

PENINGKATAN KINERJA OPERASI PADA WADUK WONOGIRI

*Improving The Reservoir Operation Performance of
Wonogiri Dam*

TUGAS AKHIR

Disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar sarjana teknik pada Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret



Oleh :

FEBRY ASTHIA MIRANTI

NIM : I 0105077

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
Contributing to society
2010

PENINGKATAN KINERJA OPERASI PADA WADUK WONOGIRI

*Improving The Reservoir Operation Performance of
Wonogiri Dam*



TUGAS AKHIR

Telah disetujui untuk dipertahankan dihadapan tim penguji pendadaran
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

Disetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

commit to user

Prof. DR. Ir. Sobriyah, MS
NIP 19480422 198503 2 001

Ir. Agus Hari Wahyudi, MSc
NIP 19630822 198903 1 002

PENINGKATAN KINERJA OPERASI PADA WADUK WONOGIRI

*Improving The Reservoir Operation Performance of
Wonogiri Dam*



Telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Pendaran Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Hari : Rabu
Tanggal : 3 Maret 2010

1. Prof. DR. Ir. Sobriyah, MS
NIP. 19480422 198503 2 001
2. Ir. Agus Hari Wahyudi, MSc
NIP. 19630822 198903 1 002
3. Ir. Susilowati, Msi
NIP. 19480610 198503 2 001
4. Ir. Solichin, MT
NIP. 19600110 198803 1 002

Mengetahui
a.n Dekan Fakultas Teknik UNS
Pembantu Dekan I

Disahkan oleh
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik UNS

commit to user

Ir. Noegroho Djarwanti, MT
NIP. 19561112 198403 2 007

Ir. Bambang Santosa, MT
NIP. 19590823 198601 1 001

MOTTO

tersenyum jika kau bahagia

PERSEMBAHAN



commit to user

ABSTRAK

Febry Asthia Miranti, 2010, PENINGKATAN KINERJA OPERASI PADA WADUK WONOGIRI, Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

Aliran sedimen yang masuk bersama aliran air ke dalam waduk mengakibatkan berkurangnya kapasitas tampungan efektif air di waduk, sehingga air yang seharusnya dapat tertampung di waduk langsung melimpas melalui spillway. Hal ini dapat menyebabkan berkurangnya kemampuan waduk untuk mengairi daerah layanannya. Berdasarkan kondisi ini maka diperlukan analisis optimasi kapasitas dan analisis operasi waduk yang sesuai dengan keadaan aktual saat ini. Maksud dan tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya keandalan debit inflow yang masuk ke tampungan Waduk Wonogiri, menemukan pola operasi Waduk Wonogiri, serta mendapatkan alternatif penerapan pola pemberian air irigasi dengan melihat kondisi tampungan waduk yang berkurang akibat adanya sedimentasi pada saat ini dan di masa yang akan datang.

Tahapan penelitian meliputi: perhitungan debit inflow andalan waduk, perhitungan kebutuhan air serta simulasi pola operasi waduk. Simulasi pola operasi yang dilakukan akan menghasilkan faktor koreksi kebutuhan air irigasi (faktor K). Pemberian air dilakukan secara rotasi/giliran jika faktor $K < 0,75$

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa debit *inflow* andalan rata-rata waduk wonogiri adalah sebesar $13,59 \text{ m}^3/\text{dt}$. Dengan pola operasi yang dilakukan didapatkan bahwa waduk wonogiri tidak mampu mengairi seluruh kebutuhan irigasi di hilirnya. Faktor- K rata-rata yang di dapatkan dari operasi waduk adalah sebesar 40 % sehingga perlu dilakukan rotasi antar petak tersier.

Kata kunci : debit andalan , pola operasi, faktor K, rotasi.

ABSTRACT

Febry Asthia Miranti, 2010, IMPROVING THE RESERVOIR OPERATION PERFORMANCE OF WONOGIRI DAM, Script, Civil Engineering Faculty Of Engineering, Sebelas Maret University, Surakarta.

The sedimentation which is entering dam to the reservoir cause reduction of reservoir effective storage, so that water directly spill out. This case will decreasing irrigation usefull. The analyse of optimization and dam operation needed to face this recently condition. The objection of this research paper is to analizing dependable flow or water supply from river basin, knowing simulation pattern of dam, and getting calculation of irrigation water requirement up to reservoir.

The research methodology is consist of: Calculation of dependable flow, calculation of irrigatin water requirement up to reservoir/simulation. Base on simulation of reservoir operation, the correction of water distribution (factor K) will be known. Water distribution will be applied by rotation if water balance value (factor K) less than 75%.

The research result indicates that average inflow of Wonogiri's reservoir is 13,59 m³/dt. Base on simulation of reservoir operation the dams reservoir can not supply all of irrigation demand. The correction of water distribution value (factor K) is 40 % so that the water distribution rotation will be applied on tertiary level.

Key word: dependable flow, operation dam, factor K, rotation.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah penulis panjatkan puji syukur kehadirat ALLAH SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahNYA sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Penyusunan skripsi dengan judul “*Peningkatan Kinerja Operasi pada Waduk Wonogiri*” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

Proses penyusunan skripsi ini tidak bisa lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penyusun menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Sobriyah MS, selaku Dosen Pembimbing Skripsi I.
2. Ir. Agus Hari W, MSc., selaku Dosen Pembimbing Skripsi II.
3. Yosael Ariano dan Duhita Atitami selaku rekan peminatan Keairan.
4. Rekan-rekan di Lab Hidro.
5. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil angkatan 2005.
6. Semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu .

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan keterbatasan ilmu dalam penyusunan skripsi ini, oleh karena itu penulis berharap dengan kekurangan dan keterbatasan itu, skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penyusun khususnya dan pembaca pada umumnya.

Surakarta, Februari 2010

commit to user

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	
2.1. Tinjauan Pustaka	4
2.2. Landasan Teori	13
2.2.1. Rata-rata Hujan Wilayah	15
2.2.2. Evaporasi.....	16
2.2.3. Debit Aliran	18
2.2.4. Debit Andalan	20
2.2.5. Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi	21
2.2.6. Pola Operasi Waduk	27
2.2.7. Koreksi Kebutuhan Air Irigasi	28

2.2.8. Hasil Pertanian	28
2.2.9. Sistem Operasi Pemberian Air Irigasi	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Pemilihan Lokasi Penelitian.....	32
3.2. Pengumpulan Data	33
3.2.1. Data Teknis Waduk Wonogiri	33
3.2.2. Data Elevasi-Volume Waduk Wonogiri	33
3.2.3. Data <i>Inflow</i>	33
3.2.4. Data Hujan	33
3.2.5. Data Klimatologi.....	34
3.2.6. Data Pola Tanam dan Luas Areal Daerah Irigasi yang Dilayani oleh Waduk Wonogiri.....	34
3.2.7. Data Alokasi Pemanfaatan Waduk Wonogiri	34
3.3. Analisis Data	35
3.3.1. Analisis Curah Hujan.....	35
3.3.2. Analisis Evapotranspirasi.....	36
3.3.3. Analisis Debit Andalan	36
3.3.4. Analisis Kebutuhan Air Irigasi	37
3.3.5. Analisis Operasi dan Koreksi Kebutuhan Air Irigasi	37
3.3.6. Analisis Hasil Pertanian	37
3.3.7. Analisis Optimasi Pemberian Air	38
3.4. Diagram Alir Metode Penelitian	38
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1. Hasil Analisis Data	40
4.1.1. Analisis Curah Hujan	40
4.1.2. Analisis Evapotranspirasi	43
4.1.3. Analisis Debit Aliran	47
4.1.4. Analisis Debit Andalan	49
4.1.5. Analisis Kebutuhan Air Irigasi	52
4.1.6. Analisis Operasi dan Keseimbangan Air Waduk.....	63
4.1.7. Analisis Hasil Pertanian.....	66
4.1.8. Analisis Pemberian Air	68

4.2. Pembahasan	69
4.2.1. Debit Andalan	69
4.2.2. Operasi Waduk	69
4.2.3. Pemberian Air	70
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	71
5.2. Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA	xviii
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Data hubungan elevasi-luas tahun 1980 dan 2004.....	5
Tabel 2.2.	Data hubungan elevasi volume tahun 1980 dan 2005	6
Tabel 2.3.	Kapasitas Waduk Wonogiri yang hilang antara tahun 1980 dan 2005	8
Tabel 2.4.	Alokasi penggunaan air Waduk Wonogiri.....	9
Tabel 2.5.	Data curah hujan yang dibutuhkan.....	12
Tabel 2.6.	Kehilangan air irigasi	12
Tabel 2.7.	Kebutuhan air irigasi selama pengolahan lahan.....	24
Tabel 2.8.	Harga – harga koefisien tanaman padi.....	25
Tabel 2.9.	Harga – harga koefisien tanaman palawija	25
Tabel 2.10.	Koefisien tanaman untuk padi & palawija menurut NEDESCO/PROSIDA.....	26
Tabel 2.11.	Pola pemberian air berdasarkan kriteria faktor K	30
Tabel 2.12.	Teknis pemberian air pada saluran primer, sekunder, dan tersier berdasarkan kriteria faktor K	31
Tabel 4.1.	Data rata–rata hujan kawasan di DAS Waduk Wonogiri pada bulan Januari I tahun 1989	40
Tabel 4.2.	Data rata – rata hujan kawasan di Daerah Irigasi Colo Timur pada bulan Januari tahun 1990 - 2005	41
Tabel 4.3.	Data rata–rata hujan kawasan di Daerah Irigasi Colo Timur pada bulan Januari tahun 1991-2008	43
Tabel 4.4.	Data evapotranspirasi di DAS Waduk Wonogiri pada bulan Januari I tahun 1989 - 2005.....	44
Tabel 4.5.	Hasil perhitungan evapotranspirasi di daerah irigasi (mm/hari)	46
Tabel 4.6.	Data debit inflow menggunakan Metode Mock bulan Januari tahun 1989-2008 <i>commit to user</i>	49

