
3.4. Langkah-langkah Penelitian	23
3.3.1. Mengumpulkan Data dan Informasi	23
3.3.2. Mengolah Data	24
3.3.3. Diagram Alir Tahapan Penelitian	25
3.3.4. Penyusunan Laporan	26
 BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
4.1. Perhitungan Hujan Wilayah (Bulanan)	27
4.2. Evapotranspirasi Terbatas (Et)	28
4.2.1. Curah Hujan Bulanan (P)	28
4.2.2. Jumlah Hari Hujan Bulanan (n)	28
4.3. Perhitungan Evaporasi Potensial	29
4.4. Perhitungan Debit Andalan dengan Metode Dr. FJ. Mock	32
... 4.4.1. Data Curah Hujan	32
4.4.2. <i>Limited Evapotranspiration</i>	32
4.4.3. Keseimbangan Air di Permukaan Tanah (<i>Water Balance</i>)	33
4.4.4. <i>Run Off & Groundwater Storage</i>	34
4.4.5. <i>Effective Discharge</i>	35

4.5. Rekapitulasi Debit Bulanan Metode Mock (<i>Effective Discharge</i>)	37
4.6. Debit Andalan Metode <i>Basic Month</i> DAS Tirtomoyo Berdasarkan Perhitungan Debit Metode Dr. FJ. Mock.....	37
4.6.1. Perhitungan Probabilitas 80% (Q_{80}).....	38
4.7. Kebutuhan Air Irigasi.....	43
4.7.1. Perhitungan Curah Hujan Bulanan Rata-Rata	43
4.7.2. Kebutuhan Air Selama Pengolahan Lahan dan Penggantian Lapisan Air	44
4.7.3. Kebutuhan Air Irigasi untuk Padi dengan Sistem Satu (1) Golongan.....	45
4.7.4. Kebutuhan Air Irigasi untuk Tanaman Palawija (Jagung)	47
4.7.5. Realisasi Pola Tanam yang Ada untuk Bulan Februari.....	48
4.7.6. Perhitungan Pola Tanam yang Ada	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan.....	50
5.2. Saran.....	50
PENUTUP	xvii
DAFTAR PUSTAKA	xviii
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Koefisien Tanaman untuk Padi dan Palawija Menurut NEDECO/PROSIDA	20
Tabel 2.2. Koefisien Curah Hujan Efektif Padi.....	21
Tabel 2.3. Curah Hujan Efektif Rerata Bulanan Dikali Etc Rerata Bulanan dan Curah Hujan (ASDA/SCS 1969.....	21
Tabel 2.4. Curah Hujan Efektif Rerata Bulanan (mm	21
Tabel 4.1. Curah Hujan Wilayah (Bulanan) DAS Tirtomoyo Bulan Mei Tahun 1999-2011	27
Tabel 4.2. Rerata Data Hujan Evaporasi DAS Tirtomoyo Tahun 1999-2011	28
Tabel 4.3. Data Suhu Udara (°C) Wilayah Wonogiri.....	29
Tabel 4.4. Data Kelembapan Udara Relatif (%) Wilayah Wonogiri.....	30
Tabel 4.5. Data Kecepatan Angin (m/dt) Wilayah Wonogiri.....	31
Tabel 4.6. Data Penyinaran Matahari (%) Wilayah Wonogiri.....	31
Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Evapotranspirasi	32
Tabel 4.8. Debit Bulanan Metode Mock DAS Tirtomoyo Tahun 1999.	36
Tabel 4.9. Rekapitulasi Debit Bulanan Metode Mock (<i>Effective Discharge</i>).....	37
Tabel 4.10. Debit Andalan (Q ₈₀) Metode <i>Basic Month</i> DAS Tirtomoyo Berdasar Perhitungan Debit Metode Dr. FJ. Mock	40
Tabel 4.11. Debit Andalan (Q ₇₀) Metode <i>Basic Month</i> DAS Tirtomoyo Berdasar Perhitungan Debit Metode Dr. FJ. Mock	41
Tabel 4.12. Debit Andalan (Q ₉₀) Metode <i>Basic Month</i> DAS Tirtomoyo Berdasar Perhitungan Debit Metode Dr. FJ. Mock	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. DAS Wonogiri Hulu.....	22
Gambar 3.2. DAS Tirtomoyo	22
Gambar 3.3. Diagram Alir Perhitungan	25



DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Debit Andalan Metode Dr. FJ. Mock (Q_{80})	40
Grafik 4.2. Debit Andalan Metode Dr. FJ. Mock (Q_{70}).....	41
Grafik 4.3. Debit Andalan Metode Dr. FJ. Mock (Q_{90}).....	42



commit to user

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

\bar{P}	= curah hujan rerata,
P	= curah hujan,
n	= jumlah hari,
d	= jumlah permukaan kering,
m	= <i>Exposed surface</i> ,
Et	= evapotranspirasi terbatas,
I	= koefisien infiltrasi,
k	= faktor resesi aliran air tanah,
CA	= luas daerah aliran,
V	= volume,
A	= volume tampungan,
Pr	= probabilitas,
x	= rerata data,
Sd	= standart deviasi,
NFR	= kebutuhan air di sawah,
ETo	= evapotranspirasi,
Etc	= kebutuhan air tanaman,
WLR	= penggantian lapisan air,
P	= perkolasi,
Re	= curah hujan efektif,
IR	= kebutuhan air irigasi,
Eo	= evaporasi,
T	= lamanya penyiapan lahan,
S	= air yang dibutuhkan untuk penjemuran,
Kc	= koefisien tanaman,
R	= curah hujan efektif,
NR	= kebutuhan air untuk pembibitan,
Cu	= kebutuhan air tanaman,
x	= curah hujan bulanan rerata,
k	= faktor frekuensi,
xt	= besarnya curah hujan,

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penyebaran hujan yang tidak merata menyebabkan kondisi ketersediaan air berbeda di setiap tempat. Faktor yang berperan dalam hal ini adalah faktor iklim. Faktor iklim tersebut adalah curah hujan. Selain faktor iklim, yang mempengaruhi ketersediaan air adalah evapotranspirasi. Evapotranspirasi adalah kombinasi atau perpaduan antara proses kehilangan air dari suatu lahan (evaporasi) dengan pelepasan (transpirasi) dari tumbuh-tumbuhan.

Evapotranspirasi merupakan salah satu komponen penting dalam siklus hidrologi dalam kaitannya dengan perhitungan ketersediaan air. Konsep siklus hidrologi sendiri mempunyai arti bahwa jumlah air di suatu luasan tertentu di hamparan bumi dipengaruhi oleh masukan (*input*) dan keluaran (*output*) yang terjadi. Kebutuhan air di dalam kehidupan kita sangat luas dan selalu diinginkan dalam jumlah yang cukup pada saat yang tepat. Penyusunan neraca air di suatu tempat dimaksudkan untuk mengetahui jumlah netto dari air yang diperoleh sehingga dapat diupayakan pemanfaatannya sebaik mungkin. (*I Gede Agus Purbawa dan I Nyoman Gede Wiryajaya, 2009*)

Menurut M. Anang Firmansyah (2010) perubahan iklim global menyadarkan kepada kita semua betapa faktor iklim sangat penting untuk kita pelajari. Data-data yang telah tersedia dapat dimanfaatkan seoptimal mungkin dan akan lebih mempertegas strategi dan alternatif melalui penyusunan neraca air. Air hujan merupakan suatu sumber air utama dari suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) terutama pada daerah beriklim tropis. Suatu DAS memiliki peranan yang cukup penting dan strategis.

commit to user

Kemampuan tanah untuk menyimpan air akan menentukan jumlah air yang dapat digunakan oleh tanaman. Ketersediaan air dalam tanah ini dapat diketahui dengan menggunakan pendekatan neraca air. (*Buletin Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika Vol. 5 No. 2, 2009*)

DAS atau yang bisa disebut dengan Daerah Pengaliran Sungai adalah suatu kesatuan wilayah tata air yang terbentuk secara alamiah. Dimana air meresap atau mengalir melalui sungai dan anak-anak sungai yang bersangkutan. DAS disebut juga sebagai *watershed* atau *catchment area*. DAS ada yang kecil dan ada juga yang sangat luas. DAS yang sangat luas bisa terdiri dari beberapa Sub DAS dan Sub DAS dapat terdiri dari beberapa Sub DAS - sub DAS tergantung banyaknya anak sungai dari cabang sungai yang ada, yang merupakan bagian dari suatu sistem sungai utama (*Asdak, 1995*)

Dalam tugas akhir ini, penulis membahas tentang Analisis Neraca Air Sungai Tirtomoyo Sub Das Bengawan Solo Hulu 3. Tirtomoyo adalah sebuah kecamatan di sebelah tenggara Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah yang mempunyai Sungai Tirtomoyo, memiliki batas wilayah sebagai berikut:

- Sebelah Timur berbatasan dengan Propinsi Jawa Timur yaitu Kabupaten Pacitan
- Sebelah Selatan berbatasan dengan Kecamatan Karangtengah dan Batuwarno
- Sebelah Barat berbatasan dengan Kecamatan Nguntoronadi
- Sebelah Utara berbatasan dengan Kecamatan Jatiroto

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menghitung ketersediaan air dengan metode Mock ?
2. Bagaimana menghitung debit andalan (Q_{80}) ?

1.3. Batasan Masalah

Dalam penulisan Tugas Akhir ini masalah dan pembahasannya terbatas pada:

1. Wilayah penelitian adalah di DAS Tirtomoyo di Sub DAS Bengawan Solo Hulu 3.
2. Hujan yang dipakai merupakan data curah hujan rata-rata bulanan selama 13 tahun (1999-2011).
3. Data klimatologi yang digunakan selama 13 tahun terakhir.
4. Dalam analisis besarnya perkolasi tiap 2 mm diasumsikan menurut Buku Asdak (2004).

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang diperoleh dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

Mengetahui ketersediaan air di Daerah Aliran Sungai Tirtomoyo Sub Das Bengawan Solo Hulu 3.

1.5. Manfaat Penulisan

Manfaat penulisan ini adalah:

1. Manfaat teoritis: diharapkan dapat memberikan informasi keilmuan dan mengembangkan ilmu pengetahuan dalam bidang teknik sipil sesuai yang didapat di bangku perkuliahan khususnya mengenai analisis neraca air Daerah Aliran Sungai Tirtomoyo Sub Das Bengawan Solo Hulu 3
2. Manfaat praktis: diharapkan dapat memberikan tambahan informasi tentang Analisis Neraca Air Daerah Aliran Sungai Tirtomoyo Sub Das Bengawan Solo Hulu 3.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Suripin (2002) menyatakan bahwa secara keseluruhan jumlah air di planet bumi ini relatif tetap dari masa ke masa. Ketersediaan air yang merupakan bagian dari fenomena alam, sering sulit untuk diatur dan diprediksi dengan akurat. Hal ini karena ketersediaan air mengandung unsur variabilitas ruang (*spatial variability*) dan variabilitas waktu (*temporal variability*) yang sangat tinggi (Indra Kusuma Sari, Lily Montarchih Limantara, dan Dwi Priyantoro, 2012)

Ketersediaan air dalam pengertian sumber daya air pada dasarnya berasal dari air hujan (atmosferik), air permukaan, dan air tanah. Hujan yang jatuh di atas permukaan pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) atau Wilayah Sungai (WS) sebagian akan menguap kembali sesuai dengan proses iklimnya, sebagian akan mengalir melalui permukaan dan sub permukaan masuk ke dalam saluran, sungai atau danau dan sebagian lagi akan meresap jatuh ke tanah sebagai pengisian kembali (*recharge*) pada kandungan air tanah yang ada (Anonim, 2006)

2.1.1. Pengertian Analisis Neraca Air

Analisis neraca air merupakan bagian dari kegiatan pengembangan sumber daya air. Pengembangan sumber daya air dapat diartikan secara umum sebagai upaya pemberian perlakuan terhadap fenomena alam agar dapat dimanfaatkan secara optimal untuk kepentingan umat manusia. Sedangkan neraca air merupakan suatu gambaran umum mengenai kondisi ketersediaan air dan pemanfaatannya di suatu daerah. (Sri Harto, 1999)

Neraca air merupakan metode yang sering digunakan untuk mengetahui kuantitas dan waktu ketersediaan air pada suatu unit wilayah. Nasir dan Effendy (1999) menyatakan bahwa data neraca air dapat memberikan beberapa keterangan penting tentang jumlah neto air yang dapat diperoleh, nilai surplus air yang tidak tertampung dan kapan saat terjadinya. (Ahmad Junaedi, 2009).

Menurut Sosrodarsono dan Takeda (1978) ditinjau dari penggunaannya di bidang hidrologi, neraca air merupakan penjelasan tentang hubungan antara aliran ke dalam (*in flow*) dan aliran ke luar (*out flow*) di suatu periode tertentu dari proses sirkulasi air.

Sedangkan, di bidang Agroklimatologi, Frere dan Popov (1979) seperti yang dikutip oleh Oldeman dan Frere (1982) mengartikan neraca air sebagai selisih antara jumlah air yang diterima oleh tanaman dan kehilangan air dari tanaman beserta tanah melalui evapotranspirasi.

2.1.2. Manfaat Analisis Neraca Air

Menurut Buku Analisis Neraca Air di DAS Kupang dan Sengkarang (2012) neraca air (*water balance*) merupakan neraca masukan dan keluaran air disuatu tempat pada periode tertentu, sehingga dapat digunakan untuk mengetahui jumlah air tersebut kelebihan (surplus) ataupun kekurangan (defisit).

Kegunaan mengetahui kondisi air pada surplus dan defisit dapat mengantisipasi bencana yang kemungkinan terjadi, serta dapat pula untuk mendayagunakan air sebaik-baiknya. Manfaat secara umum yang dapat diperoleh dari analisis neraca air antara lain:

1. Digunakan sebagai dasar pembuatan bangunan penyimpanan dan pembagi air serta saluran-salurannya. Hal ini terjadi jika hasil analisis neraca air didapat banyak bulan-bulan yang defisit air.

2. Sebagai dasar pembuatan saluran drainase dan teknik pengendalian banjir. Hal ini terjadi jika hasil analisis neraca air didapat banyak bulan-bulan yang surplus air.
3. Sebagai dasar pemanfaatan air alam untuk berbagai keperluan pertanian seperti sawah, perkebunan, dan perikanan.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Air Permukaan

Kodoatie dan Sjarief (2010) menerangkan bahwa air merupakan sumber daya alam esensial, yang sangat dibutuhkan oleh manusia dan makhluk hidup lainnya. Dengan air, maka bumi menjadi planet dalam tata surya yang memiliki kehidupan. Air bertransformasi melalui daur hidrologi.

Air permukaan adalah air yang mengalir secara berkesinambungan atau dengan terputus-putus dalam alur sungai atau saluran dari sumbernya yang tertentu, dimana semua ini merupakan bagian dari sistem sungai yang menyeluruh. Yang termasuk air permukaan meliputi air sungai (*rivers*), saluran (*stream*), sumber (*springs*), danau, dan waduk. Jumlah air permukaan diperkirakan hanya 0,35 Juta km³ atau hanya sekitar 1 % dari air tawar yang ada di bumi (*Suripin, 2002*).

Sosrodarsono (2006) menyatakan bahwa air permukaan yang dibutuhkan untuk kehidupan dan produksi adalah air yang terdapat dalam proses sirkulasi air (siklus hidrologi), jika sirkulasi tidak merata maka akan terjadi bermacam kesulitan diantaranya sirkulasi yang kurang, maka kekurangan air ini harus ditambah dalam suatu usaha pemanfaatan air.

2.2.2. Ketersediaan Air

Berdasarkan sistem siklus air, menurut Buku Analisis Neraca Air di DAS Kupang dan Sengkarang (2012) dapat diketahui bahwa air yang berada di bumi ini merupakan hasil dari hujan (presipitasi). Air hujan di permukaan bumi jatuh di berbagai kondisi tutupan lahan, baik itu perkotaan, desa, hutan, sawah, jenis tanah yang berbeda dan topografi yang berbeda. Kondisi lahan yang berbeda akan membedakan besarnya air yang akan mengalami peresapan ke dalam tanah, penguapan, tersimpan di tajuk-tajuk pohon dan cekungan, maupun menjadi aliran langsung. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa komponen fisik dan meteorologis memiliki pengaruh terhadap ketersediaan air (kondisi hidrologi) di suatu DAS. Seiring dengan pertumbuhan penduduk serta meningkatnya pembangunan, membawa dampak berupa tekanan penduduk terhadap lahan, perubahan penggunaan lahan, serta meningkatnya kebutuhan air, padahal kondisi lingkungan semakin menurun. Pengelolaan lingkungan secara terpadu dibutuhkan agar tercipta keseimbangan di dalam lingkungan.

Telah disebutkan di awal bahwa komponen fisik dan meteorologis mempengaruhi ketersediaan air di suatu DAS. Curah hujan yang tinggi dengan evapotranspirasi rendah dan berada di kondisi tutupan lahan hutan akan memiliki cadangan/ketersediaan air yang melimpah dibandingkan dengan kawasan perkotaan dengan curah hujan yang tinggi dan evapotranspirasi yang tinggi.

Ketersediaan air tersebut diilustrasikan dengan tingkat air di lapisan tanah yang berbeda. Kelebihan air atau gravitasi mengalir cepat dari tanah setelah hujan berat karena gaya gravitasi (titik jenuh dengan kapasitas lapangan). Tanaman dapat menggunakan sejumlah kecil air ini sebelum bergerak keluar dari zona akar. Air yang tersedia masih dipertahankan dalam tanah setelah kelebihan telah dikeringkan (kapasitas lapang untuk titik layu). Air ini adalah yang paling penting untuk tanaman atau produksi hijauan. Air tersedia adalah kelembapan tanah yang

dipegang begitu erat dengan tanah yang tidak dapat diekstraksi oleh tanaman. Air tetap dalam tanah bahkan di bawah titik layu tanaman.

2.2.3. Debit Andalan (Q_{80})

Di Indonesia pada umumnya alokasi air dilakukan untuk periode setiap 15 harian atau setengah bulanan (kecuali Jawa Timur yang menggunakan periode 10 harian atau dasa harian) yang artinya Rencana Alokasi Air Global (RAAG) maupun alokasi air secara tepat waktu dilakukan dalam periode setengah bulanan (Hatmoko dan Amirwandi, 2002).

Namun, pengumpulan data debit seringkali bermasalah karena kondisi lokasi yang tidak memungkinkan sehingga menyebabkan tidak kontinunya data debit. Dengan adanya pertimbangan tersebut maka diperlukan suatu metode untuk menduga besar debit sungai yang salah satunya dikembangkan oleh Mock (1973). Metode ini hanya membutuhkan data iklim dan karakteristik tanah, sedangkan dalam perhitungannya selain limpasan permukaan langsung ada juga aliran bawah tanah (Nur Febrianti, 2009)

Untuk aliran sungai yang memiliki data pengukuran, ketersediaan airnya dapat ditentukan peluang terjadinya atau terlampauinya yang dapat dihitung dengan metode statistika. Peluang terjadinya atau terlampauinya suatu besaran debit atau yang dalam literatur dinyatakan dengan debit andalan.

Soemarto (1987) menyatakan bahwa debit andalan adalah besarnya debit yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan air dengan resiko kegagalan yang telah diperhitungkan. Dalam perencanaan proyek-proyek penyediaan air terlebih dahulu harus dicari debit andalan (*dependable discharge*), yang tujuannya adalah untuk menentukan debit perencanaan yang diharapkan selalu tersedia di sungai.

Debit tersebut digunakan sebagai patokan ketersediaan debit yang masuk ke waduk pada saat pengoperasiannya. Untuk menghitung debit andalan tersebut,

dihitung peluang 80% dari debit *inflow* sumber air pada pencatatan debit pada periode tertentu. Dalam perhitungan ini, penulis juga menghitung Q_{70} dan Q_{90} .

Dalam menentukan besarnya debit andalan dengan peluang 80% digunakan probabilitas Metode Weibull, dengan rumus:

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan:

P = Peluang (%)

n = Jumlah data

m = Nomor urut data

Menurut Montarcih (2009) debit andalan adalah debit yang tersedia sepanjang tahun dengan besarnya resiko kegagalan tertentu. Beliau menuturkan bahwa terdapat empat metode untuk analisa debit andalan antara lain:

1. *Metode debit rata-rata minimum*

Karakteristik metode ini antara lain dalam satu tahun hanya diambil satu data (data debit rata-rata harian dalam satu tahun), metode ini sesuai untuk daerah aliran sungai dengan fluktuasi debit maksimum dan debit minimum tidak terlalu besar dari tahun ke tahun serta kebutuhan relatif konstan sepanjang tahun.

2. *Metode flow characteristic*

Metode ini berhubungan dengan basis tahun normal, tahun kering, dan tahun basah.

- Debit berbasis tahun normal adalah jika debit rata-rata tahunannya kurang lebih sama dengan debit rata-rata keseluruhan tahun.
- Debit berbasis tahun kering adalah jika debit rata-rata tahunannya lebih kecil dari debit rata-rata keseluruhan tahun.
- Debit berbasis tahun basah adalah jika debit rata-rata tahunannya lebih kecil dari debit rata-rata keseluruhan tahun.

3. Metode Tahun Dasar Perencanaan

Analisa debit andalan menggunakan metode ini biasanya digunakan dalam perencanaan atau pengelolaan irigasi. Umumnya di bidang irigasi dipakai debit dengan keandalan 80%, sehingga rumus untuk menentukan tahun dasar perencanaan adalah sebagai berikut :

$$R_{80} = \frac{n}{5} + 1 \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan : n = Kala ulang pengamatan yang diinginkan

R_{80} = Debit yang terjadi < R_{80} adalah 20%

4. Metode Bulan Dasar Perencanaan

Analisa debit andalan menggunakan metode ini hampir sama dengan Metode *Flow Characteristic* yang dianalisa untuk bulan-bulan tertentu. Metode ini paling sering dipakai karena keandalan debit dihitung bulan Januari sampai dengan Bulan Desember, jadi lebih bisa menggambarkan keadaan pada musim kemarau dan penghujan.

Besarnya debit suatu sungai sangat dipengaruhi oleh besarnya curah hujan, sehingga ketersediaan air akan bervariasi tergantung musim. Biasanya, di musim penghujan, air yang tersedia berupa debit aliran di sungai akan sangat banyak dan melimpah. Sebaliknya, jika saat musim kemarau, air yang tersedia sebagai debit aliran di sungai akan sedikit sekali.

Menurut Chay Asdak (2004) untuk menghitung besarnya debit *intake* yang datanya bersifat *hipotetic* menggunakan nilai modus. Angka modus lebih bermanfaat sebagai angka prakiraan besarnya nilai tengah dan sebagai indikasi pusat penyebaran data.

2.2.4. Metode DR. FJ Mock/Metode Mock

Untuk mengetahui besarnya debit minimum yang mengalir pada suatu sungai tertentu dapat diketahui dengan menggunakan alat ukur pencatat muka air dan

commit to user

beberapa formula, sehingga diketahui hubungan antara tinggi muka air dan besarnya debit yang mengalir pada sungai tersebut. Alat pencatat tersebut biasa dinamakan AWLR (*Automatic Water Level Record*). Akan tetapi pada beberapa sungai, seperti pada lokasi embung tidak didapatkan alat tersebut. Maka, untuk mengetahui besaran debit yang mengalir bisa dilakukan perhitungan secara empiris yang mana di Indonesia menggunakan metode dari DR. FJ Mock. Metode simulasi Mock ini memperhitungkan data curah hujan, evapotranspirasi, dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran sungai. Metode ini menggunakan data hujan bulanan dan lama hari hujan untuk mendapatkan debit bulanan rata-rata. Kriteria perhitungan diasumsikan dengan data yang diperlukan sebagai berikut:

a. Data Curah Hujan

Data curah hujan ini minimal 15 tahun. Dengan cara mengambil data di stasiun yang mewakili daerah atau mengambil data di stasiun yang ditinjau.

b. Evapotranspirasi Terbatas (E_t)

Adalah evapotranspirasi aktual dengan mempertimbangkan kondisi vegetasi dan permukaan tanah serta curah hujan. Untuk itu diperlukan data:

- Curah hujan bulanan (P),
- Jumlah hari hujan bulanan (n),
- Jumlah permukaan kering bulanan (d), dihitung dengan asumsi bahwa tanah dalam satu hari hanya mampu menahan air sekitar 12 mm dan selalu menguap 4 mm,
- *Exposed surface* ($m\%$), ditaksir dari peta tata guna lahan atau dengan asumsi sebagai berikut:

$m = 0\%$ untuk lahan dengan hutan lebat,

$m = 0\%$ pada akhir musim hujan dan bertambah 10% setiap bulan kering untuk lahan sekunder,

$m = 10\% - 40\%$ untuk lahan yang tererosi, dan

$m = 20\% - 50\%$ untuk lahan pertanian yang diolah.

Analisis neraca air berdasarkan persamaan Mock adalah sebagai berikut:

$$P = Et + R + I \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan:

P = Curah hujan rata-rata tahunan (mm)

Et = Evapotranspirasi (mm)

R = *Run off* (mm)

I = Infiltrasi (mm)

Dari ke empat komponen neraca air di atas, curah hujan merupakan komponen yang berdiri sendiri (*independent*), yang berarti besarnya tidak terpengaruhi oleh keadaan permukaan dan bawah tanah. Tiga komponen lainnya yang dipengaruhi oleh klimatologi terutama curah hujan juga dipengaruhi oleh keadaan permukaan dan bawah tanah, yaitu penggunaan lahan, kemiringan lereng, jenis tanah atau formasi batuan (*Oki Oktariadi dan Dikdik Riyadi, 2010*)

c. Luas Daerah Pengaliran

Semakin besar daerah pengaliran dari suatu aliran, kemungkinan akan semakin besar pula ketersediaan debitnya.

d. Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)

Kapasitas kelembapan tanah (SMC) atau *Soil Moisture Capacity* merupakan volume kandungan air di lapisan tanah terluar (permukaan) yang dihitung per m². Besarnya SMC untuk perhitungan ketersediaan air ini diperkirakan berdasarkan keadaan porositas lapisan tanah permukaan dari DPS. Semakin besar porositas tanah, akan semakin besar pula SMC yang ada. Dalam perhitungan ini, nilai SMC diambil antara 50 mm sampai dengan 200 mm.

e. Keseimbangan air di permukaan tanah

Keseimbangan air di permukaan tanah dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut:

- Air hujan (As),
- Kandungan air tanah (*soil storage*), dan
- Kapasitas kelembaban tanah (SMC)

f. Kandungan Air Tanah

g. Aliran dan Penyimpangan Air Tanah (*Run off and Ground Water Storage*)

h. Koefisien Infiltrasi

Koefisien nilai infiltrasi diperkirakan berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan DPS. Lahan DPS yang *porous* memiliki koefisien infiltrasi yang besar. Sedangkan lahan yang terjadi, memiliki koefisien infiltrasi yang kecil, karena air akan sulit terinfiltrasi ke dalam tanah. Batasan koefisien infiltrasi adalah 0 – 1.

i. Faktor Resesi Aliran Tanah (k)

Faktor resesi adalah perbandingan antara aliran air tanah pada bulan ke-n dengan aliran air tanah pada awal bulan tersebut. Faktor resesi aliran tanah dipengaruhi oleh sifat geologi DPS. Dalam perhitungan ketersediaan air Metode FJ Mock, besarnya nilai k didapat dengan cara coba-coba (*trial*) sehingga dapat dihasilkan aliran seperti yang diharapkan.

j. *Initial Storage* (IS)

Initial storage atau tampungan awal adalah perkiraan besarnya volume air pada awal perhitungan. IS di lokasi studi diasumsikan sebesar 100 mm.

k. Penyimpanan air tanah (*Ground Water Storage*)

Penyimpanan air tanah besarnya tergantung dari kondisi geologi setempat dan watu. Sebagai permulaan dari simulasi harus ditentukan penyimpanan awal (*initial storage*) terlebih dahulu.

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan penyimpanan air tanah adalah sebagai berikut:

$$V_n = k \times V_{n-1} + 0,5 (1 + k) I \dots \dots \dots (2.4)$$

$$V_n = V_n - V_{n-1} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dengan:

V_n = volume air tanah bulan ke-n,

k = q_t/q_0 = faktor resesi aliran tanah,

q_t = aliran air tanah pada waktu bulan ke-t,

commu to user

q_0 = aliran air tanah pada awal bulan (bulan ke-0),
 v_{n-1} = volume air tanah bulan ke-(n-1), dan
 v_n = perubahan volume aliran air tanah.