Tabel 4.7.	Data debit inflow menggunakan Metode Mock bulan Januari tahun 1989-2008 diurutkan dari terbesar hingga terkecil	49
Tabel 4.8.	Debit andalan dari berbagai macam metode perhitungan (m^3/dt)	50
Tabel 4.9.	Curah hujan efektif (mm/hari)	54
Tabel 4.10.	Kebutuhan air untuk penyiapan lahan (mm/hari)	56
Tabel 4.11.	Penggunaan konsumtif tanaman (mm/hari)	57
Tabel 4.12.	Luas areal irigasi (ha).....	59
Tabel 4.13.	Kebutuhan air di sawah (lt/dt/ha)	60
Tabel 4.14.	Kebutuhan air irigasi (m^3/dt)	62
Tabel 4.15.	Faktor koreksi kebutuhan air irigasi (K) dari pola operasi sesuai ketentuan.....	65
Tabel 4.16.	Faktor koreksi kebutuhan air irigasi (faktor K) dari alternatif dengan faktor K yang seragam.....	66
Tabel 4.17.	Hasil pertanian dari pola operasi waduk sesuai ketentuan (ton).....	67
Tabel 4.18.	Hasil pertanian dari alternatif dengan faktor K yang seragam (ton).....	67
Tabel 4.19.	Faktor koreksi kebutuhan air irigasi (faktor K).....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kurva hubungan elevasi, luas genangan dan volume Waduk Wonogiri	5
Gambar 2.2. Pembagian zona volume waduk.....	9
Gambar 2.3. Sketsa pola operasi Waduk Wonogiri	11
Gambar 2.4. Siklus hidrologi	13
Gambar 3.1. Peta lokasi penelitian	32
Gambar 3.2. Diagram alir metode penelitian	39
Gambar 4.1. Debit <i>inflow</i> andalan	51
Gambar 4.2. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan	56
Gambar 4.3. Penggunaan konsumtif tanaman rata – rata (mm/hari)	58
Gambar 4.4. Kebutuhan air di Bendung Colo (m^3/dt)	62
Gambar 4.5. Faktor koreksi kebutuhan air irigasi (faktor <i>K</i>) dari pola operasi waduk sesuai ketentuan (%)	65
Gambar 4.6. Faktor koreksi kebutuhan air irigasi (faktor <i>K</i>) dari alternatif dengan faktor <i>K</i> yang seragam (%)	66

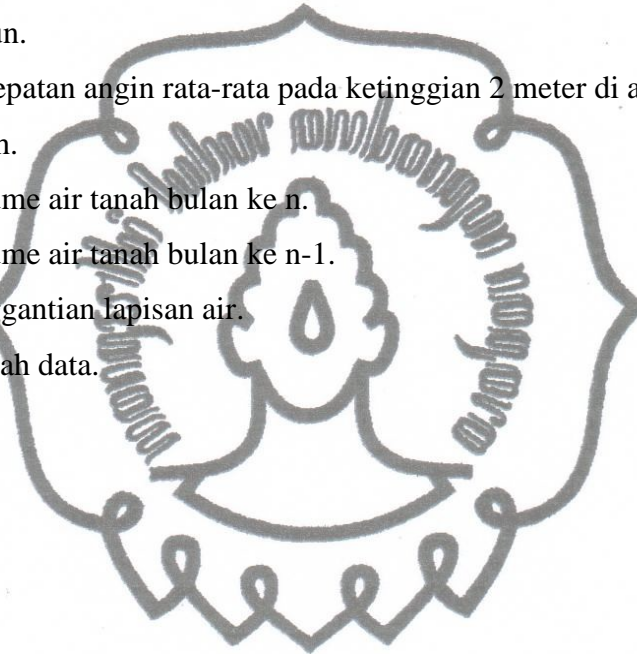
DAFTAR NOTASI

%	= Persen.
Δ	= Kemiringan tangen dari lengkung tekanan uap jenuh udara pada suhu udara rata-rata.
γ	= Koefisien psychrometer.
ΔS	= Perubahan kandungan air tanah.
ΔV_n	= Perubahan volume aliran air tanah.
a,b	= Konstanta yang tergantung letak suatu tempat diatas bumi.
bln	= Bulan.
CWL	= Control water level.
dt	= Detik.
ea	= Tekanan uap jenuh rata-rata.
ed	= Tekanan jenuh uap air diudara dalam mmHg.
El.	= Elevasi.
Ea	= Parameter dari aliran uap.
Et	= Evapotranspirasi terbatas.
Eo	= Evapotranspirasi tanaman acuan.
Eto	= Evapotranspirasi potensial.
Eva	= Evaporasi
ETc	= Kebutuhan air tanaman (consumptive use).
FWL	= Flood water level.
h	= Kelembaban relatif.
H	= Jumlah energi tersisa yang masih tertinggal di bumi (heat budget).
ha	= Hektar.
i	= Infiltrasi.
ltr	= Liter.
Ir	= Kebutuhan air untuk pengolahan lahan.
Is	= Initial storage.
k	= Faktor resesi aliran air tanah.

commit to user

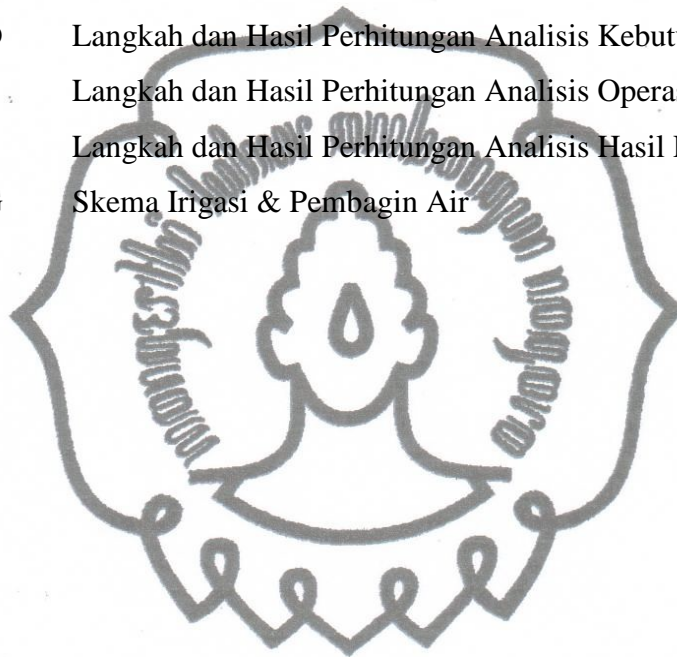
K	= Keseimbangan air.
Kc	= Koefisien tanaman.
K _f	= Faktor frekuensi.
Km ²	= Kilometer persegi.
LWL	= Lower water level.
m	= Meter.
m _L	= Prosentase lahan yang tidak tertutup vegetasi ditaksir dari peta tata guna lahan.
M	= Kebutuhan air untuk mengganti kehilangan akibat evaporasi dan perkolasi di sawah yang sudah dijenuhkan.
m ³	= Meter kubik.
mm	= Milimeter.
m _n	= Nomor urut data.
MT	= Masa tanam.
MW	= Mega watt.
n	= Lamanya kecerahan sinar matahari yang tidak terhalang awan dalam satu hari (hr).
NFR	= Kebutuhan bersih air di sawah.
$\frac{n}{N}$	= Rasio keawanan; Prosentase penyinaran matahari yang dimungkinkan secara maksimum.
NWL	= Normal water level.
PLTA	= Pembangkit listrik tenaga air.
P _(%)	= Probabilitas kejadian.
P _k	= Perkolasi.
Q	= Debit.
q ₀	= Aliran air tanah pada awal bulan ke (n-1).
q _t	= Aliran air tanah pada waktu t (bulan ke t).
r	= Koefisien pemantulan.
R ₈₀	= Hujan dengan probabilitas 80 persen.
RA	= Radiasi angot; Nilai angka untuk radiasi maksimal.
RB	= Radiasi yang dipantulkan kembali.
Re	= Curah hujan efektif.

- Re.t = Curah hujan efektif terkoreksi
- RI = Radiasi gelombang pendek netto.
- Sd = Standart deviasi.
- S = Air yang dibutuhkan untuk penjemuran ditambah dengan 50 mm.
- t = Temperatur
- T = Lamanya penyiapan lahan.
- Ta = Suhu absolute; Suhu udara dalam kelvin.
- Ta⁴ = Radiasi benda hitam stefen-boltzam.
- thn = Tahun.
- U₂ = Kecepatan angin rata-rata pada ketinggian 2 meter di atas permukaan tanah.
- V_n = Volume air tanah bulan ke n.
- V_{n-1} = Volume air tanah bulan ke n-1.
- W = Penggantian lapisan air.
- x = Jumlah data.



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Kelengkapan Administrasi
Lampiran B	Inventarisasi Data
Lampiran C	Langkah dan Hasil Perhitungan Analisis Debit Andalan
Lampiran D	Langkah dan Hasil Perhitungan Analisis Kebutuhan Air Irigasi
Lampiran E	Langkah dan Hasil Perhitungan Analisis Operasi Waduk
Lampiran F	Langkah dan Hasil Perhitungan Analisis Hasil Pertanian
Lampiran G	Skema Irigasi & Pembagi Air



commit to user

DAFTAR PUSTAKA

- Agus Hari Wahyudi. 2008. *Modul Kuliah Irigasi dan Bangunan Air*. Surakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Universitas Sebelas Maret.
- Bambang Triatmodjo. 2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset: Yogyakarta.
- C.D. Soemarto. 1986. *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional: Jakarta.
- Decky Trinanda A. 2008. *Optimasi Peninggian Bendungan Serbaguna Wonogiri*. Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Heriyanto. 2003. *Analisis Penataan Pola Tanam dan Optimasi Pemberian Air pada Daerah Irigasi Bendung Dumpil Kabupaten Grobogan*. Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Jentgen, L. et all. 2005. *Optimal Reservoir Operation Policies Using Genetic Algorithm*. Journal American Water Works Association
- Mamok Soeprapto R. 2000. *Hidrologi*. Buku Pegangan Kuliah. Surakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Universitas Sebelas Maret.
- Mathur, Y. P. & S. J. Nikam. 2009. *Optimal Reservoir Operation Policies Using Genetic Algorithm*. International Journal of Engineering and Technology Vol. 1, No. 2, June, 2009.
- McCartney, Matthew P. 2007. *Decision Support Systems for Large Dam Planning and Operation in Africa*. Journal International Water Management Institute.
- Perum Jasa Tirta I & Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret. 2008. *Laporan Penelitian Studi Optimasi Kapasitas Waduk Wonogiri di Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah*.
- Radhi Sinaryo dan Iskandar A. Yusuf. 1987. *Perhitungan Simulasi Debit Sungai Cara Mock untuk Menaksir Debit Andalan*. Makalah HATHI, Pertemuan Ilniah Tahunan IV. Semarang.
- Rudi Azuan. 2009. *Peningkatan Kinerja Operasi Waduk dengan Cara Rotasi Pemberian Air pada Daerah Irigasi Way Jepara, Lampung*. Tesis, Magister Teknik Sipil, Konsentrasi Teknik Rehabilitasi dan Pemeliharaan Bangunan

Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Sebelas Maret Surakarta,
Surakarta.

Sudiwaluyo. 2007. *Rekayasa Optimasi Waduk Gedangkulut*. Jurnal Teknologi dan
Rekayasa Sipil.

Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Andi Offset:
Yogyakarta.

Suyono Sastrodarsono. 1993. *Hidrologi untuk Pengairan*. Cetakan Ketujuh, PT.
Pradnya Pramita: Jakarta.

Tim Koordinasi Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Bengawan Solo.
2009. *Pola Operasi Waduk Wonogiri Masa Tanam Tahun 2008-2009*.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Bendungan Serbaguna Wonogiri terletak di Desa Wuryorejo Kabupaten Wonogiri Propinsi Jawa-Tengah. Bendungan ini selesai dibangun pada 29 Desember 1980 dan mulai diisi satu tahun kemudian.

Bendungan Serbaguna Wonogiri berfungsi sebagai pengendalian banjir, penyedia air baku untuk irigasi dan industri, pembangkit listrik tenaga air, pariwisata, dan perikanan dengan daerah aliran sungai (DAS) seluas 1350 km². Manfaat dari waduk telah dirasakan oleh masyarakat lebih dari 25 tahun masa operasinya, namun sejalan dengan usia pelayanannya fungsi-fungsi infrastruktur di atas ada kecenderungan semakin menurun akibat sedimentasi waduk. Berdasarkan data studi Tim JICA pada tahun 2004/2005 sekitar 114 juta m³ atau 16% dari total volume tampungan 730 juta m³ hilang akibat sedimentasi dari tahun 1980 hingga 2005. Hal ini mengakibatkan berkurangnya suplai air untuk mencukupi kebutuhan masyarakat.

Kondisi berkurangnya ketersediaan air sudah menjadi persoalan yang cukup sulit pada saat ini, terlebih pada masa yang akan datang. Hal ini masih menjadi persoalan utama dan belum ada cara pasti yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah ini. Perubahan tata guna lahan di daerah hulu waduk akan berimbas pada meningkatnya jumlah sedimen yang masuk ke waduk.

Volume sedimen yang masuk ke waduk akan mengurangi kapasitas tampungan air terutama pada musim penghujan, sehingga air yang masuk waduk tidak dapat ditampung namun akan langsung melimpas melalui *spillway*. Proses inilah yang berpotensi merugikan fungsi waduk itu sendiri. Kondisi ini perlu disiasati dengan cara operasi pemberian air yang tepat. Pada kondisi ketersediaan air yang terbatas,

commit to user

diharapkan air dapat digunakan secara efisien dan mampu mengairi areal persawahan pada daerah irigasinya secara optimal.

1.2. Rumusan Masalah

Atas pertimbangan hal-hal yang telah disebutkan di atas, maka dapat dirumuskan hal sebagai berikut:

1. Berapa *inflow* rata-rata tengah bulan yang terjadi di Waduk Wonogiri.
2. Apakah operasi waduk sudah mencukupi kebutuhan.
3. Bagaimana meningkatkan kinerja operasi waduk.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui keandalan debit *inflow*.
2. Menemukan pola operasi Waduk Wonogiri.
3. Mendapatkan alternatif penerapan pola pemberian air irigasi dengan melihat kondisi tampungan waduk yang berkurang akibat adanya sedimentasi pada saat ini dan di masa yang akan datang.

1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada masalah sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian adalah Bendungan Serbaguna Wonogiri.
2. Data yang digunakan berupa data sekunder yang dikumpulkan dari berbagai instansi terkait.
3. Perhitungan debit andalan menggunakan cara *debt ranking*, Metode *Mock*.
4. Tidak dilakukan perhitungan sedimen yang mengendap di dasar waduk dan diasumsikan tetap.
5. Peninjauan terhadap pemanfaatan air buangan di Daerah Irigasi Wonogiri tidak dilakukan.
6. Peninjauan terhadap suplesi sumber air pada DAS di bawah waduk tidak dilakukan.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Memecahkan masalah terbatasnya ketersediaan air pada Waduk Wonogiri, agar dapat mengairi daerah irigasi seoptimal mungkin dan mendapatkan sistem pola tanam terbaik.
2. Memberikan informasi kepada seluruh *stake holder* yang berkepentingan pada layanan irigasi Waduk Wonogiri tentang sistem pemberian air untuk kebutuhan irigasi pada saat ini dan di masa yang akan datang.



BAB II

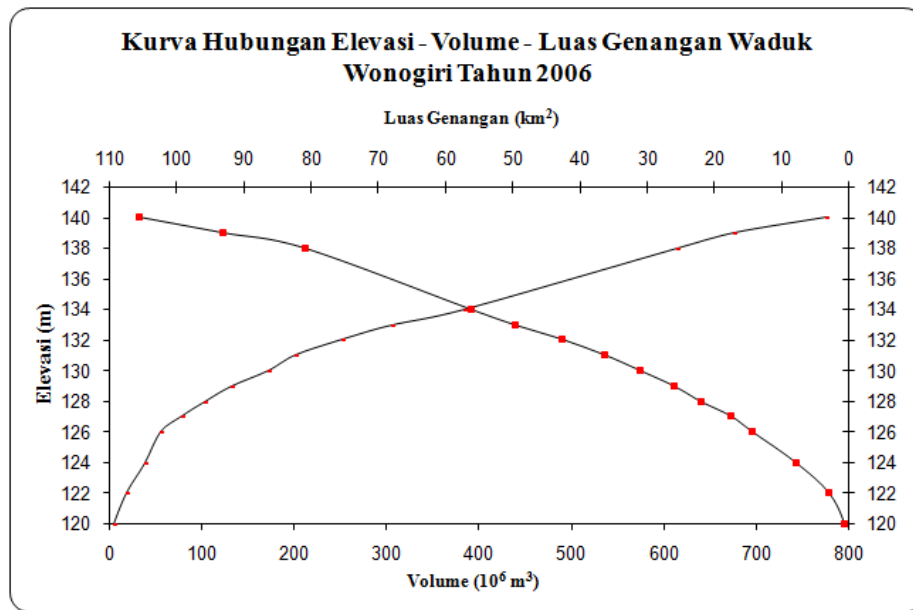
TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang Analisis penataan pola tanam dan optimasi pemberian air pada Daerah Irigasi Bendung Dumpil telah dilakukan oleh Heriyanto (2003). Heriyanto menyimpulkan bahwa ketersediaan air Bendung Dumpil di Purwodadi hanya dapat mengairi dengan baik pada bulan Desember hingga Maret. Sedangkan pada bulan-bulan lainnya terjadi kekurangan air yang ditunjukkan pada faktor K. Masalah kekurangan air dapat diatasi dengan penataan kembali pola tanam yang ada di daerah irigasi tersebut.

Penelitian bersama antara Perusahaan Umum (PERUM) Jasa Tirta 1 dan Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret dalam Laporan Penelitian Studi Optimasi Kapasitas Waduk Wonogiri di Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah tahun 2008 menyatakan bahwa adanya kecenderungan menurunnya fungsi-fungsi infrastruktur Waduk Wonogiri akibat perubahan tataguna lahan, sehingga perubahan pola operasi diperlukan yaitu dengan memajukan masa pengisian dan pengaturan *outflow*. Debit rata-rata *inflow* yang masuk ke Waduk Wonogiri sebesar 13,59 m³/dt.

Data hubungan elevasi-luas-volume Waduk Wonogiri yang digunakan dalam Penelitian Studi Optimasi Kapasitas Waduk Wonogiri di Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah tahun 2008 terdiri dari 2 kelompok data yaitu data hubungan elevasi-luas dan volume tahun 1980 pada saat desain dan data hasil pengukuran tahun 2005 oleh JICA/Nippon Koei. Kurva hubungan elevasi, volume tampungan dan luas genangan disajikan pada gambar dan tabel berikut ini :



Sumber : Studi Tim JICA tahun 2004 dan 2005 yang disempurnakan
 Gambar 2.1. Kurva hubungan elevasi, luas genangan, dan volume Waduk Wonogiri.

Tabel 2.1. Data hubungan elevasi-luas tahun 1980 dan 2004.

Tahun 1980		Tahun 2004	
Elevasi	Luas genangan (km ²)	Elevasi	Luas genangan (km ²)
119	0,00	119,00	0,00
120	6,00	120,00	1,18
121	7,40	121,00	2,94
122	9,60	122,00	3,53
123	12,50	123,00	5,59
124	16,00	124,00	8,53
125	19,00	125,00	12,06
126	22,50	126,00	15,00
127	26,50	127,00	18,24
128	30,70	128,00	22,65
129	35,30	129,00	26,76
130	39,50	130,00	31,76
131	44,00	131,00	37,06
132	49,00	132,00	43,24
133,00	54,30	133,00	50,00
134,00	59,70	134,00	56,47
135,00	66,00	135,00	62,65
136,00	73,60	136,00	70,00
137,00	79,50	137,00	76,47
138,00	84,30	138,00	81,18
139,00	87,70	139,00	
140,00	93,50	140,00	

Sumber: Laporan Penelitian Studi Optimasi Kapasitas Waduk Wonogiri, 2008

Tabel 2.2 Data hubungan elevasi volume tahun 1980 dan 2005.

Tahun 1980		Tahun 2005	
Elevasi	Volume (juta m ³)	Elevasi	Volume (juta m ³)
116	0,00	116	0,00
118	0,00	118	0,00
120	7,50	120	0,00
122	25,00	122	5,00
124	60,00	124	19,50
126	90,00	126	40,00
127	120,00	127	58,00
128	140,00	128	80,00
129	175,00	129	105,00
130	210,00	130	135,00
131	250,00	131	175,00
132	300,00	132	205,00
133	355,00	133	255,00
134	420,00	134	310,00
135,3	503,00	135,3	388,00
136	560,00	136	433,00
138	720,00	138	600,00
138,3	735,00	138,3	618,00
139	790,00	139	680,00
140		140	779,06
142		142	1.012,78

Sumber: Laporan Penelitian Studi Optimasi Kapasitas Waduk Wonogiri, 2008

Penelitian Studi Optimasi Kapasitas Waduk Wonogiri di Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah oleh Perum Jasa Tirta I bekerjasama dengan UNS (2008) menggunakan koefisien *Thiessen* yang juga dipakai dalam pekerjaan studi CDMP (2001). Koefisien *Thiessen* yang digunakan dalam perhitungan rata-rata hujan daerah aliran sungai Waduk Wonogiri adalah sebagai berikut:

Stasiun Pracimantoro (No: 115a.) = 0,194

Stasiun Jatisrono (No: 131) = 0,267

Stasiun Batuwarno (No: 115) = 0,414

Stasiun Tirtomoyo (No: 131.a.) = 0,125

PT. Putra Pertiwi Perkasa pada tahun 2006 dalam Laporan Sistem Planning Pekerjaan Desain Rehabilitasi Saluran Induk Colo Timur menghitung hujan rata-rata kawasan untuk Daerah Irigasi Colo Timur dengan menggunakan koefisien *Thiessen*, yaitu:

Stasiun Wd Mulur (No: S.12.) = 0,4167

Stasiun Trani (No: 110.b.) = 0,1126

Command to user

Stasiun Masaran (No: S.109.a) = 0,4706

Decky T. (2008) berpendapat bahwa Waduk Gajah Mungkur perlu dilakukan peninggian karena mengalami masalah sedimen cukup serius yang mengakibatkan semakin berkurangnya volume tampungan efektifnya. Hasil analisis *sensitivity* menunjukkan bahwa peninggian bendungan masih layak dilaksanakan.

Rudi A. (2009) mengatakan bahwa pola operasi pemberian air didasarkan pada pemenuhan kebutuhan air irigasi. Penanaman dapat dilakukan secara serempak bila ketersediaan air cukup dan pengaliran air dapat dilakukan secara terus menerus. Pola rotasi pemberian air perlu dilakukan jika kebutuhan air irigasi jauh lebih besar dari debit yang tersedia. Pola rotasi dilakukan sebagai upaya untuk mengurangi tingkat konsumsi air tanaman mengingat ketersediaan air yang sangat sedikit. Penghematan penggunaan air dapat dilakukan tetapi produksi tanaman dapat dipertahankan.