1. Aliran Sungai

Aliran dasar = infiltrasi – perubahan aliran air dalam tanah

Aliran permukaan = volume air lebih – infiltrasi

Aliran sungai = aliran permukaan + aliran dasar

Air yang mengalir di sungai merupakan jumlah dari aliran langsung (*direct run off*), aliran dalam tanah (*interflow*) dan aliran tanah (*base flow*). Besarnya masing-masing aliran tersebut adalah:

- Interflow* = infiltrasi – volume air tanah,
- Direct run off* = *water surplus* – infiltrasi,
- Base flow* = aliran yang selalu ada sepanjang tahun,
- Run off* = *interflow* + *direct run off* + *base flow*

Dalam Buku 2 Identifikasi Masalah Pengelolaan Sumber Daya Air Di Pulau Jawa (2007) analisis neraca air atau keseimbangan air adalah suatu analisa yang menggambarkan pemanfaatan sumber daya air suatu daerah tinjauan yang didasarkan pada perbandingan antara kebutuhan dan ketersediaan air.

Faktor-faktor yang digunakan dalam perhitungan dan analisis neraca air ini adalah ketersediaan air dari daerah aliran sungai yang dikaji (yang merupakan ketersediaan air permukaan) dan kebutuhan air dari tiap daerah layanan yang dikaji (yang meliputi kebutuhan air untuk domestik, perkotaan, industri, perikanan, peternakan, dan irigasi). Persamaan yang digunakan untuk menghitung neraca air dinyatakan sebagai berikut:

$$Neraca = Q_{ketersediaan} - Q_{kebutuhan} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan:

Neraca = Neraca air, surplus jika hasil persamaan adalah positif dan defisit apabila hasil persamaan adalah negatif.

$Q_{ketersediaan}$ = Debit ketersediaan air.

$Q_{kebutuhan}$ = Debit kebutuhan air.

Dari persamaan tersebut maka dapat didefinisikan arti dari kekeringan. Kekeringan yang dimaksud disini adalah saat dimana total kebutuhan air untuk berbagai sektor lebih besar daripada jumlah air yang tersedia untuk mencukupi kebutuhan tersebut. Atau juga dapat pula dikatakan bahwa kekeringan terjadi saat neraca air mengalami defisit atau memiliki nilai negatif.

2.2.5. Metode Penman

Dalam Laporan Penelitian yang dilakukan oleh Susi Susilawati (2002), metode Penman Modifikasi (FAO – ID No. 24) secara umum telah diterima sebagai metode yang cukup untuk menghitung evapotranspirasi dari data klimatologi seperti: temperatur, kelembaban (*humidity*), radiasi penyinaran (*sunshine*), dan kecepatan angin (*windspeed*).

2.2.6. Data yang Diperlukan untuk Kebutuhan Air

2.2.6.1. Data Klimatologi

Data klimatologi diambil dari stasiun meteorologi terdekat yaitu di Landasan Udara Adi Sumarmo Boyolali, data klimatologi yang diambil yaitu :

1. Suhu udara bulanan rata-rata ($^{\circ}\text{C}$),
2. Kelembaban udara relatif bulanan rata-rata (%),
3. Kecepatan angin bulanan rata-rata (m/dt),
4. Penyinaran matahari bulanan rata-rata (%).

2.2.6.2. Data Curah Hujan

Data curah hujan diambil dari stasiun terdekat dengan daerah irigasi. Perhitungan curah hujan bulanan rata – rata dihitung curah hujan efektif 20% kering bulanan dengan pendekatan distribusi normal sebagai:

$$X_t = x + k.sd \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan : x = curah hujan bulanan rata-rata (mm),
 k = faktor frekuensi (-0,842 untuk 20% kering),
 sd = penyimpangan standar (standar deviasi),
 x_t = besarnya curah hujan pada periode yang tertentu.

Rumus curah hujan bulanan rerata diambil dari PSA – 010 Dirjen Pengairan Bina Program (1985).

2.2.7. Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi adalah jumlah volume air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan evapotranspirasi, kehilangan air, dan kebutuhan air untuk tanaman dengan memperhatikan jumlah air yang diberikan oleh alam melalui hujan dan kontribusi air tanah, ditambah dengan kehilangan air pada jaringan irigasi.

a. Kebutuhan Air di Sawah

Menurut Herdias Rinaldi (2011) Kebutuhan air irigasi di sawah adalah besarnya satuan kebutuhan air yang disediakan untuk tanaman agar dapat tumbuh dan berkembang dengan baik. Besarnya kebutuhan air di sawah biasanya dihitung dengan satuan kebutuhan air setiap satuan luas. Untuk menghitung air irigasi menurut rencana pola tanam. Ada beberapa faktor yang diperlukan:

1. Pola tanam yang direncanakan,
2. Luas areal yang ditanami,
3. Kebutuhan air pada petak sawah, dan
4. Efisiensi irigasi

Kebutuhan air di sawah (*cropwater requitment*) yaitu kebutuhan air yang diperlukan pada petak sawah yang terdiri dari:

1. Kebutuhan air untuk pengolahan tanah,
2. Kebutuhan air untuk pertumbuhan tanaman (*consumptive use*),
3. Kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air pada petakan sawah.

Banyaknya air yang diperlukan oleh tanaman pada suatu petak sawah dinyatakan dalam persamaan berikut:

commit to user

$$\text{NFR} = \text{ET}_c + \text{P} + \text{WLR} - \text{R}_E \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan:

NFR = Kebutuhan air di sawah (mm/hari)

ET_c = Kebutuhan air tanaman (*consumptive use* mm/hari)

P = Penggantian lapisan air (mm/hari)

WLR = Perkolasi (mm/hari)

RE = Curah hujan efektif (mm)

b. Kebutuhan Air untuk Penyiapan Lahan

Air yang dibutuhkan selama masa penyiapan lahan untuk menggenangi sawah hingga mengalami kejenuhan. Sebelum transplantasi dan kebutuhan air untuk penyiapan lahan termasuk pembibitan adalah 250 mm, 200 mm digunakan untuk penjenuhan 200 mm dan pada awal transplantasi akan ditambah 50 mm untuk padi, untuk tanaman lading disarankan 50-100 mm (KP-01). Waktu yang diperlukan pada masa penyiapan lahan dipengaruhi oleh jumlah tenaga kerja hewan penghela dan peralatan yang digunakan serta faktor sosial setempat kebutuhan air pada jangka waktu penyiapan lahan dihitung berdasarkan rumus Kebutuhan air selama jangka waktu penyiapan lahan dihitung berdasarkan rumus V.D Goor-Ziljstra (1968). Metode tersebut didasarkan pada air konstan dalam Lt/dt. Selama metode penyiapan lahan dihitung dengan rumus:

$$\text{IR} = \frac{\text{M} \times e^k}{e^k - 1} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan:

IR = Kebutuhan air di sawah (mm/hari)

M = Kebutuhan air untuk mengganti kehilangan akibat evaporasi dan pondasi di sawah yang sudah dijenuhkan

$$M = E_0 + P \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan:

E_0 = Evaporasi air terbuka ET_0 selama masa penyiapan lahan (mm/hari)

$$K = \frac{M \times T}{S} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan:

T = Lamanya penyiapan lahan

S = Air yang dibutuhkan untuk penjemuran ditambah 50 mm

c. Kebutuhan Air Tanaman (ET_c)

Kebutuhan air tanaman adalah sejumlah air yang dibutuhkan untuk mengganti air yang hilang akibat penguapan. Besarnya kebutuhan air tanam (*consumptive use*) dihitung berdasarkan rumus:

$$ET_c = K_c \times ET_0 \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan:

ET_c = Evapotranspirasi tanaman (mm/hari)

K_c = Koefisien tanaman (tabel)

ET_0 = Evapotranspirasi tanaman acuan (mm/hari)

d. Pergantian Lapisan Air

Pergantian lapisan air dilakukan sebanyak dua kali masing-masing 50 mm letak 3,3 mm/hari selama ½ bulan, selama dua bulan setelah transplantasi.

e. Perkolasi

Perkolasi adalah gerakan air ke bawah dari daerah tidak jenuh ke dalam daerah jenuh. Laju perkotaan lahan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu tekstur tanah dan permeabilitas. Laju perkolasi normal setelah dilakukan penggenangan berkisar antara 1-3 mm/hari. Untuk perhitungan, kebutuhan air laju perkolasi diambil harga standar 2 mm/hari.

f. Curah Hujan Efektif

Tinggi hujan yang dinyatakan dalam mm menentukan saat mulai tanam pertama dan menentukan pula kebutuhan air irigasi dan curah hujan efektif. Perhitungan curah hujan efektif didasarkan pada curah hujan tengah bulanan, berdasarkan persamaan:

- Curah hujan efektif harian untuk padi = $0,7 + \frac{R_{go}}{15}$
- Curah hujan efektif harian untuk palawija akan diambil dari tabel A 27 Pool berdasarkan curah hujan bulanan, kebutuhan air tanaman bulanan, dan evapotranspirasi bulanan.

g. Efisiensi Irigasi

Efisiensi adalah perbandingan debit air irigasi yang sampai di lahan pertanian dengan debit air irigasi yang keluar dari pintu pengambilan yang dinyatakan dalam persen. Kehilangan air ini disebabkan karena penguapan kegiatan dan eksploitasi. Kebocoran dari rembesan untuk perencanaan dianggap sepertiga dan jumlah yang diambil akan hilang sebelum air itu sampai di sawah. Total efisiensi irigasi diambil 65% dengan asumsi 90% efisiensi pada saluran primer, 90% efisiensi saluran sekunder, 80% efisiensi saluran tersier.

h. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi merupakan gabungan dari proses penguapan dan permukaan tanah bebas (evaporasi) dengan penguapan yang berasal dari tanaman (transpirasi). Besarnya nilai evaporasi dipengaruhi iklim, varietas, jenis serta umur tanaman.

2.2.7.1. Kebutuhan Air untuk Penyiapan Lahan dan Penggantian Lapisan Air

1. Penyiapan lahan untuk padi

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan ini menentukan kebutuhan maksimum air untuk irigasi. Faktor yang menentukan besarnya kebutuhan air untuk penyiapan lahan tergantung dari besarnya penjemuran tanah,

lama pengolahan tanah dan besarnya evaporasi serta perkolasi diambil harga – harga seperti tersebut dalam KP-01 sebagai berikut :

- Waktu yang digunakan untuk menyelesaikan pekerjaan penyiapan lahan diperkirakan jangka waktu penyiapan lahan ini selama satu bulan (30 hari).
- Jumlah air yang diperlukan untuk penyiapan lahan. Jumlah air yang diperlukan untuk penyiapan lahan ini dapat ditentukan berdasarkan kedalaman serta porositas tanah disawah, diambil kebutuhan air untuk penjemuran dan pengolahan tanah (lahan) sebesar 200 mm.
- Pada permukaan tanaman tidak ada air yang tersisa disawah, setelah tanam selesai. Lapisan air disawah di tambah 50 mm jadi jumlah lapisan air yang diperlukan untuk penyiapan lahan dan untuk lapisan air awal setelah tanam selesai seluruhnya menjadi 250 mm.

2. Koefisien Tanaman (Kc)

Koefisien tanaman besarnya tergantung pada jenis tanaman dan phase pertumbuhan. Pada pertumbuhan digunakan koefisien tanaman untuk padi dengan varietas unggul mengikuti ketentuan NEDECO/PROSIDA. Besarnya koefisien tanaman untuk padi dan palawija dapat dilihat pada Tabel 2.1. berikut :

Tabel 2.1. Koefisien Tanaman untuk Padi dan Palawija Menurut NEDECO/PROSIDA

Periode Tengah Bulanan ke	PADI		PALAWIJA				KETERANGAN
	Varietas biasa	Varietas Unggul	Jagung	Kacang Tanah	Kedelai	Kacang Hijau	
1	1,20	1,20	0,50	0,50	0,50	0,50	* Untuk sisanya 15 hari ** untuk sisanya 10 hari
2	1,20	1,27	0,59	0,51	0,75	0,64	
3	1,32	1,33	0,96	0,66	1,00	0,89	
4	1,40	1,30	1,05	0,85	1,00	0,95	
5	1,35	1,15	1,02	0,95	0,82	0,88	
6	1,24	0,00	0,95*	0,95	0,45*		
7	1,12			0,95			
8	0,00			0,95			
9				0,55**			

3. Koefisien Curah Hujan efektif

Berdasarkan koefisien curah hujan efektif pada padi diambil menurut Tabel 2.2. berikut:

Tabel 2.2. Koefisien Curah Hujan Efektif Padi

Bulan	GOLONGAN					
	1	2	3	4	5	6
0,5	0,36	0,18	0,12	0,09	0,07	0,06
1,0	0,70	0,53	0,35	0,26	0,21	0,18
1,5	0,40	0,55	0,48	0,36	0,29	0,24
2,0	0,40	0,40	0,50	0,46	0,37	0,31
2,5	0,40	0,40	0,40	0,48	0,45	0,37
3,0	0,40	0,40	0,40	0,40	0,46	0,44
3,5	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,45
4,0	0,00	0,20	0,27	0,30	0,32	0,33
4,5			0,13	0,20	0,24	0,27
5,0				0,10	0,16	0,20
5,5					0,08	0,13
6,0						0,07

Sumber: Data PSA – 010. Dirjen pengairan, bina program (1985)

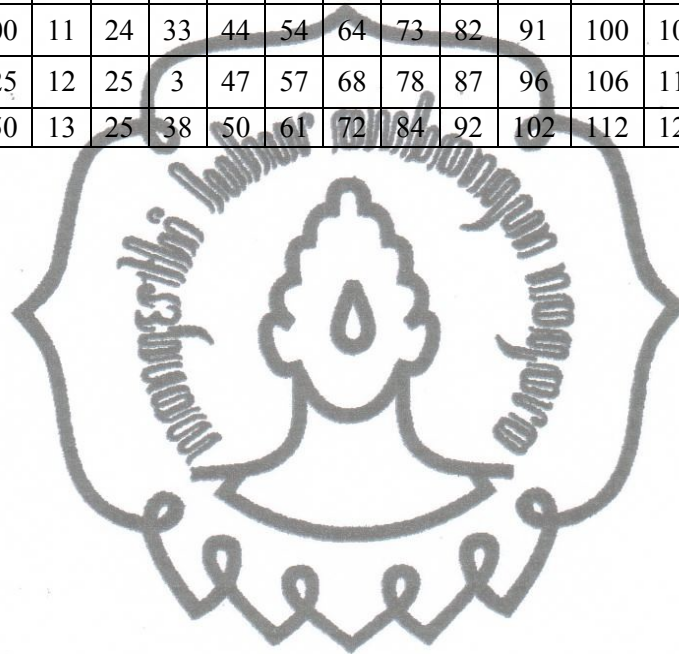
Sedangkan untuk palawija besarnya curah hujan efektif ditentukan dengan rerata bulanan serta evapotranspirasi bulanan.