Penelitian *Decision Support Systems for Large Dam Planning and Operation in Africa* dilakukan oleh McCartney, M .P. (2007). Penelitian ini mencari sistem yang tepat untuk diterapkan di bendungan besar di Afrika dengan membandingkan sistem perencanaan dan operasi bendungan yang pernah ada tanpa harus berdampak pada lingkungan dan masyarakat sosial.

Jentgen, L. (2005) menyimpulkan bahwa pelaksanaan optimasi sistem merupakan suatu strategi untuk menjaga keberlangsungan fasilitas air. Operasi optimasi sistem dapat dilaksanakan dengan nilai investasi yang kecil.

Mathur, Y.P. (2009) dalam penelitiannya yang berjudul *Optimal Reservoir Operation Policies Using Genetic Algorithm* menyatakan bahwa model *Genetic Algorithm* dapat di gunakan untuk sistem operasi waduk di seluruh dunia. Nilai kebutuhan air irigasi menggunakan metode ini sama dengan nilai kebutuhan yang tercatat.

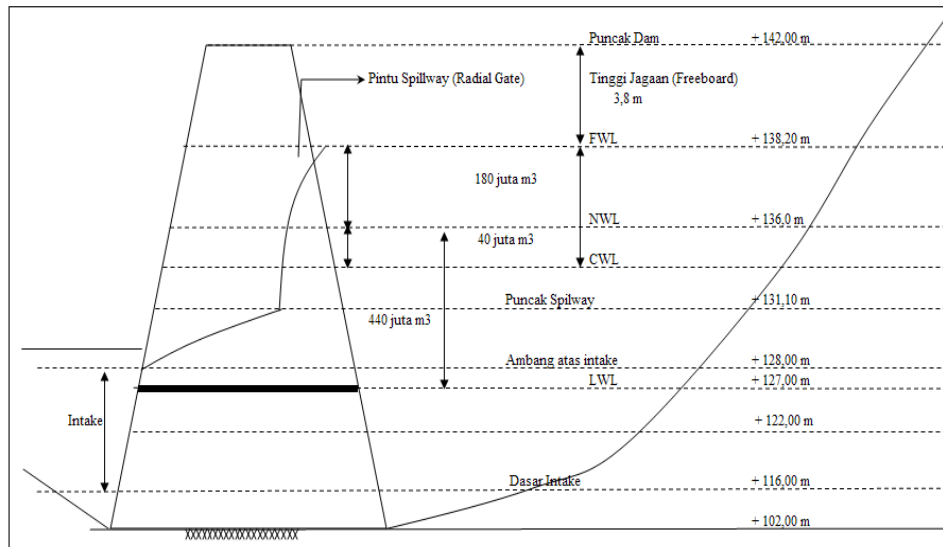
Penelitian mengenai Rekayasa Optimasi Waduk Gedangkulut dilakukan oleh Sudiwaluyo pada tahun 2007. Penelitian ini menganalisa kemungkinan hujan yang jatuh dengan tingkat kepercayaan 80 % dan melakukan beberapa variasi pola tanam sehingga daerah irigasinya dapat terairi secara optimal sesuai dengan ketersediaan volume air waduk.

Pengelolaan lahan yang buruk di daerah aliran sungai dan pola tanam menggunakan metode yang buruk mengakibatkan erosi tanah tinggi secara terus menerus serta populasi yang padat di daerah hulu dan banyak terdapat lahan pertanian menggunakan metode tersebut merupakan penyebab utama sedimentasi Waduk Wonogiri (Studi Tim JICA, 2007). Perkiraan kehilangan air pada tampungan waduk akibat sedimentasi dari studi terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.3. dan Gambar 2.2. berikut ini :

Tabel 2.3. Kapasitas Waduk Wonogiri yang hilang antara tahun 1980 dan 2005.

Zona Waduk	Kapasitas Waduk (juta m ³)		Kapasitas yang hilang	
	1980	2005	Volume (juta m ³)	Ratio dari volume awal (%)
Tampungan Banjir (El. 135,3 – 138,3 m)	232	230	2	0,9
Tampungan Efektif (El. 127,0 – 136,0 m)	433	375	58	13,4
Tampungan Mati (dibawah El. 127,0 m)	114	58	56	49,1

Sumber : JICA Report (2007)



Sumber: JICA Report (2007)

Gambar 2.2. Pembagian zona volume waduk.

Berdasarkan Laporan Pola Operasi Waduk Wonogiri Masa Tanam Tahun 2008-2009 yang disusun oleh Tim Koordinasi Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Bengawan Solo diketahui alokasi penggunaan air Waduk Wonogiri sebagai berikut:

Tabel 2.4. Alokasi penggunaan air Waduk Wonogiri.

Nama	Jenis	Luas DAS (km ²)	FWL	NWL	CWL	LWL	Fungsi
Waduk Wonogiri	Tahunan	1.350	138,30	136,00	135,30	127,00	<i>Multi-purpose</i>
Kondisi Awal (Th 1980)	Pengisian Waduk: Nop-Apr Pengosongan: Mei-Okt	Genangan Waduk: 90 km ²	Volume: 730,00 juta m ³	Volume: 547,00 juta m ³	Spillway dapat dibuka untuk mempertahankan CWL pada 1 Nop-15 Apr	Kantong Lumpur Volume: 114,00 juta m ³	- Pengendali banjir - Irigasi Teknis: 23.200 ha - PLTA: 2x6,2 MW - Penyediaan air baku - Perikanan darat, pariwisata
Kondisi Aktual (Th 2005)	Tetap	Tetap	Volume: 616,00 Juta m ³	Volume: 433,00 Juta m ³	Tetap	Volume: 58,00 Juta m ³	- Irigasi: Teknis: 25.026 ha - Pompa: 15.420 ha - Lainnya tetap

Sumber: Tim Koordinasi PSDA WS Bengawan Solo (2009)

Keterangan :

1. Penentuan volume keadaan awal (*re-estimated*) dan aktual berdasarkan hasil pengukuran sedimen dasar waduk pada tahun 2005 sesuai laporan *The Study on*

commit to user

Countermeasures for Sedimentation In the Wonogiri Multipurpose Dam Reservoir tahun 2007.

2. FWL : Muka Air Banjir : *Flood Water Level (FWL)*
3. NWL : Muka Air Normal : *Normal Water Level (NWL)*
4. CWL : Muka Air Control : *Control Water Level (CWL)*
5. LWL : Muka Air Rendah : *Low Water Level*
6. Daerah sabuk hijau El. 138,20 – El. 140,00 m, Luas = 1.653 Ha.
7. Daerah pasang surut dikelola masyarakat, El. 136,00 m – El. 138,20 m, Luas = 804 Ha.
8. Elevasi 127,00 m – 136,00 m merupakan zona tampungan efektif awal dengan volume aktual sebesar $\pm 375,00$ juta m^3 . Saat ini elevasi terendah efektif telah berubah akibat terjadinya sedimentasi yang utamanya tersebar di depan intake, sehingga zone tampungan efektif menjadi elevasi 131,00 m – 136,00 m dengan volume sebesar $\pm 264,00$ juta m^3 . Namun demikian, sesungguhnya masih terdapat cadangan air pada area cekungan Kedungareng di bagian hulu waduk.
9. Perum Jasa Tirta I setiap tahunnya melakukan upaya pengerukan dan pembuatan alur dari intake menuju area genangan waduk di Kedungareng agar operasional alokasi air waduk dapat dilaksanakan lebih efektif utamanya pada akhir musim kemarau.

Pola Operasi Waduk Wonogiri:

1. Prakiraan musim

Prakiraan periode musim hujan 2008/2009 mulai awal Nopember 2008 sampai dengan akhir April 2009. Sedangkan prakiraan periode musim kemarau 2009 mulai awal Mei 2009 sampai dengan akhir Oktober 2009.

2. Pola tanam dan rencana tata tanam

Pola tanam dan rencana tata tanam dilaksanakan sebagai berikut:

- a. Masa Tanam (MT) I : 01 Nopember 2008 – 28 Februari 2009,
dengan pola tanam PADI.
- b. Masa Tanam (MT) II : 01 Maret 2009 – 30 Juni 2009,
dengan pola tanam PADI.
- c. Masa Tanam (MT) III : 01 Juli 2009 – 31 Oktober 2009,
dengan pola tanam PALAWIJA.

3. Masa pemeliharaan saluran Irigasi Colo

Untuk keperluan pemeliharaan jaringan saluran Irigasi Colo dilakukan pengeringan yang dilaksanakan pada 1 – 31 Oktober 2009 yang merupakan akhir dari Masa Tanam III di Tahun 2009.

4. Rencana pemanfaatan air Waduk Wonogiri

Rencana pemanfaatan air Waduk Wonogiri masa tanam tahun 2008/2009 di Provinsi Jawa Tengah dan Provinsi Jawa Timur, sebagai berikut:

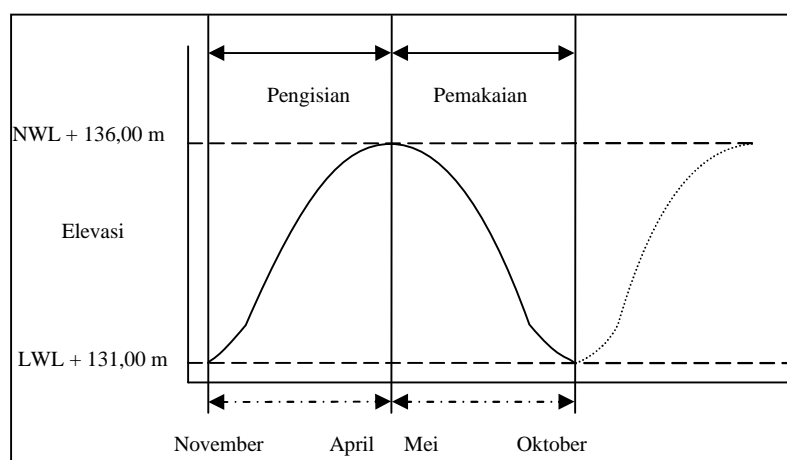
- Pembangkit Tenaga Listrik ± 40 juta Kwh/thn
- Pemanfaatan air untuk irigasi air permukaan dan irigasi pompa, luas ± 40.444 Ha.
- Pemanfaatan air untuk PDAM (air minum) dan industri (pabrik).
- Pemeliharaan sungai (penggelontoran sungai).

Macam pola operasi waduk:

Dalam satu tahun dibuat 2 (dua) jenis pola operasi waduk, yaitu:

- Pola Operasi Waduk Musim Hujan, berlaku saat pengendalian banjir dan pengisian waduk mulai bulan Nopember 2008 sampai dengan April 2009.
- Pola Operasi Waduk Musim Kemarau, berlaku saat pemakaian air waduk mulai bulan Mei 2009 sampai dengan Oktober 2009.

Waktu Pengisian dan pemakaian air waduk untuk masing-masing jenis dapat digambarkan sebagai berikut:



Sumber: Tim Koordinasi PSDA WS Bengawan Solo.

Gambar 2.3. Sketsa pola operasi Waduk Wonogiri.

Kebijakan Operasi Waduk Wonogiri pada akhir periode banjir (15 April) mengharuskan ketinggian air waduk berada pada elevasi +135,3 dan pada akhir periode pengisian berada pada elevasi +136. Volume yang telah tersimpan dalam tampungan diharapkan mampu untuk mengairi irigasi pada periode kemarau.

PT Virama Karya Persero, Co (1989) meringkas data – data pokok yang diperlukan dalam pembuatan detail desain terinci dalam Tabel 2.5. di bawah ini:

Tabel 2.5. Data curah hujan yang dibutuhkan.

No	Perhitungan	Jenis Data	Periode pencatatan minimum	Diproses untuk mendapatkan:
1	Kebutuhan air irigasi	Total curah hujan bulanan	10 tahun	Curah hujan setengah bulanan dengan kemungkinan 80% terlampaui (R_{80} , atau 1 dalam 5 tahu kering)
2	Debit andalan sungai menurut metode SMEC	Total curah hujan bulanan	10 tahun	Curah hujan bulanan rata-rata
3	Debit andalan sungai menurut metode MOCK	a. Total curah hujan bulanan	10 tahun	Curah hujan bulanan rata-rata
		a. Jumlah hari hujan bulanan	10 tahun	Hari hujan bulanan rata-rata
4	Debit banjir	Curah hujan harian	20 tahun	a) Hujan harian maksimum pertahun b) Hujan harian dengan periode ulang 5, 25, 50, 70, & 100 tahun
5	Debit drainase dari areal persawahan	Curah hujan harian	10 tahun	a) Hujan 3 harian maksimum tiap tahun
				b) Hujan 3 harian dengan periode ulang 5, 10, dan 25 tahun

Sumber: Laporan Kriteria Desain Proyek Irigasi Jawa Tengah (1989)

Besarnya faktor kehilangan yang digunakan dalam pelaksanaan Operasi dan Pemeliharaan diseluruh DI Colo Timur dalam Laporan *Irrigation O&M and Turnover Component Irrigation Subsector Project II* (ISSP-II) tahun 1994 diperhitungkan sebagaimana termuat dalam Tabel 2.6. berikut:

Tabel 2.6. Kehilangan air irigasi.

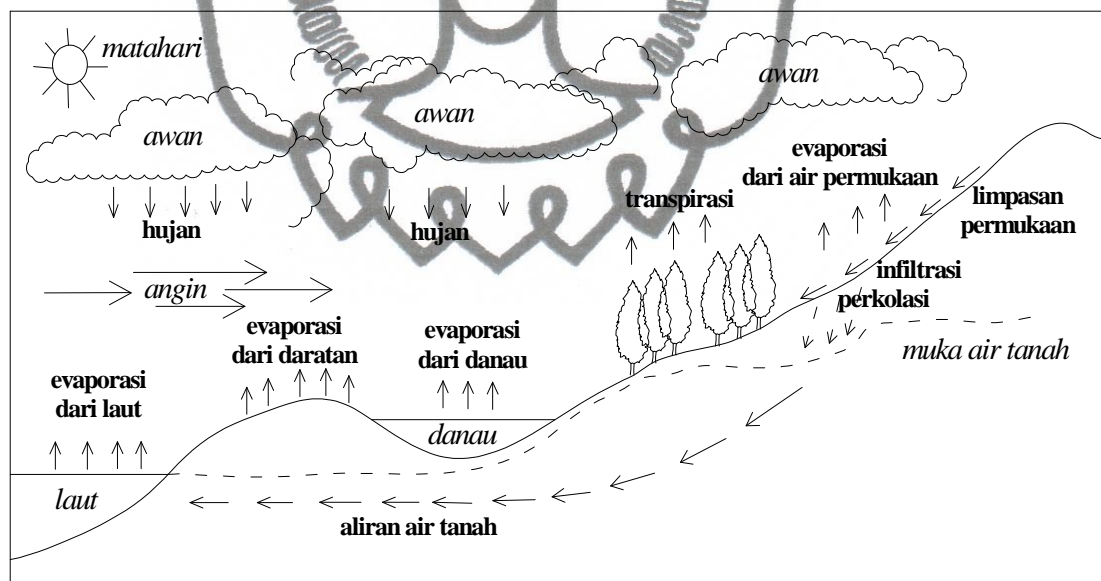
No	Saluran	Faktor Saluran	Efisiensi	Losses
1	Tersier	1,25	80%	20 %
2	Sekunder	1,15	87%	13 %
3	Induk	1,10	91%	9 %

Sumber: ISSP – II (1994)

2.2. Landasan Teori

Ilmu yang mempelajari tentang air di bumi baik itu terjadinya, peredarannya, penyebarannya, sifat-sifatnya, maupun hubungannya dengan lingkungan adalah hidrologi. Peredaran air di muka bumi mengalami pengulangan terus menerus dari atmosfer hingga dalam tanah kemudian membentuk sebuah siklus yang disebut siklus hidrologi.

Siklus hidrologi merupakan suatu sistem yang tertutup, dalam arti bahwa pergerakan air pada sistem tersebut selalu tetap berada di dalam sistemnya. Siklus air ini tidak merata, karena perbedaan presipitasi dari tahun ke tahun, dari musim ke musim, dan dari wilayah ke wilayah yang lain. Kondisi meteorologi dan kondisi topografi berpengaruh dalam siklus hidrologi. Siklus hidrologi selengkapnya dapat disajikan dalam Gambar 2.4.



Sumber: CD. Soemarto (1995).

Gambar 2.4. Siklus hidrologi.

Air yang berada di permukaan bumi mengalami penguapan (evaporasi) ke udara dan berkondensasi menjadi awan, setelah melalui berbagai proses kemudian jatuh menjadi hujan (*presipitasi*) atau salju. Tidak semua air yang jatuh sampai ke permukaan bumi namun sebagian dari air yang jatuh menguap terlebih dahulu.

Sebelum sampai ke permukaan tanah ada sebagian air yang tertahan di dahan-dahan tumbuhan dan kemudian menguap (transpirasi). Air yang sampai ke permukaan tanah terbagi menjadi limpasan permukaan (*runoff*), aliran intra (*interflow*), dan limpasan air tanah (*groundwater runoff*) yang akhirnya akan mengalir ke laut. Maka seluruh siklus telah dijalani, kemudian akan berulang kembali.

Waduk dibangun sebagai tadah air hujan dan limpasan air sehingga air yang tertampung dapat digunakan untuk kebutuhan masyarakat sesuai dengan fungsinya. Masalah yang timbul adalah berapa kapasitas waduk yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan pada tingkat besarnya peluang bahwa waduk mampu memenuhi kebutuhan yang direncanakan sepanjang masa layannya tanpa adanya kekurangan.

Sungai merupakan sumber air di darat yang paling dominan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia. Air yang jatuh ke permukaan tanah kemudian mengalir membentuk suatu alur dari hulu ke hilir, yang disebut daerah aliran sungai (DAS). Karakteristik DAS sangat mempengaruhi besar kecilnya aliran. Besar aliran / debit suatu DAS dapat dihitung dari data pencatatan curah hujan pada stasiun pengamatan curah hujan yang terdekat di kawasan tersebut. Variabel debit sungai dapat dipakai sebagai dasar kemungkinan debit masukan yang memadai bagi suatu kapasitas waduk tertentu.

Pengaturan pola operasi air waduk mempunyai peranan penting untuk daerah irigasi di bagian hilir waduk, hal ini dilakukan berdasarkan besarnya keandalan debit masukan (*inflow*). Penentuan pola operasi waduk dilakukan dengan harapan air yang ada dapat terdistribusi secara merata sehingga pengaturan kebutuhan air untuk irigasi saat ini maupun yang akan datang dapat terencana dengan baik.

2.2.1. Rata – Rata Hujan Wilayah

Hujan berasal dari uap air di atmosfer, sehingga jumlah dan bentuknya dipengaruhi oleh klimatologi seperti angin, temperatur, dan tekanan atmosfer (Bambang T., 2008). Derasnya hujan yang jatuh di suatu tempat diketahui dengan mengamati stasiun pencatat curah hujan. Curah hujan yang tercatat pada setiap stasiun pengamatan hujan hanya berupa curah hujan titik, untuk mengetahui besarnya curah hujan suatu kawasan dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya dengan rata-rata aritmatik.

Metode Rerata Aritmatik (aljabar) merupakan cara perhitungan hujan wilayah yang paling sederhana. Pengukuran dilakukan di beberapa stasiun dalam waktu yang bersamaan dijumlahkan dan kemudian dibagi dengan jumlah stasiun. Stasiun hujan yang digunakan dalam hitungan biasanya adalah yang berada di dalam DAS, tetapi stasiun di luar DAS yang masih berdekatan juga bisa diperhitungkan (Bambang T., 2008). Perhitungan hujan wilayah dapat dicari dengan rumus:

$$P = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{x} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan:

- p = hujan rerata kawasan
- p_1, p_2, \dots, p_x = hujan di stasiun 1, 2, ..., n
- x = jumlah stasiun

Hujan rata-rata bulanan yang digunakan adalah hujan rata-rata bulanan dengan 20% kering. Seri data hujan rata-rata dari hasil perhitungan dengan Metode Rata – Rata Aritmatik kemudian di hitung dengan pendekatan distribusi normal, dengan rumus:

$$R_{80} = P_{rata-rata} - K_f \cdot Sd \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan:

- R_{80} = Hujan probabilitas 80 persen
- K = Faktor frekuensi (untuk 20% kering nilainya – 0,842)
- Sd = Standart deviasi

2.2.2. Evaporasi

Evaporasi merupakan faktor penting dalam studi tentang pengembangan sumber-sumber daya air. Evaporasi sangat mempengaruhi debit sungai, besarnya kapasitas waduk, besarnya kapasitas pompa untuk irigasi, penggunaan konsumtif (*consumptive use*) untuk tanaman dan lain-lain (C.D. Soemarto, 1987). Evaporasi merupakan proses perubahan molekul air dari zat cair ke zat gas. Laju evaporasi berubah-ubah menurut warna dan sifat pemantulan permukaan (*albedo*), permukaan yang langsung tersinari matahari atau tidak, dan iklim setempat.

Air dibutuhkan oleh semua jenis tanaman untuk kelangsungan hidupnya. Air yang diserap oleh akar dan dahan tanaman, sebagian besar akan ditranspirasikan lewat bagian tumbuh-tumbuhan yang berdaun. Proses evaporasi dan transpirasi susah dibedakan dalam kondisi lapangan. Kedua proses tersebut saling berkaitan sehingga dinamakan evapotranspirasi.