Tabel 2.3. Curah Hujan Efektif Rerata Bulanan Dikali Etc Rerata Bulanan dan Curah Hujan (ASDA/SCS 1969)

Curah Hujan Mean Bulanan (mm)	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5	100	112,5	125	137,5	150	162,5	175
-------------------------------	------	----	------	----	------	----	------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----

Tabel 2.4. Curah Hujan Efektif Rerata Bulanan (mm)

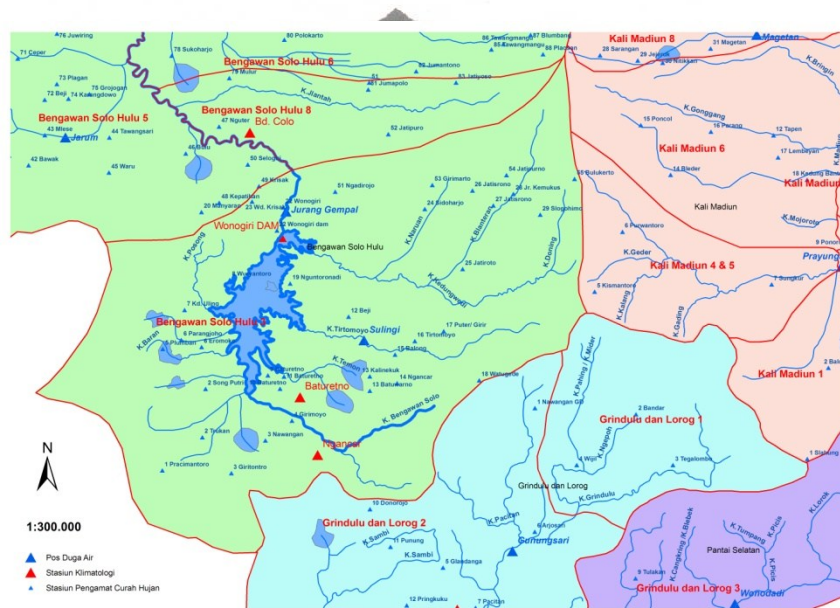
Et Rerata Bulanan (mm)	25	8	16	24											
	50	8	17	25	32	39	46								
	75	9	18	27	34	41	48	56	62	69					
	100	9	19	28	35	43	52	59	66	73	80	87	94	100	
	125	10	20	30	37	46	54	62	70	76	85	92	98	107	116
	150	10	21	31	39	49	57	66	74	81	89	97	104	112	119
	175	11	23	32	42	52	61	69	78	86	95	103	111	118	126
	200	11	24	33	44	54	64	73	82	91	100	109	117	125	134
	225	12	25	33	47	57	68	78	87	96	106	115	124	132	141
	250	13	25	38	50	61	72	84	92	102	112	121	132	140	150



BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah DAS Tirtomoyo yang terletak di Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah.



Sumber: *The Study on Counter for Sedimentation in the Wonogiri Multipurpose Dam (2007)*

Gambar 3.1. DAS Wongiri Hulu

DAS Tirtomoyo ditunjukkan dalam Gambar 3.2 seperti di bawah ini:



Gambar 3.2. DAS Tirtomoyo

3.2. Data yang Dibutuhkan

Data yang dibutuhkan adalah:

1. Peta DAS beserta lokasi stasiun hujan di DAS Tirtomoyo.
2. Data curah hujan dari stasiun hujan selama 13 tahun dari tahun 1999-2011 di DAS Tirtomoyo dari Dinas Pengairan, Energi dan Sumber Daya Mineral Kabupaten Wonogiri.
3. Data Klimatologi Kabupaten Wonogiri selama 13 tahun dari tahun 1999-2011

3.3. Alat yang Digunakan

Alat bantu yang digunakan dalam kajian ini adalah perangkat lunak:

1. Program Microsoft Excel atau terapan untuk pengolahan data hujan.
2. Program Microsoft Excel atau terapan untuk perhitungan debit andalan dan ketersediaan air dengan Metode Mock dan Penman.
3. Program Auto CAD untuk pengolahan peta DAS.

3.4. Langkah-langkah Penelitian

3.4.1. Mengumpulkan Data dan Informasi

1. Tahap persiapan

Tahap ini dimaksudkan untuk mempermudah jalannya penelitian, seperti pengumpulan data, analisis, dan penyusunan laporan.

Tahap persiapan meliputi:

- a. Studi Pustaka

Studi pustaka dimaksudkan untuk mendapatkan arahan dan wawasan sehingga mempermudah dalam pengumpulan data, analisis data maupun dalam penyusunan hasil penelitian.

2. Pengumpulan Data

Dalam setiap penelitian, data merupakan masukan terpenting untuk mendapatkan hasil yang diharapkan. Ada dua macam data yang biasa digunakan dalam penelitian, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer dikumpulkan melalui pengamatan langsung, observasi lapangan maupun wawancara, sedangkan data sekunder diperoleh melalui survei instansional. Namun, dalam tugas akhir ini peneliti hanya mendapatkan data dari sumber atau instansi terkait sehingga dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data sekunder. Data sekunder tersebut terdiri dari data pencatatan curah hujan dari tahun 1999-2011 yang diperoleh dari Perusahaan Umum Jasa Tirta 1 dan Dinas Pengairan, Energi, dan Sumber Daya Mineral Kabupaten Wonogiri. Selain itu untuk data klimatologi dari tahun 1999-2011 diperoleh dari Kantor Mateo Landasan Udara Adi Soemarmo Boyolali. Adapun kegiatan-kegiatan yang dilakukan pada tahap ini adalah: pengumpulan data spasial yaitu peta-peta tematik dan peta dasar, pengumpulan data-data hidrologi dan klimatologi yang meliputi curah hujan, debit dan suhu, dan pengumpulan data-data pendukung lainnya.

3.4.2. Mengolah Data

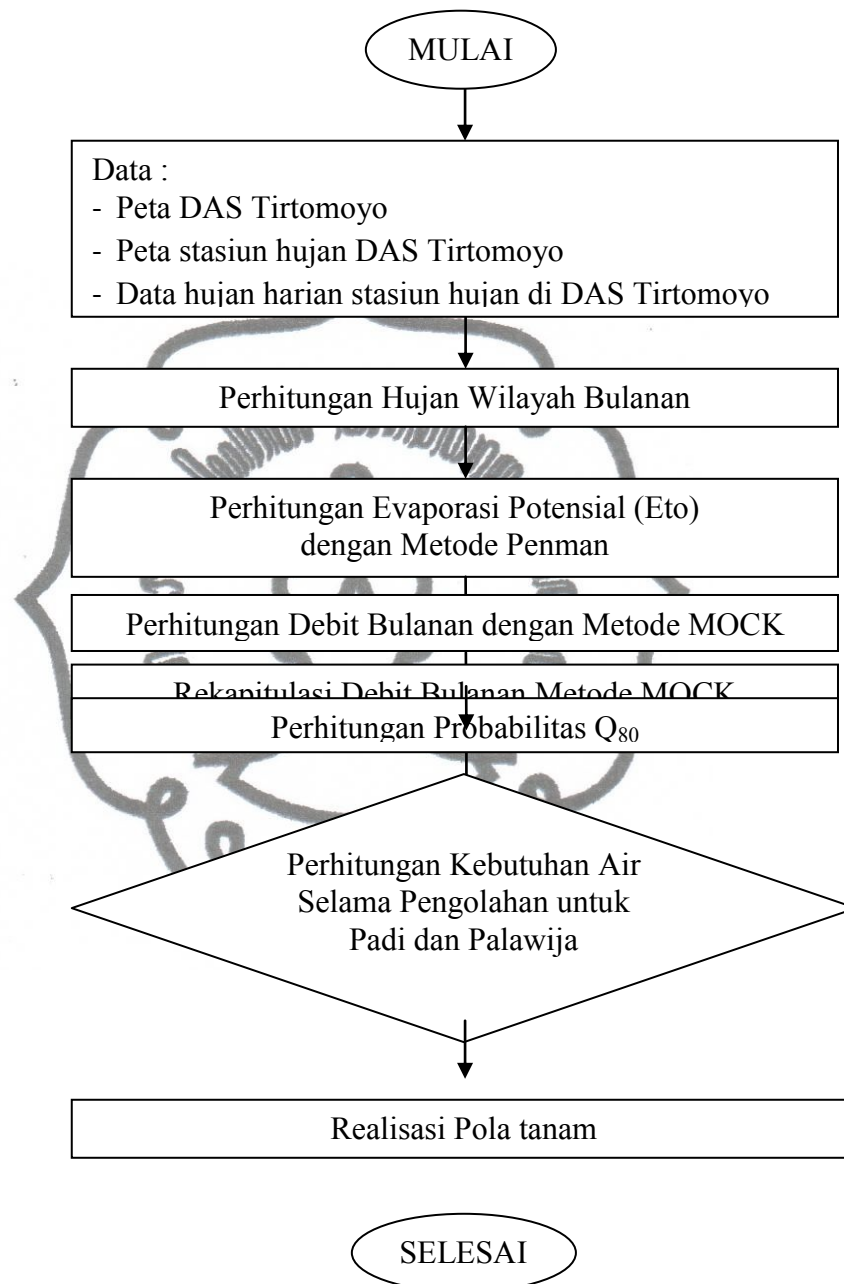
Setelah mendapatkan data yang diperlukan, langkah selanjutnya adalah pengolahan data tersebut. Pada tahap pengolahan atau menganalisis data dilakukan dengan menghitung data yang ada dengan rumus yang sesuai.

Hasil dari suatu pengolahan data digunakan kembali sebagai data untuk menganalisis yang lainnya dan berlanjut seterusnya sampai mendapatkan hasil akhir tentang analisis neraca air di DAS Tirtomoyo.

3.4.3. Penyusunan Laporan

Seluruh data atau informasi primer maupun sekunder yang telah terkumpul kemudian diolah atau dianalisis dan disusun untuk mendapatkan hasil akhir yang dapat mengetahui ketersediaan air yang ada di DAS Tirtomoyo.

3.4.4. Diagram Alir Tahapan Penelitian



Gambar 3.3. Diagram Alir Perhitungan

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Hujan Wilayah (Bulanan)

Curah hujan adalah unsur iklim yang memiliki variasi besar baik dari sebaran waktu maupun sebaran tempat di setiap bulan. Curah hujan yang terjadi di suatu tempat disebut curah hujan wilayah dengan satuan millimeter (mm). Data curah hujan dipakai untuk memperkirakan besar curah hujan yang jatuh di daerah sekitarnya. Kondisi curah hujan wilayah (bulanan) di tiga stasiun hujan kawasan DAS Tirtomoyo yaitu Stasiun Balong, Tirtomoyo, dan Ngancar, misal untuk Bulan Mei, dapat dilihat pada Tabel 4.1. berikut :

Tabel 4.1. Curah Hujan Wilayah (Bulanan) DAS Tirtomoyo Bulan Mei Tahun 1999-2011

Tahun	Mei			P Wilayah
	Balong	Tirtomoyo	Ngancar	
1999	103	57	88	77,027
2000	69	75	36	63,990
2001	44	46	23	39,935
2002	75	0	72	37,928
2003	0	0	57	13,311
2004	0	0	0	0,000
2005	0	0	0	0,000
2006	197	111	183	151,426
2007	119	67	110	91,471
2008	43	24	40	33,052
2009	169	95	0	93,288
2010	280	0	157	115,511
2011	275	0	154	113,448

4.2. Evapotranspirasi Terbatas (Et)

Evapotranspirasi terbatas (Et) yaitu evapotranspirasi aktual dengan mempertimbangkan kondisi vegetasi dan permukaan tanah serta curah hujan. Evapotranspirasi terbatas (Et) dihitung menggunakan Metode Mock. Data evapotranspirasi terbatas (Et) meliputi curah hujan bulanan (p), jumlah hari hujan bulanan (n), jumlah permukaan kering bulanan (d), dan *exposed surface* (m%).

Evaporasi merupakan proses fisis perubahan cairan menjadi uap, hal ini terjadi apabila air cair berhubungan dengan atmosfer yang tidak jenuh, baik secara internal pada daun (transpirasi) maupun secara eksternal pada permukaan-permukaan yang basah. Rerata hujan evaporasi disini didapat dari data jumlah hujan harian per stasiun, yang bisa dilihat pada Tabel 4.2.

4.2.1. Curah Hujan Wilayah Bulanan (P)

Untuk curah hujan wilayah bulanan (P), misal untuk Bulan Mei terdapat pada Tabel 4.1.

4.2.2. Jumlah Hari Hujan Bulanan (n)

Untuk jumlah hari hujan bulanan (n) bisa dilihat pada Tabel 4.2. berikut :

Tabel 4.2. Rerata Data Hujan Evaporasi DAS Tirtomoyo Tahun 1999-2011

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
1999	15	14	14	9	6	1	0	0	0	6	9	14
2000	7	17	12	13	4	2	0	1	0	3	7	4
2001	14	10	15	8	2	7	0	0	0	0	7	0
2002	0	0	0	6	2	0	0	0	0	0	3	12
2003	8	11	12	1	1	0	0	0	0	1	0	11
2004	11	17	11	2	0	0	1	0	0	0	4	0
2005	10	7	11	0	0	7	0	0	0	0	0	16
2006	0	12	0	7	8	0	0	12	4	15	8	16
2007	2	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	17
2008	7	16	15	9	2	0	0	0	0	0	0	7
2009	10	13	6	3	5	2	0	0	0	0	3	4
2010	15	9	12	7	13	5	6	3	13	0	9	18
2011	0	4	13	9	9	0	0	1	1	0	6	6

4.3. Perhitungan Evaporasi Potensial (Eto)

Untuk menghitung Eto digunakan Metode Penman. Data yang dibutuhkan adalah data klimatologi wilayah Wonogiri. Pada penelitian ini menggunakan stasiun klimatologi Dam Wonogiri yang terletak antara 07° 52' LS dan 110° 55" BT, dengan elevasi : +104 m dpl.