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

Penentuan harga evapotranspirasi (E_t) dilakukan dengan menggunakan Metode *Penman*. Rumus ini memberikan hasil yang baik dengan memasukkan faktor-faktor energi. Besarnya evapotranspirasi tetapan dapat dicari dengan rumus:

$$E_t = \frac{\frac{\Delta H}{60} + \gamma \cdot E_a}{\Delta + \gamma} \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan:

- E_t = Evapotranspirasi potensial
- Δ = Kemiringan tangen dari lengkung tekanan uap jenuh udara pada suhu udara rata-rata (mmHg/°C)
- H = Jumlah energi tersisa yang masih tertinggal di bumi (*heat budget*)
- γ = Koefisien *psychrometer* = 0,49 (t dalam °C dan e dalam mmHg)
- E_a = Parameter dari aliran uap dalam mm/hr

Jumlah energi yang masih tertinggal di bumi (*heat budget*) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$H = RI - RB \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan:

RI = Radiasi gelombang pendek netto (cal/cm²/hr),

RB = Radiasi yang dipantulkan kembali (cal/cm²/hr).

Radiasi gelombang pendek netto (RI) ini disimpan di tanah sebesar:

$$RI = RA \cdot (1 - r) \cdot \left(a + b \cdot \frac{n}{N} \right) \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan:

RA = Nilai angka untuk radiasi maksimal (cal/cm²/hr),

r = Koefisien pemantulan,

a, b = Konstanta yang tergantung letak suatu tempat di atas bumi dimana untuk daerah tropis dan subtropis dapat diambil nilai a = 0,28 dan b = 0,48,

$\frac{n}{N}$ = Prosentase penyinaran matahari yang dimungkinkan secara maksimum (jam).

Radiasi yang dipantulkan kembali (RB) dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$RB = Ta^4 (0,47 - 0,077 \cdot \sqrt{ed}) \cdot \left(0,2 + 0,8 \cdot \frac{n}{N} \right) \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan:

n = Lamanya kecerahan sinar matahari yang tidak terhalang awan dalam satu hari (hari),

Ta⁴ = Radiasi benda hitam *stefen-boltzam* = 118,0 x 10⁻⁹ Ta,

Ta = Suhu udara dalam *kelvin* = 273 + t°C,

ed = Tekanan jenuh uap air diudara dalam mmHg = ea x h,

h = Kelembaban relatif (%).

Parameter aliran uap ini (Ea) dapat diformulasikan seperti pada persamaan di bawah ini:

$$Ea = 0,35 \cdot (ea - ed) \cdot (0,5 + 0,54 \cdot U_2) \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan:

ea = Tekanan uap jenuh pada suhu udara rata-rata (mmHg),

U₂ = Kecepatan angin rata-rata pada ketinggian 2 meter di atas permukaan tanah (m/dt).

2.2.3. Debit Aliran

Debit *inflow* dapat diketahui dengan Metode *Mock*. Metode *Mock* menggunakan suatu model daerah pengaliran bulanan dengan memperhatikan tanah, geologi, curah hujan, penguapan, dan air tanah. Dr. F.J. Mock (1973) memperkenalkan model sederhana simulasi keseimbangan air bulanan aliran sungai di Indonesia, adapun cara perhitungannya dijelaskan sebagai berikut:

1. Evapotranspirasi terbatas (E_t).

Evapotranspirasi terbatas adalah evapotranspirasi aktual yang mempertimbangkan kondisi vegetasi permukaan tanah, dan frekuensi curah hujan.

$$E_t = E_{to} - E \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

$$E = E_{to} \times (m/20) \times (18 - x) \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

dengan:

E_t = Evapotranspirasi terbatas,

E_{to} = Evapotranspirasi potensial,

x = Jumlah hari hujan dalam sebulan,

m_L = Prosentase lahan yang tidak tertutup vegetasi ditaksir dari peta tata guna lahan, dengan:

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

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

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

$m_L = 30-50\%$, untuk lahan pertanian yang diolah (misal: sawah, ladang).

2. Keseimbangan air di permukaan tanah

a. Curah hujan yang mencapai permukaan tanah

$$\Delta S = P - E_t \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

dengan:

ΔS = Perubahan kandungan air tanah,

P = Curah hujan,

E_t = Evapotranspirasi terbatas.

Harga positif bila $P > E_t$, air akan masuk ke dalam tanah jika kapasitas kelembaban tanah belum terpenuhi, namun akan melimpas jika kondisi tanah jenuh. Harga negatif bila $P < E_t$, sebagian air tanah akan keluar dan terjadi defisit.

b. Perubahan kandungan air tanah (*soil storage*).

Tergantung dari harga ΔS . Bila harga ΔS negatif, maka kapasitas kelembaban tanah akan berkurang dan bila ΔS positif, maka menambah kekurangan kapasitas kelembaban tanah bulan sebelumnya.

c. Kapasitas kelembaban tanah (*soil moisture capacity*).

Perkiraan kapasitas kelembaban tanah awal diperlukan pada saat dimulainya simulasi dan besarnya tergantung dari kondisi porositas lapisan tanah atas dari daerah pengaliran. Biasanya diambil 50 sampai 250 mm, yaitu kapasitas kandungan dalam tanah per m^2 . Jika porositas tanah lapisan atas tersebut makin besar, maka kapasitas kelembaban tanah akan makin besar pula.

3. Aliran dan penyimpanan air tanah (*run off & ground water storage*)

a. Koefisien infiltrasi (i)

Penaksiran koefisien infiltrasi berdasarkan tingkat porositas tanah dan kemiringan daerah pengaliran. Lahan yang porous misalnya pasir halus mempunyai infiltrasi lebih tinggi dibandingkan tanah lempung berat. Lahan terjal mempunyai koefisien infiltrasi yang kecil, adapun batas koefisien infiltrasi berkisar antara 0–1.

b. Penyimpanan air tanah (*groundwater storage*).

Pada permulaan simulasi besaran penyimpanan awal (*initial storage*) harus terlebih dahulu ditentukan. Besarannya tergantung dari kondisi geologi setempat dan waktu, misalnya daerah yang pengalirannya kecil dengan kondisi geologi lapisan bawah tidak tembus air, atau bahkan tidak ada air di sungai pada saat musim kemarau, maka penyimpanan air tanah menjadi nol. Besarannya penyimpanan air tanah dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$V_n = k \cdot V_{n-1} + \frac{1}{2}(1+k) \cdot I \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

dengan:

V_n = Volume air tanah pada hari yang ditinjau,

k = $\frac{q_t}{q_o}$ = Faktor resesi aliran air tanah,

q_t = Aliran air tanah pada waktu t (bulan ke t),

q_o = Aliran air tanah pada awal bulan ke (n-1).

$$\Delta V_n = V_n - V_{n-1} \dots\dots\dots (2.12)$$

dengan:

ΔV_n = Perubahan volume aliran air tanah,

V_n = Volume air tanah bulan ke n,

V_{n-1} = Volume air tanah bulan ke n-1.

Faktor resesi aliran air tanah (k) adalah 0-1. Harga k yang tinggi akan memberikan resesi yang lambat, seperti pada kondisi geologi lapisan bawah yang sangat lulus air (permeabel).

c. Aliran (*runoff*)

Aliran dasar : Infiltrasi dikurangi volume aliran air dalam tanah,

Aliran permukaan/ langsung : Kelebihan air (*water surplus*) – infiltrasi,

Aliran : Aliran dasar + aliran langsung,

Debit andalan : Aliran sungai dinyatakan dalam m³/bln.

4. Aliran hujan lebat (*storm run off*)

Debit aliran dapat terjadi pada bulan-bulan kering yang intensitas curah hujannya melampaui harga infiltrasi tanah, hal ini dapat terjadi akibat hujan lebat pada bulan basah sebelumnya.

2.2.4. Debit Andalan

Perhitungan debit andalan dimaksudkan untuk mencari ketersediaan air di DAS Waduk Wonogiri, sehingga nilai kuantitatif debit yang tersedia sepanjang tahun dapat diketahui, baik pada musim penghujan maupun musim kemarau.

Debit andalan merupakan debit minimum rata-rata tengah bulanan dengan kemungkinan tidak terpenuhi 20%. Debit andalan 80% dapat dicari dengan Metode Distribusi Frekuensi atau *Basic Month*, adapun perhitungannya disajikan dalam uraian di bawah ini:

1. *Basic month*

a. Hasil perhitungan debit,

b. Menjumlahkan semua data, *commit to user*

- c. Mengurutkan data tersebut dari besar ke kecil,
 d. Menghitung probabilitas dengan rumus:

$$P_{(\%)} = \frac{m_n}{(x+1)} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan:

- $P_{(\%)}$ = probabilitas kejadian (%),
 m_n = nomor urut data,
 x = jumlah data dalam analisis (bulan).

- e. Menentukan debit andalan 80%

Merangking data (*debt. ranking*) berdasarkan probabilitasnya, kemudian dipilih debit andalan dengan probabilitas 80%.

2. Distribusi Frekuensi

Rumus yang digunakan:

$$Q_{80} = Q_{rata-rata} - 0,842.Sd \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan:

- Q_{80} = debit andalan dengan probabilitas 80%,
 Sd = standar deviasi.

2.2.5. Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi di sawah adalah besarnya satuan kebutuhan air yang harus disediakan untuk tanaman agar dapat tumbuh dan berkembang dengan baik. Besarnya satuan kebutuhan air di sawah biasanya dihitung dengan satuan kebutuhan air setiap satuan luas.

Kebutuhan air irigasi merupakan sejumlah air irigasi yang diperlukan untuk mencukupi keperluan bercocok tanam pada petak sawah ditambah dengan kehilangan air pada jaringan irigasi. Perhitungan kebutuhan air irigasi menurut rencana pola tata tanam dipengaruhi oleh beberapa faktor yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Pola tanam yang direncanakan.

Pola tanam yang digunakan biasanya diambil dari kebiasaan petani menanami areal persawahan. Luasnya areal persawahan yang setiap petaknya sama-sama memerlukan air untuk pertumbuhan tanaman mengharuskan pendistribusian

air diatur secara bijak dan merata. Dalam hal ini diatur oleh Balai PSDA WS Bengawan Solo.

2. Luas areal yang akan ditanami.

Luas areal yang ditanami merupakan wilayah yang berada dalam jangkauan jaringan irigasi dan menggunakan air dari jaringan irigasi tersebut.

3. Kebutuhan air pada petak sawah.

Kebutuhan air di sawah (*crop water requirement*) ialah kebutuhan air yang diperlukan pada petak sawah, (KP 01) terdiri dari:

- a. Kebutuhan air untuk pengolahan lahan,
- b. Kebutuhan air untuk pertumbuhan tanaman (*consumptive use*),
- c. Kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air pada petak-petak sawah.

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

$$NFR = ET_c + P_k + W - R_{eff} \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

dengan:

- NFR = kebutuhan bersih air di sawah (mm/hari),
 ET_c = kebutuhan air tanaman (*consumptive use*), mm/hari,
 W = penggantian lapisan air (mm/hari),
 P_k = perkolasi (mm/hari),
 R_{eff} = curah hujan efektif (mm).

Banyaknya air yang diperlukan untuk penyiapan lahan pada suatu petak sawah dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$NFR = Ir - R_{eff} \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

dengan:

- NFR = kebutuhan bersih air di sawah (mm/hari),
 Ir = kebutuhan air untuk pengolahan lahan (mm/hari),
 R_{eff} = curah hujan efektif (mm).