Data tersebut terdiri dari Data Suhu Udara ($^{\circ}\text{C}$), Data Kelembaban Udara Relatif (%), Data Kecepatan Angin (m/dt), dan Data Penyinaran Matahari (%) yang terukur selama kurun waktu 13 tahun terakhir yaitu dari tahun 1999-2011. Setelah itu didapat evaporasi potensial (Eto) tiap bulan.

a. Temperatur Udara (t) $^{\circ}\text{C}$

Data diperoleh dari rata – rata suhu atau temperatur udara pada data klimatologi, misalkan pada bulan Mei data diambil dari rata – rata temperatur udara yang ada mulai tahun 1999 – 2011 sehingga didapat nilai $t = 26,99^{\circ}\text{C}$

Tabel 4.3. Data Suhu Udara ($^{\circ}\text{C}$) Wilayah Wonogiri

No	Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
1	1999	25,60	25,60	26,20	26,60	26,90	26,70	25,80	26,60	26,30	27,50	26,50	26,90
2	2000	25,60	25,70	25,80	26,40	27,20	26,20	26,50	26,50	28,00	27,40	26,80	26,90
3	2001	25,90	25,60	26,00	26,90	27,30	26,60	26,20	26,20	28,00	27,30	27,20	27,60
4	2002	26,50	25,70	26,60	26,80	27,50	26,90	26,40	26,10	27,60	28,40	28,30	27,20
5	2003	26,30	26,60	27,60	28,70	27,00	26,50	25,90	26,00	27,60	27,80	27,50	26,60
6	2004	26,30	25,80	26,30	27,70	27,40	26,60	26,70	26,30	27,60	28,20	27,80	26,50
7	2005	26,60	26,40	27,60	27,10	27,40	27,10	26,60	26,50	27,50	27,80	27,90	30,20
8	2006	25,70	26,30	26,50	26,30	25,60	26,30	25,70	25,70	26,40	28,30	28,50	26,60
9	2007	27,20	26,30	25,90	26,70	27,20	26,70	26,20	24,80	26,90	28,10	27,10	26,40
10	2008	26,20	25,50	25,90	26,80	26,70	24,70	25,90	26,80	27,90	27,50	26,60	25,40
11	2009	25,50	25,40	26,90	27,20	26,80	24,90	26,40	26,30	28,40	28,60	27,90	27,50
12	2010	25,80	26,70	27,00	27,20	27,20	27,10	28,80	27,40	27,10	27,30	27,40	26,00
13	2011	25,80	25,30	26,00	26,30	26,70	26,20	26,20	25,30	27,10	27,70	26,90	26,10
Jumlah		339,0	336,9	344,3	350,7	350,9	342,5	343,3	340,5	356,4	361,9	356,4	349,9
Rata-Rata		26,08	25,92	26,48	26,98	26,99	26,35	26,41	26,19	27,42	27,84	27,42	26,92

b. Kelembaban Relatif (h), %

Data diperoleh dari nilai rata – rata kelembaban relatif pada data klimatologi, misalkan pada bulan Mei data diambil dari rata – rata kelembaban relatif yang ada mulai tahun 1999 – 2011 sehingga diperoleh nilai $h = 78,46\%$.

Tabel 4.4. Data Kelembaban Udara Relatif (%) Wilayah Wonogiri

No	Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
1	1999	85,00	84,00	82,00	78,00	75,00	71,00	60,00	65,00	63,00	71,00	80,00	82,00
2	2000	83,00	85,00	84,00	82,00	77,00	74,00	10,00	67,00	69,00	74,00	81,00	77,00
3	2001	85,00	84,00	84,00	81,00	78,00	82,00	81,00	79,00	77,00	82,00	85,00	87,70
4	2002	87,00	90,00	86,00	85,00	83,00	75,00	77,00	76,00	77,00	76,00	81,00	83,00
5	2003	86,00	88,00	87,00	81,00	80,00	77,00	73,00	74,00	67,00	71,00	75,00	83,00
6	2004	86,00	85,00	84,00	78,00	77,00	75,00	72,00	67,00	68,00	68,00	78,00	83,00
7	2005	82,00	83,00	83,00	81,00	78,00	78,00	75,00	69,00	69,00	74,00	74,00	86,00
8	2006	86,00	87,00	83,00	83,00	81,00	65,00	70,00	70,00	64,00	61,00	69,00	80,00
9	2007	74,00	87,00	83,00	83,00	78,00	74,00	71,00	67,00	66,00	68,00	76,00	83,00
10	2008	82,00	85,00	84,00	79,00	73,00	70,00	67,00	65,00	64,00	75,00	81,00	80,00
11	2009	86,00	86,00	80,00	79,00	79,00	76,00	68,00	66,00	67,00	66,00	74,00	75,00
12	2010	85,00	84,00	82,00	84,00	80,00	79,00	70,00	74,00	79,00	75,00	79,00	85,00
13	2011	85,00	85,00	85,00	84,00	81,00	73,00	73,00	69,00	67,00	71,00	82,00	82,00
Jumlah		1092	1113	1087	1058	1020	969,0	867,0	908,0	897,0	932,0	1015	1066,7
Rata-Rata		84,00	85,62	83,62	81,38	78,46	74,54	66,69	69,85	69,00	71,69	78,08	82,05

c. Kecepatan angin (V^2), m/detik

Data diperoleh dari nilai rata – rata kecepatan angin pada data klimatologi, misalkan pada bulan Mei data diambil dari rata – rata kecepatan angin yang ada mulai tahun 1999 – 2011 sehingga didapat nilai $V^2 = 0,40$ m/detik.

Tabel 4.5. Data Kecepatan Angin (m/dt) Wilayah Wonogiri

No	Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
1	1999	0,30	0,20	0,20	0,40	0,40	0,10	0,70	0,60	0,60	0,60	0,30	0,20
2	2000	0,60	0,30	0,30	0,40	0,40	0,40	0,40	0,60	0,70	0,60	0,40	0,60
3	2001	0,30	0,30	0,40	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,70	0,40	0,80	9,10
4	2002	0,70	0,30	4,25	0,60	0,50	0,70	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50
5	2003	0,40	0,40	0,60	0,60	0,50	2,00	0,70	0,80	0,80	7,00	0,70	0,60
6	2004	0,40	0,40	0,50	0,30	0,50	0,60	0,70	0,80	0,80	0,90	0,70	8,00
7	2005	7,00	0,50	0,40	6,00	0,30	0,40	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,40
8	2006	0,30	0,50	0,40	0,40	0,40	0,50	4,00	0,40	0,70	0,70	0,70	0,30
9	2007	0,50	0,50	6,00	0,20	0,30	0,30	0,30	0,70	0,90	0,80	0,70	0,20
10	2008	0,30	0,20	0,40	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,50	0,40	0,50
11	2009	0,10	0,30	0,50	0,40	0,20	0,20	0,50	0,50	0,80	6,60	0,50	0,60
12	2010	0,10	0,30	1,10	0,50	0,50	0,50	0,60	0,50	0,50	0,70	0,50	0,40
13	2011	0,40	0,30	0,40	0,50	0,40	0,60	0,50	0,60	0,80	0,70	6,50	0,60
Jumlah		11,40	4,50	15,45	11,10	5,20	7,10	10,30	7,40	9,20	20,70	13,40	22,00
Rata-Rata		0,88	0,35	1,19	0,85	0,40	0,55	0,79	0,57	0,71	1,59	1,03	1,69

d. Rasio keawanan / lama penyinaran (n/N), %

Data diperoleh dari rata – rata lama penyinaran matahari pada data klimatologi, misalkan pada bulan Mei data diambil dari rata –rata penyinaran matahari yang ada mulai dari tahun 1999 – 2011, sehingga diperoleh nilai $Q_r = 52,50\%$.

Tabel 4.6. Data Penyinaran Matahari (%) Wilayah Wonogiri

No	Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
1	1999	25,00	3,26	3,81	5,32	6,50	6,78	7,02	7,26	7,71	5,14	4,56	37,00
2	2000	16,00	2,43	76,00	64,00	78,00	80,00	95,00	86,00	96,00	63,00	50,00	57,00
3	2001	44,00	13,00	52,00	71,00	88,00	86,00	85,00	91,00	96,00	52,00	0,00	0,00
4	2002	54,00	21,00	55,00	68,00	38,00	7,50	7,55	6,58	7,22	6,38	6,10	4,00
5	2003	0,00	48,00	68,00	80,00	77,00	92,00	95,00	97,00	94,00	74,00	62,00	49,00
6	2004	58,00	44,00	53,32	83,00	82,00	89,00	84,00	98,00	99,00	98,00	75,00	53,00
7	2005	67,00	61,00	63,00	68,00	82,00	66,00	85,00	0,00	92,00	68,00	75,00	22,00
8	2006	37,00	37,21	30,00	60,00	72,00	89,00	95,00	95,00	100,0	84,00	91,00	62,00
9	2007	73,00	56,00	30,00	52,00	81,00	71,00	93,00	96,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	2008	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	2009	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	2010	25,00	24,00	53,00	58,00	4,99	5,67	56,41	81,19	77,00	63,00	53,00	15,00
13	2011	27,00	46,00	55,00	58,00	73,00	99,00	96,00	98,00	95,00	90,00	65,00	55,00
Jumlah		426,00	355,90	539,13	667,32	682,49	691,95	798,98	756,03	763,93	603,52	481,66	354,00
Rata-Rata		32,77	27,38	41,47	51,33	52,50	53,23	61,46	58,16	58,76	46,42	37,05	27,23

e. Albedo / koefisien pemantauan (r)

Nilai koefisien albedo sudah ditentukan, misalkan koefisien albedo untuk rumput adalah 0,25.

Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Evapotranspirasi

Metode	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Penman	3,26	3,35	3,63	3,34	3,53	3,26	3,70	4,17	4,90	4,96	4,36	3,44

4.4. Perhitungan Debit Andalan dengan Metode Dr. FJ. Mock

Perhitungan debit andalan dengan Metode Mock merupakan cara perhitungan yang didasarkan pada data curah hujan, evapotranspirasi, dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran. Kriteria perhitungan dan asumsi metode simulasi ini meliputi :

4.4.1. Data Curah Hujan

- a. Memasukkan data curah hujan bulan untuk tiap tahunnya (P)

Misal : Untuk tahun 1999

Bulan Mei, P = 77,027

- b. Memasukkan data hari hujan bulanan untuk tiap tahunnya (n)

Bulan Mei, n = 6 hari

4.4.2. Limited Evapotranspiration

- a. *Evapotranspiration* ($E_p = E_{t_0}$)

Misal untuk Bulan Mei tahun 1999, $E_{t_0} = 3,533$

$E_p = E_{t_0} \times \text{hari hujan per bulan}$

$$= 3,533 \times 31$$

$$= 109,521 \text{ mm/bulan}$$

- b. *Exposed Surface* (m%), misal untuk Bulan Mei tahun 1999 adalah 20 %

- c. $(m/20) \times (18-n)/100 = ((20/20) \times (18-5,667))/100$

$$= 0,123$$

commit to user

- d. Evapotranspirasi (E, mm/bulan)

$$\begin{aligned} E &= E_p \times (m/20) \times (18-n)/100 \\ &= 109,521 \times 0,123 \\ &= 13,508 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

- e. Evapotranspirasi Terbatas (Et, mm/bulan)

$$\begin{aligned} E_t &= E_p - E \\ &= 109,521 - 13,508 \\ &= 96,014 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

4.4.3. Keseimbangan Air di Permukaan Tanah (*Water Balance*)

- a. Kandungan air tanah (s)

$$\begin{aligned} &= \text{Curah hujan (P)} - E_t \\ &= 77,027 - 96,014 \\ &= -18,986 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

- b. *Precipitation Flood*

$$\begin{aligned} \text{Faktor aliran hujan lebat (PF)} &= 0,05 \\ &= \text{PF} \times \text{Curah Hujan (P)} \\ &= 0,05 \times 77,027 \\ &= 3,851 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

- c. *Soil Storage*

$$\begin{aligned} &= (P - E_t) - \text{Precipitation Flood} \\ &= -18,986 - 3,851 \\ &= -22,838 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

- d. *Soil Moisture*

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas kelembapan tanah (SMC)} &= 150 \text{ mm} \\ &= \text{SMC} + \text{Soil Storage} \\ &= 150 + (-22,838) \\ &= 127,162 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

e. *Water Surplus*

Nilai *water surplus* di peroleh dari rumus (P-Et), atau baris ke (8), apabila nilainya lebih dari nol maka pada baris ke 8 dicantumkan, namun apabila nilai pada baris ke 8 kurang dari nol (<0) maka nilai *water surplus* sama dengan nol, misalkan pada Bulan Mei tahun 1999:

$$\begin{aligned} \text{Water surplus} &= P - E_t \\ &= -18,986 \text{ mm/bulan. Karena nilai water surplus} < 0, \text{ jadi} \\ &\text{dianggap } 0 \end{aligned}$$

4.4.4. *Run Off & Groundwater Storage*a. *Infiltration*

$$\begin{aligned} \text{Koefisien Iniltrasi (I)} &= 0,4 \\ &= \text{Water Surplus} \times I \\ &= 0,000 \times 0,4 \\ &= 0,000 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

b. Faktor resesi saluran (k) = 0,396

$$\begin{aligned} &= 0,5 \times (1 + k) \times I \\ &= 0,5 \times (1 + 0,396) \times 0,000 \\ &= 0,000 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

c. $k \times V_{(n-1)}$

$$\begin{aligned} &= 0,396 \times \text{Storage Volume}_{\text{april}} \\ &= 0,396 \times 93,460 \\ &= 37,010 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

d. *Storage Volume*

$$\begin{aligned} &= k \times V_{(n-1)} + 0,5 \times (1 + k) \times I \\ &= 37,010 + 0,000 \\ &= 37,010 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

e. $DV_n = V_n - V_{(n-1)}$

$$\begin{aligned} &= \text{Storage Volume}_{\text{mei}} - \text{Storage Volume}_{\text{april}} \\ &= 37,010 - 93,460 \\ &= -56,450 \text{ mm/bulan} \end{aligned}$$

f. *Base Flow*

$$= \text{Infiltration} - DV_n$$

$$= 0,000 - (-56,450)$$

$$= 56,450 \text{ mm/bulan}$$

g. *Direct Run Off*

$$= \text{Water Surplus} - \text{Infiltration}$$

$$= 0,000 - 0,000$$

$$= 0,000 \text{ mm/bulan}$$

h. *Run Off* (Aliran Permukaan)

$$= \text{Base Flow} + \text{Direct Run Off}$$

$$= 56,450 + 0,000$$

$$= 56,450 \text{ mm/bulan}$$

4.4.5. *Effective Discharge*

Nilai *effective discharge* diperoleh dengan membagi nilai run off dengan *Catchment Area* (CA) dan mengalikannya dengan konversi satuan dari mm/bulan menjadi m³/detik. Misalkan untu Bulan Mei tahun 1999:

$$\text{Luas daerah aliran CA} = 230,647 \text{ km}^2$$

$$= ((\text{Run Off} \times 0,001) / (3600 \times 24 \times \text{Jumlah hari per bulan})) \times (\text{CA} \times 10^6)$$

$$= (56,450 \times 0,001) / (3600 \times 24 \times 31) \times (230,647 \times 10^6)$$

$$= 4,861 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Debit bulanan Metode Mock DAS Tirtomoyo dapat dilihat pada Tabel 4.8. berikut:

Tabel 4.8. Debit bulanan Metode Mock DAS Tirtomoyo tahun 1999

Debit Bulanan Metoda Dr. FJ Mock Sungai Tirtomoyo Tahun 1999															
No.	Uraian	Notasi	Unit	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agst	Sept	Okt	Nov	Des
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Data															
1	Curah Hujan	P	mm/mt	364.294	310.738	445.016	234.895	77.027	19.615	9.091	0.000	3.503	117.439	290.226	320.361
2	Hari Hujan	n	days	15	14	14	9	6	1	0	0	0	6	9	14
Limited Evapotranspiration															
3	Evapotranspiration	Ep = Eto	mm/mt	101.056	93.842	112.641	100.157	109.521	97.847	114.787	129.341	147.103	153.680	130.661	106.757
4	Exposed Surface	m %	%	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
5	(m/20) x (18-n)			0.030	0.043	0.037	0.090	0.123	0.167	0.177	0.180	0.177	0.117	0.090	0.043
6	E	(5) x (3)	mm/mt	3.032	4.066	4.130	9.014	13.508	16.308	20.279	23.281	25.988	17.929	11.759	4.626
7	Et = Ep - E	(3) - (6)	mm/mt	98.025	89.776	108.511	91.143	96.014	81.539	94.508	106.060	121.115	135.751	118.901	102.131
Water Balance															
8	P - Et	(1) - (7)	mm/mt	266.269	220.962	336.505	143.752	-18.986	-61.924	-85.417	-106.060	-117.612	-18.311	171.325	218.230
9	Precipitation Flood	PF x (1)	mm/mt	18.215	15.537	22.251	11.745	3.851	0.981	0.455	0.000	0.175	5.872	14.511	16.018
10	Soil Storage	(8) - (9)	mm/mt	248.055	205.425	314.254	132.008	-22.838	-62.904	-85.871	-106.060	-117.787	-24.183	156.813	202.212
11	Soil Moisture	SMC + (10)	mm/mt	398.055	355.425	464.254	282.008	127.162	87.096	64.129	256.060	32.213	125.817	306.813	352.212
12	Water Surplus	8	mm/mt	266.269	220.962	336.505	143.752	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	171.325	218.230
Run Off & Groundwater Storage															
13	Infiltration	(12) x 1	mm/mt	106.508	88.385	134.602	57.501	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	68.530	87.292
14	0,5 x (1+k) x 1		mm/mt	74.342	61.693	93.952	40.136	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	47.834	60.930
15	k x V _(n-1)		mm/mt	29.440	41.098	40.705	53.324	37.010	14.656	5.804	2.298	0.910	0.360	0.143	18.999
16	Storage Volume	(14) + (15)	mm/mt	103.782	102.790	134.657	93.460	37.010	14.656	5.804	2.298	0.910	0.360	47.977	79.929
17	DV _n = V _n - V _(n-1)		mm/mt	-26.218	-0.992	31.867	-41.197	-56.450	-22.354	-8.852	-3.505	-1.388	-0.550	47.616	31.952
18	Base Flow	(13) - (17)	mm/mt	132.726	89.377	102.735	98.698	56.450	22.354	8.852	3.505	1.388	0.550	20.914	55.340
19	Direct Run Off	(12) - (13)	mm/mt	159.762	132.577	201.903	86.251	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	102.795	130.938
20	Run Off	(18) + (19)	mm/mt	292.487	221.954	304.638	184.950	56.450	22.354	8.852	3.505	1.388	0.550	123.708	186.278
Effective Discharge															
21	Effective Discharge		m ³ /det	25.187	21.161	26.233	16.458	4.861	1.989	0.762	0.302	0.124	0.047	11.008	16.041
<i>Note :</i>			k =	0.396			I =	0.4							
			SMC =	150 mm			IS =	130 mm							
			CA =	230.647 km ²			PF =	0.05							

4.5. Rekapitulasi Debit Bulanan Metode Mock (*Effective Discharge*)

Setelah menghitung debit andalan DAS Tirtomoyo dengan Metode Mock, didapat hasil *effective discharge* setiap bulannya yang bisa dilihat pada Tabel 4.9. berikut :

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
1999	25,187	21,161	26,233	16,458	4,861	1,989	0,762	0,302	0,124	0,047	11,008	16,041
2000	10,042	27,161	16,828	19,648	5,248	2,147	0,823	0,326	0,133	0,051	1,511	1,500
2001	21,996	29,958	29,496	14,703	4,648	6,646	1,803	0,714	0,292	0,112	0,046	0,018
2002	0,012	0,000	0,000	1,953	0,442	0,181	0,069	0,027	0,011	0,004	0,002	10,930
2003	16,477	15,889	19,305	5,357	2,053	0,840	0,322	0,127	0,052	0,020	0,008	6,221
2004	8,928	16,954	9,371	2,955	1,132	0,463	0,178	0,070	0,029	0,011	0,005	0,002
2005	0,639	0,273	7,241	1,767	0,677	4,108	0,974	0,386	0,158	0,060	0,025	14,890
2006	5,770	10,049	2,124	0,869	3,591	0,924	0,354	10,846	2,646	11,704	4,993	12,401
2007	5,233	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	22,925
2008	11,107	16,245	12,156	8,579	2,500	1,023	0,392	0,155	0,064	0,024	0,010	2,360
2009	1,075	15,571	3,300	1,350	0,518	0,212	0,081	0,032	0,013	0,005	0,002	0,001
2010	8,729	9,745	13,061	11,306	3,835	6,971	3,818	1,186	20,561	4,731	2,407	27,937
2011	0,001	6,833	16,618	14,833	4,905	1,860	0,713	0,282	0,115	0,044	1,638	3,092
Rerata	8,861	13,064	11,979	7,675	2,647	2,105	0,791	1,112	1,861	1,294	1,666	9,101
SD	8,222	9,802	9,568	6,926	1,958	2,362	1,034	2,943	5,663	3,387	3,173	9,299
Q80 (rumus)	6,551	10,310	9,291	5,729	2,097	1,441	0,501	0,285	0,270	0,342	0,774	6,488

4.6. Debit Andalan Metode *Basic Month* DAS Tirtomoyo Berdasarkan Perhitungan Debit Metode Dr. FJ. Mock

Dari perhitungan debit bulanan dengan Metode Mock tiap tahunnya, diakumulasikan Analisis *Basic Month* yang diuraikan sebagai berikut :

- Hasil perhitungan debit
- Menjumlahkan semua data
- Mengurutkan data tersebut dari besar ke kecil
- Menghitung Probabilitas

4.6.1. Perhitungan Probabilitas 80% (Q₈₀)

Probabilitas dihitung dengan rumus :

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

Dimana:

P = Probabilitas kejadian (%)

commit to user

m = Nomor urut data

n = Jumlah data dengan analisis (bulan)

Langkah-langkah dalam perhitungan probabilitas debit 80% (Q_{80}) adalah sebagai berikut :

- Membuat tabel akumulasi yang berisi data nilai *effective discharge* dari semua tahun (1999 – 2011).
- Mengurutkan data nilai *effective discharge* mulai dari yang terbesar ke terkecil dan membuat probabilitasnya.

- Probabilitas = $\frac{m}{n+1} \times 100$

Dimana m = Tahun yang ditinjau

n = Jumlah tahun yang ditinjau

misal :

$$\text{Probabilitas tahun pertama} = \frac{1}{13+1} \times 100 = 7,14$$

$$\text{Probabilitas tahun kedua} = \frac{2}{13+1} \times 100 = 14,29$$

$$\text{Probabilitas tahun ketiga} = \frac{3}{13+1} \times 100 = 21,43$$

$$\text{Probabilitas tahun keempat} = \frac{4}{13+1} \times 100 = 28,57$$

Dan seterusnya menggunakan rumus yang sama dengan nilai m yang berbeda.

- Menghitung nilai rata-rata *Effective Discharge* tiap bulan dan nilai standart deviasi (sd).
- Menentukan nilai Q_{80} dengan rumus atau dalam kondisi estimasi, misal pada bulan Mei :

$$Q_{80} \text{ estimasi } (Q_{80} \text{ rumus}) = \text{Rata-rata} - (0,281 \times \text{sd})$$

$$= 2,647 - (0,281 \times 1,958)$$

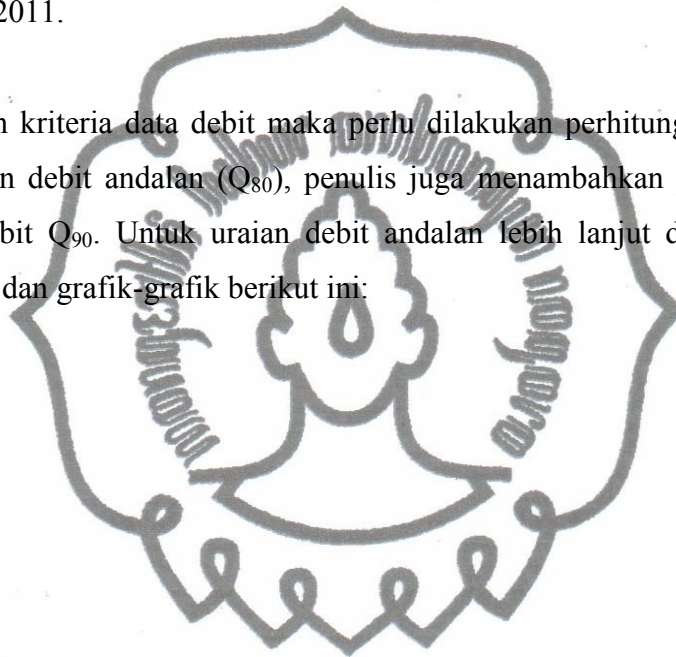
$$= 2,097 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Apabila hasil perhitungan kurang dari nol atau minus maka nilai Q_{80} rumus ditulis nol.

commit to user

- e. Menentukan Q_{80} *real* dengan interasi dan probabilitas 80%. Nilai Q_{80} *real* diperoleh dari nilai *effective discharge* pada probabilitas 80%, jika ternyata probabilitas yang ke 80% tidak tercantum maka perlu dilakukan interpolasi untuk mendapatkan probabilitas Q_{80} .
- f. Membuat grafik debit andalan Dr. FJ. Mock, grafik yang dibuat adalah berdasarkan nilai Q_{80} rumus dan Q_{80} *real*, diperbandingkan karakteristiknya.
- g. Membuat kurva debit andalan dengan menggunakan akumulasi tahun 1999 – 2011.

Berdasarkan kriteria data debit maka perlu dilakukan perhitungan debit andalan (Q_{80}). Selain debit andalan (Q_{80}), penulis juga menambahkan perhitungan debit Q_{70} dan debit Q_{90} . Untuk uraian debit andalan lebih lanjut dapat dilihat pada Tabel-tabel dan grafik-grafik berikut ini:

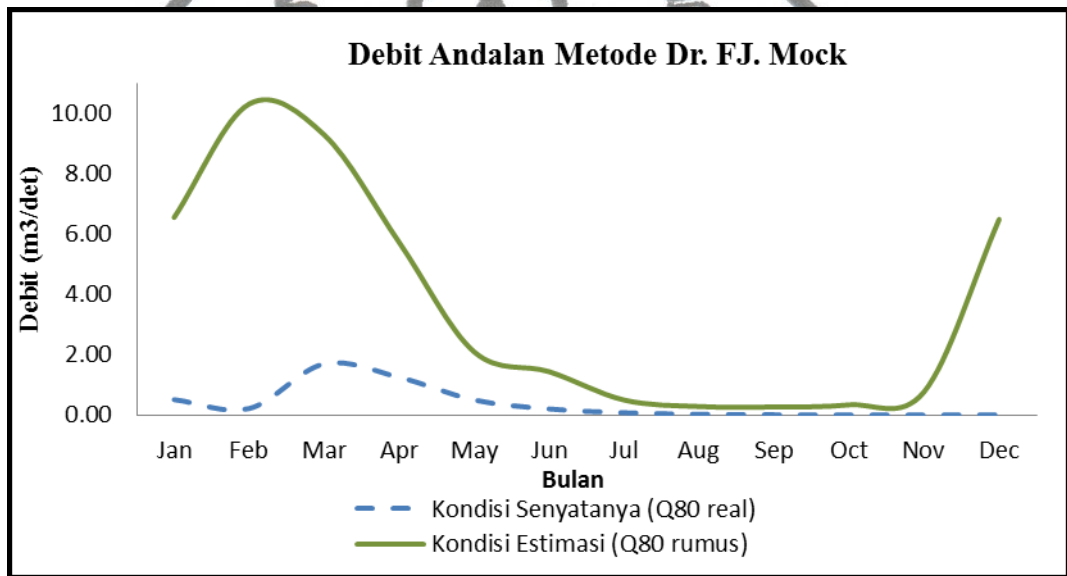


**Tabel 4.10. Debit Andalan (Q_{80}) Metode *Basic Month* DAS Tirtomoyo
Berdasar Perhitungan Debit Metode Dr. FJ. Mock**

Probabilitas	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
7,14	25,187	29,958	29,496	19,648	5,248	6,971	3,818	10,846	20,561	11,704	11,008	27,937
14,29	21,996	27,161	26,233	16,458	4,861	6,646	1,803	1,186	2,646	4,731	4,993	22,925
21,43	16,477	21,161	19,305	14,703	4,648	4,108	0,974	0,714	0,292	0,112	2,407	16,041
28,57	11,107	16,954	16,828	11,306	3,835	2,147	0,823	0,386	0,158	0,060	1,511	14,890