Faktor yang mempengaruhi kebutuhan air di sawah lebih detail dijabarkan dalam penjelasan berikut ini:

a. Kebutuhan air untuk pengolahan lahan.

Air yang dibutuhkan selama masa penyiapan lahan untuk menggenangi sawah hingga mengalami kejenuhan sebelum transplantasi dan pembibitan. Besarnya kebutuhan air untuk penyiapan lahan tergantung dari besarnya penjenuhan tanah, lama pengolahan tanah (periode pengolahan tanah), dan besarnya evaporasi dan perkolasi yang terjadi. Besarnya kebutuhan air yang diperlukan masing-masing tanaman untuk penyiapan lahan dapat dicari dengan rumus:

$$I_r = \frac{M \times e^k}{e^k - 1} \dots \dots \dots (2.17)$$

dengan:

- I_r = kebutuhan air irigasi untuk pengolahan lahan di sawah (mm/hari),
 M = kebutuhan air untuk mengganti kehilangan akibat evaporasi dan perkolasi di sawah yang sudah dijenuhkan,
 $= E_o + P$,
 E_o = Evaporasi air terbuka diambil 1,2 E_{To} selama masa penyiapan lahan (mm/hari),
 P = perkolasi (mm/hari),
 k = $M \times \frac{T}{S}$
 T = lamanya penyiapan lahan,
 S = air yang dibutuhkan untuk penjenuhan ditambah dengan 50 mm.

1) Pengolahan lahan untuk tanaman padi.

- Angka penjenuhan tanah yang digunakan sebesar 200 mm, sedangkan untuk sawah yang sudah mengalami bero lebih dari 2,5 bulan dipakai 250 mm.
- Lama periode pengolahan tanah 30 hari.
- Angka pengolahan tanah dapat diketahui dari besarnya perkolasi dan evapotranspirasi dengan menggunakan Tabel 2.7.

Tabel 2.7. Kebutuhan air irigasi selama pengolahan lahan.

Eo + P mm/hari	T = 30 hari		T = 45 hari	
	S = 250 mm	S = 300 mm	S = 250 mm	S = 300 mm
5,0	11,1	12,7	8,4	9,5
5,5	11,4	13,0	8,8	9,8
6,0	11,7	13,3	9,1	10,1
6,5	12,0	13,6	9,4	10,4
7,0	12,3	13,9	9,8	10,8
7,5	12,6	14,2	10,1	11,1
8,0	13,0	14,5	10,5	11,4
8,5	13,3	14,8	10,8	11,8
9,0	13,6	15,2	11,2	12,1
9,5	14,0	15,5	11,6	12,5
10,0	14,3	15,8	12,0	12,9
10,5	14,7	16,2	12,4	13,2
11,0	15,0	16,5	12,8	13,6

Sumber: Kriteria Perencanaan Jaringan Irigasi (KP 01)

2) Pengolahan lahan untuk tanaman palawija.

Besarnya pengolahan tanah sebesar 50 mm selama 15 hari, dihitung dengan menggunakan Rumus 2.17.

b. Kebutuhan air tanaman.

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

$$ET_c = K_c \times E_o \dots\dots\dots (2.18)$$

dengan:

- ET_c = evapotranspirasi tanaman, mm/hari,
- E_o = evapotranspirasi tanaman acuan, mm/hari,
- K_c = koefisien tanaman.

Faktor – faktor yang mempengaruhi kebutuhan air tanaman dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut:

1) Evapotranspirasi

Evaporasi yang digunakan merupakan evaporasi tanaman acuan dihitung dengan menggunakan Metode Penman yang sudah dimodifikasi, yaitu:

$$E_o = 1,20 \times ET_c \quad (\text{Prosida}) \dots\dots\dots (2.19)$$

$$E_o = 1,10 \times ET_c \quad (\text{FAO}) \dots\dots\dots (2.20)$$

Harga ET_o yang digunakan dari rumus Penman merupakan tanaman acuan yaitu albedo 0,25 (rerumputan pendek). Koefisien-koefisien tanaman yang dipakai untuk perhitungan ET_c harus didasarkan pada ET_o ini (albedo 0,25).

2) Koefisien tanaman

Besarnya koefisien tanaman berbeda-beda, tergantung dari jenis tanaman dan phase pertumbuhan masing-masing tanaman. Koefisien tanaman untuk masing-masing tanaman dapat dilihat pada Tabel 2.8. dan 2.9.

Tabel 2.8. Harga – harga koefisien tanaman padi.

Bulan	Nedeco / Prosida		FAO	
	Varietas Biasa	Varietas Unggul	Varietas Biasa	Varietas Unggul
0,5	1,20	1,20	1,10	1,10
1,0	1,20	1,27	1,10	1,10
1,5	1,32	1,33	1,10	1,05
2,0	1,40	1,30	1,10	1,00
2,5	1,35	1,30	1,10	0,95
3,0	1,24		1,05	0,00
3,5	1,12		0,95	
4,0	0,00		0,00	

Sumber: Kriteria Perencanaan Jaringan Irigasi (KP 01)

Tabel 2.9. Harga – harga koefisien tanaman palawija.

Jangka Tumbuh / hari	1/2 bulan ke-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Kedelai	85	0,50	0,75	1,00	1,00	0,82	0,45							
Jagung	80	0,50	0,59	0,96	1,05	1,02	0,95							
Kacang Tanah	130	0,50	0,51	0,66	0,85	0,95	0,95	0,95	0,55	0,55				
Bawang	70	0,50	0,51	0,69	0,90	0,95								
Buncis	75	0,50	0,64	0,89	0,95	0,88								
Kapas	195	0,50	0,50	0,58	0,75	0,91	1,04	1,05	1,05	1,05	0,78	0,65	0,65	0,65

Sumber: Kriteria Perencanaan Jaringan Irigasi (KP 01)

c. Pergantian lapisan air (W).

Penggantian air genangan diperlukan setelah tanaman diberikan pupuk. Pergantian lapisan air dilakukan sebanyak dua kali masing-masing 50 mm selama ½ bulan atau atau 3,3 mm/hari pada bulan ke 1 dan ke 2.

d. Perkolasi.

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

e. Curah hujan efektif.

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

- 1) Curah hujan efektif harian untuk padi

$$Re = \text{Faktor hujan} \times R_{80} \text{ harian} \dots\dots\dots (2.21)$$

- 2) Curah hujan efektif harian untuk palawija diambil dari Tabel A.27 KP-01 berdasarkan curah hujan bulanan, kebutuhan air tanaman bulanan dan evapotranspirasi bulanan. Koefisien faktor curah hujan untuk irigasi dengan sistem golongan dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10. Koefisien tanaman untuk padi & palawija menurut NEDESCO/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 = 5 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	**) untuk sisanya = 10 hari
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 ^{**)}			

Sumber: Kriteria Perencanaan Jaringan Irigasi (KP 01)

4. Efisiensi irigasi.

Efisiensi adalah perbandingan debit air irigasi yang sampai dilahan pertanian dengan debit air irigasi yang keluar dari pintu pengambilan yang dinyatakan dalam persen. Kehilangan ini disebabkan karena adanya penguapan, kegiatan eksploitasi, kebocoran dan rembesan. Untuk perencanaan dianggap sepertiga dari jumlah air yang diambil akan hilang sebelum air itu sampai di sawah.

Besarnya efisiensi irigasi tergantung dari besarnya kehilangan air selama penyaluran dari bendung sampai pada petak sawah. Angka efisiensi untuk daerah irigasi umumnya digunakan 60 - 65%, dengan:

- Kehilangan dari pintu sadap tersier sampai petak 20-25%.
- Kehilangan di saluran sekunder 10-15%
- Kehilangan di saluran primer (bendung) 5-10%.

2.2.6. Pola Operasi Waduk

Waduk Wonogiri berfungsi menampung air yang mengalir agar dapat ditampung kemudian dialirkan ke hilir sesuai dengan yang dibutuhkan. Fungsi waduk akan optimal jika waduk mampu mencukupi kebutuhan air sesuai rencana penggunaannya. Perancangan volume waduk biasanya didekati dengan perkiraan besaran air yang masuk ke dalam waduk serta rencana pengeluarannya.

Pola operasi waduk adalah suatu pola acuan atau pedoman pengaturan air untuk pengoperasian waduk yang disepakati oleh para pemanfaat air dan pengelola melalui Tim Koordinasi Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Bengawan Solo (TK PSDA WS Bengawan Solo).

Dalam satu tahun dibuat 3 jenis Rencana Operasi Waduk, yaitu :

- a. Rencana Operasi Waduk Musim Hujan (periode banjir), berlaku saat pengendalian banjir dan pengisian waduk mulai bulan November sampai dengan April.
- b. Rencana Operasi Waduk Musim Kemarau (periode non-banjir), berlaku saat pemakaian air waduk mulai bulan Mei sampai dengan Oktober.

- c. Waktu pengisian dan pemakaian air untuk masing-masing jenis waduk dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Kebijakan Operasi Waduk Wonogiri pada akhir periode banjir (15 April) mengharuskan ketinggian air waduk berada pada elevasi +135,3 dan pada akhir periode pengisian berada pada elevasi +136. Volume yang telah tersimpan dalam tampungan diharapkan mampu untuk mengairi irigasi pada periode kemarau.

2.2.7. Koreksi kebutuhan air irigasi

Koreksi kebutuhan air irigasi digunakan untuk mengetahui keandalan air yang direncanakan atau kemampuan tampungan waduk dalam memenuhi kebutuhan air yang direncanakan.

Besarnya koreksi kebutuhan air irigasi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\text{Koreksi kebutuhan air irigasi (K)} = \frac{Q_{\text{Ketersediaan}}}{Q_{\text{Kebutuhan}}} \dots\dots\dots (2.22)$$

2.2.8. Hasil Pertanian

Hasil pertanian dalam penelitian ini merupakan jumlah tanaman yang berhasil dipanen dari areal persawahan yang *supply* airnya berasal dari waduk. Jumlah hasil pertanian didapatkan dari perhitungan berikut ini:

$$\text{Hasil pertanian per tahun} = \text{faktor } K \times \text{Luas} \times \text{hasil pertanian per ha} \dots\dots\dots (2.23)$$

2.2.9. Sistem Operasi Pemberian Air Irigasi

Pengoptimalan penggunaan air yang tersedia dapat dilakukan dengan beberapa alternatif, diantaranya:

1. Luas areal irigasi dikurangi

Bagian-bagian tertentu dari daerah yang bisa diairi (luas maksimum daerah layanan) tidak akan diairi.

2. Melakukan modifikasi dalam pola tanam

Perubahan dalam pemilihan tanaman atau tanggal tanam untuk mengurangi kebutuhan air irigasi di sawah (l/dt/ha) agar ada kemungkinan untuk mengairi areal yang lebih luas dengan debit yang tersedia.