35,71	10,042	16,245	16,618	14,833	4,905	1,860	0,713	0,282	0,115	0,044	1,638	3,092
42,86	8,928	15,889	13,061	8,579	3,591	1,989	0,762	0,326	0,133	0,051	0,046	12,401
50,00	8,729	15,571	12,156	5,357	2,500	1,023	0,392	0,302	0,124	0,047	0,025	10,930
57,14	5,770	10,049	9,371	2,955	2,053	0,924	0,354	0,155	0,064	0,024	0,010	6,221
64,29	5,233	9,745	7,241	1,953	1,132	0,840	0,322	0,127	0,052	0,020	0,008	2,360
71,43	1,075	6,833	3,300	1,767	0,677	0,463	0,178	0,070	0,029	0,011	0,005	1,500
78,57	0,639	0,273	2,124	1,350	0,518	0,212	0,081	0,032	0,013	0,005	0,002	0,018
85,71	0,012	0,000	0,000	0,869	0,442	0,181	0,069	0,027	0,011	0,004	0,002	0,002
92,86	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Rerata	8,861	13,064	11,979	7,675	2,647	2,105	0,791	1,112	1,861	1,294	1,666	9,101
Sd	8,222	9,802	9,568	6,926	1,958	2,362	1,034	2,943	5,663	3,387	3,173	9,299
Q₈₀ (Estimasi)	6,551	10,310	9,291	5,729	2,097	1,441	0,501	0,285	0,270	0,342	0,774	6,488
Q₈₀ (Senyatanya)	0,514	0,218	1,699	1,254	0,502	0,206	0,079	0,031	0,013	0,005	0,002	0,014

Selisih 6,037 10,092 7,592 4,475 1,594 1,236 0,422 0,254 0,257 0,337 0,772 6,474



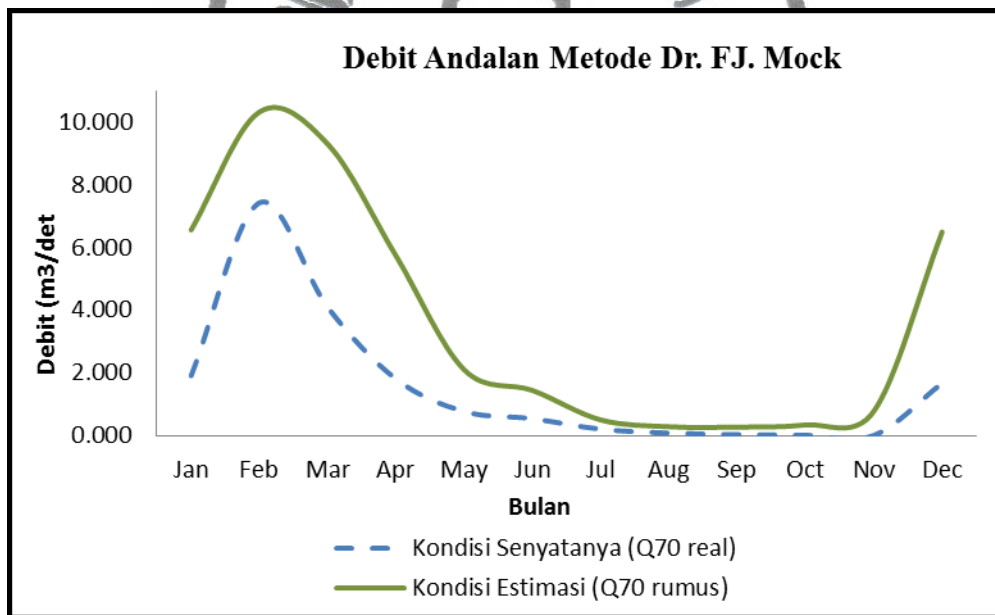
Grafik 4.1. Debit Andalan Metode Dr. FJ. Mock (Q80)

Tabel 4.11. Debit Andalan (Q₇₀) Metode *Basic Month* DAS Tirtomoyo Berdasar Perhitungan Debit Metode Dr. FJ. Mock

Probabilitas	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
7,14	25,187	29,958	29,496	19,648	5,248	6,971	3,818	10,846	20,561	11,704	11,008	27,937
14,29	21,996	27,161	26,233	16,458	4,861	6,646	1,803	1,186	2,646	4,731	4,993	22,925
21,43	16,477	21,161	19,305	14,703	4,648	4,108	0,974	0,714	0,292	0,112	2,407	16,041
28,57	11,107	16,954	16,828	11,306	3,835	2,147	0,823	0,386	0,158	0,060	1,511	14,890

35,71	10,042	16,245	16,618	14,833	4,905	1,860	0,713	0,282	0,115	0,044	1,638	3,092
42,86	8,928	15,889	13,061	8,579	3,591	1,989	0,762	0,326	0,133	0,051	0,046	12,401
50,00	8,729	15,571	12,156	5,357	2,500	1,023	0,392	0,302	0,124	0,047	0,025	10,930
57,14	5,770	10,049	9,371	2,955	2,053	0,924	0,354	0,155	0,064	0,024	0,010	6,221
64,29	5,233	9,745	7,241	1,953	1,132	0,840	0,322	0,127	0,052	0,020	0,008	2,360
71,43	1,075	6,833	3,300	1,767	0,677	0,463	0,178	0,070	0,029	0,011	0,005	1,500
78,57	0,639	0,273	2,124	1,350	0,518	0,212	0,081	0,032	0,013	0,005	0,002	0,018
85,71	0,012	0,000	0,000	0,869	0,442	0,181	0,069	0,027	0,011	0,004	0,002	0,002
92,86	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Rerata	8,861	13,064	11,979	7,675	2,647	2,105	0,791	1,112	1,861	1,294	1,666	9,101
Sd	8,222	9,802	9,568	6,926	1,958	2,362	1,034	2,943	5,663	3,387	3,173	9,299
Q70 (Estimasi)	6,551	10,310	9,291	5,729	2,097	1,441	0,501	0,285	0,270	0,342	0,774	6,488
Q₇₀ (Senyatanya)	1,906	7,416	4,088	1,804	0,768	0,539	0,206	0,082	0,033	0,013	0,005	1,672

Selisih 4,645 2,894 5,202 3,925 1,329 0,902 0,294 0,203 0,237 0,329 0,769 4,817



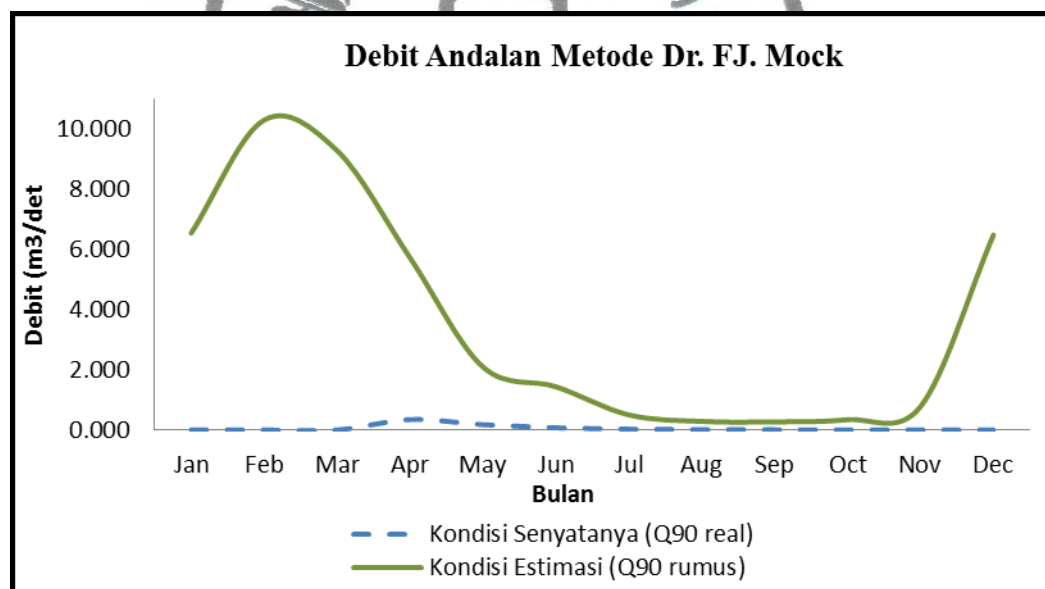
Grafik 4.2. Debit Andalan Metode Dr. FJ. Mock (Q70)

Tabel 4.12. Debit Andalan (Q₉₀) Metode *Basic Month* DAS Tirtomoyo Berdasarkan Perhitungan Debit Metode Dr. FJ. Mock

Probabilitas	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
7,14	25,187	29,958	29,496	19,648	5,248	6,971	3,818	10,846	20,561	11,704	11,008	27,937
14,29	21,996	27,161	26,233	16,458	4,861	6,646	1,803	1,186	2,646	4,731	4,993	22,925
21,43	16,477	21,161	19,305	14,833	4,905	1,860	0,713	0,282	0,115	0,044	1,638	3,092
28,57	11,107	16,954	16,828	14,703	4,648	4,108	0,974	0,714	0,292	0,112	2,407	16,041

35,71	10,042	16,245	16,618	11,306	3,835	2,147	0,823	0,386	0,158	0,060	1,511	14,890
42,86	8,928	15,889	13,061	8,579	3,591	1,989	0,762	0,326	0,133	0,051	0,046	12,401
50,00	8,729	15,571	12,156	5,357	2,500	1,023	0,392	0,302	0,124	0,047	0,025	10,930
57,14	5,770	10,049	9,371	2,955	2,053	0,924	0,354	0,155	0,064	0,024	0,010	6,221
64,29	5,233	9,745	7,241	1,953	1,132	0,840	0,322	0,127	0,052	0,020	0,008	2,360
71,43	1,075	6,833	3,300	1,767	0,677	0,463	0,178	0,070	0,029	0,011	0,005	1,500
78,57	0,639	0,273	2,124	1,350	0,518	0,212	0,081	0,032	0,013	0,005	0,002	0,018
85,71	0,012	0,000	0,000	0,869	0,442	0,181	0,069	0,027	0,011	0,004	0,002	0,002
92,86	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Rerata	8,861	13,064	11,979	7,675	2,647	2,105	0,791	1,112	1,861	1,294	1,666	9,101
Sd	8,222	9,802	9,568	6,926	1,958	2,362	1,034	2,943	5,663	3,387	3,173	9,299
Q₉₀ (Estimasi)	6,551	10,310	9,291	5,729	2,097	1,441	0,501	0,285	0,270	0,342	0,774	6,488
Q₉₀ (Senyatanya)	0,005	0,000	0,000	0,348	0,177	0,072	0,028	0,011	0,004	0,002	0,001	0,001

Selisih 6,546 10,310 9,291 5,382 1,920 1,369 0,473 0,274 0,265 0,340 0,773 6,487



Grafik 4.3. Debit Andalan Metode Dr. FJ. Mock (Q90)

4.7. Kebutuhan Air Irigasi

Neraca air (*water balance*) jaringan irigasi daerah irigasi dihitung dari kebutuhan air irigasi dengan debit andalan sungai.

Debit andalan (debit yang tersedia) dihitung dengan:

- Debit andalan dari pencatatan debit sungai normal bulanan rata-rata di lokasi bendung.

- Debit andalan dari perhitungan debit dengan Metode Mock di lokasi bendung.

Untuk debit andalan dan debit yang dibutuhkan atau grafik neraca air dapat dilihat pada lampiran grafik neraca air (*water balance*). Rencana pola tanam daerah irigasi dengan luas 4614,06 Ha.

4.7.1. Perhitungan Curah Hujan Bulanan Rata-rata

Data curah hujan yang tersedia dari tahun 1999-2011. Perhitungan curah hujan bulanan rata-rata dihitung curah hujan efektif 20% kering bulanan dengan pendekatan distribusi normal yaitu:

$$X_t = \bar{x} + k.sd$$

\bar{x} = Hujan bulanan rata-rata (Bulan Mei tahun 1999 – 2011)

$$= 63,876$$

Standart deviasi (sd) = $\sqrt{\frac{x^2 - (\sum x)^2/n}{n-1}}$, Dimana n = jumlah data

$$= 47,873$$

R80% bulanan = curah hujan efektif 20% kering bulanan (mm)

$$= \bar{x} + k.sd$$

$$= 63,876 + (-0,842) \times 47,873$$

$$= 23,567 \text{ mm}$$

R80% harian = Curah hujan efektif 20% kering harian (mm)

$$= \frac{Rs \text{ Bulanan}}{m} \quad ; m = \text{jumlah hari dalam 1 bulan}$$

$$= \frac{23,567}{31} = 0,760 \text{ mm}$$

4.7.2. Kebutuhan Air Selama Pengolahan Lahan dan Penggantian Lapisan Air

a. Penyiapan lahan untuk palawija / pengolahan tanah

- ETo = 3,53 mm/hari (diperoleh dari perhitungan Penman)
- Eo = 1,1 x ETo = 3,89 mm/hari
- P = 2,00

- $E_o + P = 3,89 + 2,00 = 5,89$
- R_h (hujan 20% kering) diambil bulan Mei = 0,76

b. Curah hujan efektif untuk palawija

- Hujan bulanan (20% kering)
Hujan bulanan (20% kering) diperoleh dari perhitungan curah hujan efektif bulanan rata – rata, misalkan pada bulan Mei = 23,57 mm/bulan.
- E_t crop rata – rata bulanan
Nilai E_{tc} rata – rata bulanan diperoleh dengan rumus $E_{tc} = E_{to} \times c \times n$.
Misal: Bulan Mei mempunyai $E_{tc} = 125,95$ mm/bulan.
- Faktor tampungan
Nilai faktor tampungan diperoleh berdasarkan tabel faktor tampungan (KP-01). Nilai faktor tampungan diambil berdasarkan nilai E_{tc} rata – rata bulanan, misalkan bulan Mei faktor tampungannya 1,06.
- Hujan efektif bulanan
Nilai hujan efektif bulanan diperoleh dari tabel faktor koreksi tanaman yang mengacu pada E_{tc} rata – rata bulanan dan curah hujan bulanan rata – rata dengan cara interpolasi.
Misalkan pada bulan Mei hujan efektif bulanan = 55,88 mm.
- Koreksi hujan efektif
Nilai koreksi hujan efektif diperoleh dengan mengalikan nilai faktor tampungan dengan hujan efektif bulanan.
Misalkan pada bulan Mei koreksi hujan efektif = $1,06 \times 55,88 = 59,23$ mm.
- R_e (curah hujan efektif)
Nilai R_e diperoleh dengan cara membagi nilai koreksi hujan efektif dengan jumlah hari dalam satu bulan.
Misalkan pada bulan Mei $R_e = 59,23/31 = 1,91$ mm/hari.

4.7.3. Kebutuhan Air Irigasi untuk Padi dengan Sistem Satu (1) Golongan

a. E_{to} = Nilai E_{to} diperoleh dari perhitungan Penman.

Misalkan pada bulan Mei $E_{to} = 3,53$

b. $E_o = 1,1 \times E_{to}$

$$= 1,1 \times 3,53$$

$$= 3,89 \text{ mm/hari}$$

c. $P =$ Nilai P digunakan sebesar 2,0 mm/hari

d. $E_o + P = 3,89 + 2,0$

$$= 5,89 \text{ mm/hari}$$

e. $R_h =$ Nilai hujan 20% kering untuk hujan harian, nilai $R_h = 0,76 \text{ mm/hari}$

f. Faktor hujan dengan 1 golongan (F_h)

Nilai F_h diperoleh berdasarkan tabel faktor hujan untuk 1 golongan, misalkan pada bulan Mei :

1. $0,36 \times 0,76 = 0,27 \text{ mm/hari}$

2. $0,70 \times 0,76 = 0,53 \text{ mm/hari}$

3. $0,40 \times 0,76 = 0,30 \text{ mm/hari}$

4. $0,40 \times 0,76 = 0,30 \text{ mm/hari}$

5. $0,40 \times 0,76 = 0,30 \text{ mm/hari}$

6. $0,40 \times 0,76 = 0,30 \text{ mm/hari}$

7. $0,40 \times 0,76 = 0,30 \text{ mm/hari}$

8. $0 \times 0,76 = 0 \text{ mm/hari}$

g. Koefisien tanaman (K_c)

Nilai K_c diperoleh berdasarkan tabel koefisien tanaman untuk padi, nilai K_c digunakan untuk menghitung nilai E_{tc} , misalkan pada bulan Mei :

1. $1,20 \times 3,53 = 4,24 \text{ mm/hari}$

2. $1,27 \times 3,53 = 4,49 \text{ mm/hari}$

3. $1,33 \times 3,53 = 4,70 \text{ mm/hari}$

4. $1,30 \times 3,53 = 4,59 \text{ mm/hari}$

5. $1,15 \times 3,53 = 4,06 \text{ mm/hari}$

6. $0,00 \times 3,53 = 0,00 \text{ mm/hari}$

h. Pengolahan tanah minggu ke 1

LP yaitu kebutuhan air untuk penjemuran, menggunakan tabel zylstra 250 mm dengan mengacu pada $E_o + p$, misalkan pada bulan Mei nilai LP diperoleh 12,00.

$$\begin{aligned} LP - Re.1 &= 12,00 - 0,27.1 &= 11,73 \text{ mm/hari} \\ A \times 0,116 &= 11,73 \times 0,116 &= 1,36 \text{ Lt/detik/ha} \end{aligned}$$

i. Pengolahan tanah 2 minggu ke dua

$$\begin{aligned} LP - Re \text{ ke.2} &= 12,00 - 0,53 &= 11,47 \text{ mm/hari} \\ A \times 0,116 &= 11,47 \times 0,116 &= 1,33 \text{ Lt/detik/ha} \end{aligned}$$

j. Kebutuhan air dua minggu pertama

$W = 3,33 \text{ mm/hari}$, adalah nilai untuk penggantian lapisan air sebanyak 50mm selama dua minggu.

$$\begin{aligned} \text{Etc.1} - Re.3 + p + w &= 4,24 - 0,30 + 2,0 + 3,33 = 9,27 \text{ mm/hari} \\ A \times 0,116 &= 9,27 \times 0,116 = 1,07 \text{ lt/detik/ha} \end{aligned}$$

k. Kebutuhan air dua minggu kedua

$$\begin{aligned} \text{Etc.2} - Re.4 + p + w &= 4,49 - 0,30 + 2,0 + 3,33 = 9,51 \text{ mm/hari} \\ A \times 0,116 &= 9,51 \times 0,116 = 1,10 \text{ lt/detik/ha} \end{aligned}$$

l. Kebutuhan air minggu ketiga

$$\begin{aligned} \text{Etc.3} - Re.5 + p + w &= 4,70 - 0,30 + 2,0 + 3,33 = 9,72 \text{ mm/hari} \\ A \times 0,116 &= 9,72 \times 0,116 = 1,13 \text{ lt/detik/ha} \end{aligned}$$

m. Kebutuhan air minggu ke empat

$$\begin{aligned} \text{Etc.4} - Re.6 + p + w &= 4,59 - 0,30 + 2,0 + 3,33 = 9,62 \text{ mm/hari} \\ A \times 0,116 &= 9,62 \times 0,116 = 1,12 \text{ lt/detik/ha} \end{aligned}$$

n. Kebutuhan air minggu kelima

$$\begin{aligned} \text{Etc.5} - Re.7 + p + w &= 4,06 - 0,30 + 2,0 + 3,33 = 9,09 \text{ mm/hari} \\ A \times 0,116 &= 9,09 \times 0,116 = 1,05 \end{aligned}$$

o. Kebutuhan air minggu ke enam

$$\begin{aligned} \text{Etc.6} - Re.8 + p + w &= 0,00 - 0,00 + 2,0 + 3,33 = 5,33 \text{ mm/hari} \\ A \times 0,116 &= 5,33 \times 0,116 = 0,62 \text{ lt/detik/ha} \end{aligned}$$

4.7.4. Kebutuhan Air Irigasi untuk Tanaman Palawija (Jagung)

a. $E_o = E_t \times 1,1 = 3,53 \times 1,1 = 3,89 \text{ mm/hari}$

b. Re terkoreksi (Re.t)

commit to user

Nilai $Re.t$ diperoleh pada perhitungan hujan efektif palawija, misalkan pada bulan Mei $Re = 1,91$ mm/hari.

- Evapotranspirasi tanam (Etc)

Nilai Etc diperoleh dengan mengalikan nilai Kc (dari tabel koefisien tanaman untuk palawija jenis jagung) dengan nilai Eo , misalkan pada bulan Mei :

$$Etc = Kc \times Eo \times 1,15$$

$$1. \quad 0,50 \times 3,89 \times 1,15 = 2,23 \text{ mm/hari}$$

$$2. \quad 0,59 \times 3,89 \times 1,15 = 2,64 \text{ mm/hari}$$

$$3. \quad 0,96 \times 3,89 \times 1,15 = 4,29 \text{ mm/hari}$$

$$4. \quad 1,05 \times 3,89 \times 1,15 = 4,69 \text{ mm/hari}$$

$$5. \quad 1,02 \times 3,89 \times 1,15 = 4,56 \text{ mm/hari}$$

$$6. \quad 0,95 \times 3,89 \times 1,15 = 4,25 \text{ mm/hari}$$

- Pengolahan tanah 50 mm selama dua minggu

IR diperoleh dari hasil perhitungan air selama pengolahan tanah untuk palawija misalkan pada bulan Mei $IR = 6,73$ mm/hari

$$IR - R.t = 6,73 - 1,91 = 4,82 \text{ mm/hari}$$

$$A \times 0,116 = 4,82 \times 0,116 = 0,56 \text{ lt/det/ha}$$

- Kebutuhan air dua minggu ke Satu

$$Etc.1 - Re.t = 2,23 - 1,91 = 0,32 \text{ mm/hari}$$

$$A \times 0,116 = 0,32 \times 0,116 = 0,04 \text{ lt/det/ha}$$

- Kebutuhan air dua minggu kedua

$$Etc.2 - Re.t = 2,64 - 1,91 = 0,73 \text{ mm/hari}$$

$$A \times 0,116 = 0,73 \times 0,116 = 0,08 \text{ lt/det/ha}$$

- Kebutuhan air dua minggu ketiga

$$Etc.3 - Re.t = 4,29 - 1,91 = 2,38 \text{ mm/hari}$$

$$A \times 0,116 = 3,16 \times 0,116 = 0,28 \text{ lt/det/ha}$$

- Kebutuhan air dua minggu keempat

$$Etc.4 - Re.t = 4,69 - 1,91 = 2,78 \text{ mm/hari}$$

$$A \times 0,116 = 3,54 \times 0,116 = 0,32 \text{ lt/det/ha}$$

- Kebutuhan air dua minggu kelima

$$Etc.5 - Re.t = 4,56 - 1,91 = 2,65 \text{ mm/hari}$$

$$A \times 0,116 = 3,41 \times 0,116 = 0,31 \text{ lt/det/ha}$$

- Kebutuhan air dua minggu keenam

$$\text{Etc.6} - \text{Re.t} = 4,25 - 1,91 = 2,33 \text{ mm/hari}$$

$$A \times 0,116 = 3,11 \times 0,116 = 0,27 \text{ lt/det/ha}$$

4.7.5. Realisasi Pola Tanam yang Ada untuk Bulan Februari

- Luas tanam = 4614,06 Ha
- Pola dan kalender tanam memakai jenis tanaman padi – padi – palawija
- Kebutuhan air dipetak sawah 0,60 lt/det/ha nilai ini diperoleh dari setengah bulan kering dan setengah bulan pengolahan tanah padi.
- Debit kebutuhan air dipetak sawah = $2,77 \text{ m}^3/\text{detik}$, diperoleh dengan mengkonversikan satuan lt/det/ha menjadi m^3/detik .
- Kebutuhan air disaluran tersier = 0,71 lt/det/ha nilai diperoleh dengan mengalikan koefisien saluran tersier 1,18 dengan nilai kebutuhan air dipetak sawah = 0,60 lt/det/ha.
- Kebutuhan air disaluran sekunder = 0,84 lt/det/ha, nilai diperoleh dengan mengalikan koefisien saluran sekunder 1,18 dengan kebutuhan air disaluran tersier = 0,71 lt/det/ha.
- Kebutuhan air di saluran primer = 0,93 lt/det/ha, nilai diperoleh dari hasil perkalian koefisien saluran primer = 1,11 dengan kebutuhan air di saluran sekunder = 0,84 lt/det/ha.
- Debit kebutuhan air untuk 1 golongan disalurkan primer = $4,28 \text{ m}^3/\text{det}$, nilai diperoleh dengan mengkonversikan satuan lt/det/ha menjadi m^3/det pada kebutuhan air disaluran primer.
- Debit andalan = $10,31 \text{ m}^3/\text{det}$, nilai diperoleh dari perhitungan debit andalan Metode F.J.Mock.
- Keandalan =
$$\frac{\text{Debit andalan } (\text{m}^3/\text{det})}{\text{debit kebutuhan air disaluran primer } (\text{m}^3/\text{det})} \times 100\%$$

$$= 100\%$$

commit to user

(apabila nilai keandalan > 100, maka diambil keandalan 100%).

4.7.6. Perhitungan Pola Tanam yang Ada

1. Pola tanam yang ada adalah Padi - Padi - Palawija (jagung).
2. Pada bulan Februari dilakukan pengeringan tepatnya 15 hari pertama.
3. Penanaman padi musim tanam I dimulai bulan Februari 15 hari ke-2 s/d bulan Maret 15 hari ke-1.
4. Penanaman padi musim tanam II dimulai bulan Juni 15 hari ke-2 s/d bulan Juli 15 hari ke-1.
5. Penanaman padi musim tanam III dimulai bulan Oktober 15 hari ke-1 s/d 15 bulan Oktober 15 hari ke-2.
6. Pertumbuhan padi memakan waktu 6 x 15 hari (3 bulan).

Dari perhitungan pola tanam yang ada, didapat :

Misal: Bulan Februari

- Kebutuhan air di saluran primer = $4,28 \text{ m}^3/\text{dt}$
- Debit andalan (Q80) = $10,31 \text{ m}^3/\text{dt}$
- Keandalan = 100%

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan yang dilakukan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari perhitungan dengan Metode Mock, didapat bahwa ketersediaan air yang paling besar terdapat pada bulan Februari, dengan hasil sebagai berikut:
 - Kebutuhan air di saluran primer = $4,28 \text{ m}^3/\text{dt}$
 - Debit andalan (Q_{80}) = $10,31 \text{ m}^3/\text{dt}$
 - Keandalan = 100%
2. Dalam analisa seperti pada perhitungan dengan melihat luas areal yang telah dihitung, kebutuhan air di saluran primer dengan debit andalan yang tersedia telah mengalami kekurangan air (defisit) pada bulan April hingga November.

5.2. Saran

Penelitian ini merupakan penelitian awal untuk analisis neraca air dengan Metode Mock, sehingga masih bisa untuk dikembangkan lebih jauh. Dalam analisa neraca air yang ada pada Tugas Akhir ini terbatas pada lingkup bahasan yang diambil, oleh karena itu perlu adanya tinjauan lebih lanjut untuk memperluas pengetahuan dan teknologi. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, maka penulis perlu menyampaikan saran-saran sebagai berikut :

1. Dalam analisa ketersediaan air memerlukan data dari stasiun hujan setempat, jadi perlu diperhatikan data hujan yang rusak atau kosong.
2. Perlu adanya ketelitian dalam perhitungan, terutama pada perhitungan debit andalan dan pengukuran lahan pertanian yang ada.

3. Memperhatikan daerah tangkapan hujan yang ada dengan batas daerah irigasi yang dimanfaatkan.
4. Memperhatikan penempatan pencatat data hujan agar tidak terjadi kesalahan dalam perhitungan kebutuhan air yang diperlukan dengan ketersediaan air yang ada.
5. Melakukan observasi langsung terhadap data-data yang menjadi asumsi dalam penelitian ini.
6. Melihat dari perhitungan yang ada, maka di Stasiun Balong, Tirtomoyo, dan Ngancar diperlukan adanya pembangunan sebuah bendungan (waduk) guna untuk memenuhi kebutuhan air khususnya untuk pertanian.
7. Jika masih terdapat kekurangan pasokan air, dapat dengan mengalirkan air dari beberapa sungai disekitarnya untuk menutup kekurangan tersebut.