3. Rotasi teknis/golongan

Rotasi teknis/golongan dapat dilakukan untuk mengurangi kebutuhan puncak air irigasi (KP 01). Syamsuddin (2008) dalam Rudi Azuan (2009) memberikan suatu model rotasi pemberian air. Ketersediaan debit air yang tidak konstan dalam mengairi 4 petak sub tersier yang meliputi 4 (empat) keadaan, yaitu:

a. Pemberian air secara terus menerus (*continous flow*) dilakukan bila debit air

$$Q > 80\% Q_{max}$$

b. Rotasi I (Satu blok tidak diairi, 3 blok lainnya diairi) dilakukan bila debit air

$$Q = 60\% - 80\% Q_{max}$$

c. Rotasi II (Dua blok tidak diairi, dua blok lainnya diairi) dilakukan bila debit air

$$Q = 40\% - 60\% Q_{max}$$

d. Rotasi III (Tiga blok tidak diairi, satu blok lainnya diairi) dilakukan bila

$$Q = 40\% Q_{max}$$

Pemberian air dapat diatur sebagai berikut:

a. Pembagian secara *continues flow*

Pembagian air dilakukan secara *continues flow* apabila debit tersedia $Q_t > 70\% Q_b$ (debit kebutuhan). Petani/P3A menerima sedikit air secara kontinyu sebagai pengganti evapotranspirasi dan perkolasi harian. Pemberian air akan ditangguhkan untuk sehari/beberapa hari apabila curah hujan mencukupi sebagai pengganti evapotranspirasi dan perkolasi.

b. Pembagian secara giliran

Pada saat air tersedia (debit andalan) kurang ($K < 1$), $Q_t < 80\% Q_b$, maka untuk mengatasi kelemahan pemberian air secara kontinyu dilakukan pemberian air secara giliran. Pembagian air dengan perhitungan faktor K (koreksi kebutuhan air irigasi). Koreksi kebutuhan air irigasi digunakan untuk mengetahui keandalan air yang direncanakan atau kemampuan tampungan waduk dalam memenuhi kebutuhan air yang direncanakan.

Penggunaan faktor K yang merupakan faktor koreksi kebutuhan air irigasi, yaitu perbandingan antara air yang tersedia di bangunan utama (bendung) dengan jumlah air yang dibutuhkan di seluruh petak tersier. Pengaturan pemberian debit berdasarkan faktor K adalah sebagai berikut:

- 1) Apabila faktor $K > 100\%$, berarti air yang tersedia lebih banyak dari yang diperlukan. Pengelola dapat menetapkan pemberian debit yang lebih besar yang dialirkan dari bangunan utama, tetapi tidak melebihi debit rencana maksimum. Hal ini untuk memperluas areal tanam dan menghindari sedimentasi di saluran. Debit yang lebih besar ini harus dibuang secara baik dari jaringan irigasi melalui bangunan sadap tersier.
- 2) Apabila faktor $K < 100\%$, berarti kekurangan air. Jumlah air diambil maksimum dari bangunan utama, sedangkan pada bangunan sadap sekunder dan tersier disesuaikan menurut faktor K . Pengaturan pola pemberian air berdasarkan faktor K dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11. Pola pemberian air berdasarkan kriteria faktor K .

No	KRITERIA NILAI K	POLA PEMBERIAN AIR
1	$> 75\%$	Pembagian dilaksanakan secara kontinyu
2	50% - 75%	Giliran dalam petak tersier
3	25% - 50%	Giliran antar petak tersier
4	$\leq 25\%$	Giliran antar petak sekunder

Sumber: SNI. Pd T-08-2005-A

Teknis pembagian debit aliran pada saluran primer, sekunder dan tersier sistem giliran dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12. Teknis pemberian air pada saluran primer, sekunder, dan tersier berdasarkan kriteria faktor K .

GILIRAN	BANGUNAN UTAMA	SALURAN		
		PRIMER	SEKUNDER	TERSIER
1	75% s/d 100% Q rencana	Aliran terus menerus 75% - 100% Q rencana pada 100% waktu pemberian air	Aliran terus menerus 75% - 100% Q rencana pada 100% waktu pemberian air	Aliran terus menerus 75% - 100% Q rencana pada 100% waktu pemberian air
2	50% s/d 75% Q rencana	Aliran terus menerus 50% - 75% Q rencana pada 100% waktu pemberian air	Aliran terus menerus 50% - 75% Q rencana pada 50% waktu pemberian air	Aliran terus menerus 67% - 100% Q rencana pada 75% waktu pemberian air
3	25% s/d 50% Q rencana	Aliran terus menerus 25% - 50% Q rencana pada 100% waktu pemberian air	Aliran berselang 50% - 100% Q rencana pada 100% waktu pemberian air	Aliran berselang 50% - 100% Q rencana pada 50% waktu pemberian air
4	0% s/d 25% Q rencana	Aliran terus menerus 0% - 25% Q rencana pada 100% waktu pemberian air	Aliran berselang 0% - 50% Q rencana pada 50% waktu pemberian air	Aliran berselang 0% - 100% Q rencana pada 25% waktu pemberian air

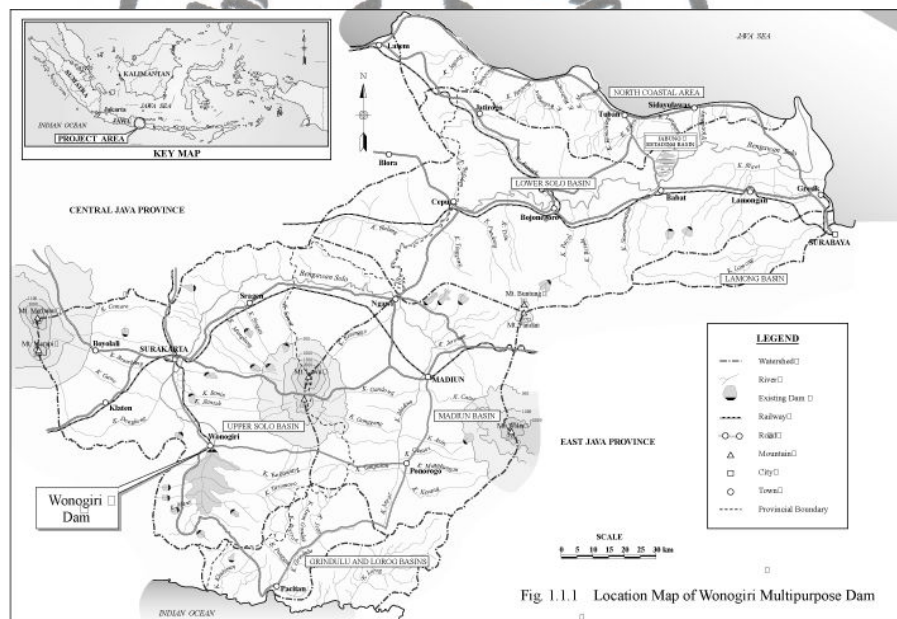
Sumber: Rudi Azuan (2009)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Pemilihan Lokasi Penelitian

Lokasi yang menjadi obyek studi adalah Waduk Wonogiri. Waduk ini merupakan waduk besar di sungai utama Bengawan Solo yang terletak di wilayah kabupaten Wonogiri Propinsi Jawa Tengah, tepatnya di desa Wuryorejo yang berjarak ± 2 km sebelah selatan Kota Wonogiri. Luas daerah tangkapan airnya 1350 km² dengan luas genangan waduk 90 km² dan luas daerah pengalirannya 1260 km². Lokasi Waduk Wonogiri sebagai objek penelitian disajikan pada Gambar 3.1. berikut:



Sumber : CDMP- Nippon Koei Co Ltd

Gambar 3.1. Peta lokasi penelitian.

Meningkatnya laju sedimentasi yang masuk ke Waduk Wonogiri merupakan permasalahan utama yang dihadapi pihak pengelola. Hal ini dapat memperpendek masa layan waduk yang semula direncanakan 100 tahun. Lajunya aliran sedimen yang masuk ke waduk akan mengurangi volume tampungan efektif (*effective storage*) sehingga fungsi dari waduk juga akan menurun.

commit to user

Penelitian ini menjadi penting karena dapat dijadikan alternatif penanganan waduk yang murah dan cepat dari segi pengoperasian waduk dengan mempertimbangkan perubahan tampungan yang telah terjadi. Pengoperasian pemberian air yang tepat dapat menyiasati keterbatasan ketersediaan air, sehingga diharapkan pemanfaatan air dapat digunakan seefisien dan seoptimal mungkin.

3.2. Pengumpulan Data

3.2.1. Data Teknis Waduk Wonogiri

Data teknis waduk meliputi data elevasi muka air waduk, pola operasi waduk eksisting, dan kapasitas tampungan waduk. Data waduk akan dikumpulkan dari laporan penelitian terdahulu dan instansi terkait antara lain dari *Study Comprehensif Development and Management Plan (CDMP-2001)*, *The Study on Counter Measures for Sedimentation in the Wonogiri Multipurpose Dam Reservoir* (2007), dan dari Perum Jasa Tirta I.

3.2.2. Data Elevasi – Volume Waduk Wonogiri

Informasi data hubungan elevasi dan volume waduk yang akan digunakan di penelitian ini diambil dari *The Study on Counter Measures for Sedimentation in The Wonogiri Multipurpose Dam Reservoir* (2007).

3.2.3. Data Inflow

Data *inflow* yang masuk ke Waduk Wonogiri didapatkan dari hasil analisis perhitungan Nippon Koei tahun 2005 dalam *JICA Report* tahun 2007 dan hasil analisis perhitungan Perum Jasa Tirta I bekerjasama dengan UNS dalam Laporan Penelitian Studi Optimasi Kapasitas Waduk Wonogiri di Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah tahun 2008.

3.2.4. Data Hujan

1. Hujan daerah aliran sungai

Data hujan rata-rata setengah bulanan di daerah aliran sungai dikumpulkan dari laporan penelitian terdahulu yaitu dari Laporan Penelitian Studi Optimasi

Kapasitas Waduk Wonogiri di Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah Tahun 2008.

2. Hujan di daerah irigasi yang dilayani oleh Waduk Wonogiri
Data hujan untuk daerah irigasi Colo yang digunakan bersumber dari Balai Pengelolaan Sumber Daya Air dan pada Laporan Sistem Planning Pekerjaan Detail Desain Rehabilitasi Saluran Induk Colo Timur tahun 2006.

3.2.5. Data Klimatologi

1. Data evapotranspirasi di DAS Waduk Wonogiri
Data evapotranspirasi yang digunakan merupakan hasil analisis perhitungan dari Perum Jasa Tirta I selaku pengelola waduk.
2. Data Klimatologi daerah Irigasi Colo
Data Klimatologi yang digunakan bersumber dari Perum Jasa Tirta I dan data hasil pencatatan harian di Stasiun Klimatologi Adi Sumarmo milik TNI Angkatan Udara Bagian Meteorologi.

3.2.6. Data Pola Tanam dan Luas Areal Daerah Irigasi yang Dilayani oleh Waduk Wonogiri

Data pola tanam beserta luas areal daerah irigasi yang sumber airnya dari Waduk Wonogiri didapat dari Laporan Sistem Planning Pekerjaan Detail Desain Rehabilitasi Saluran Induk Colo Timur tahun 2006 dan Laporan Sistem Planning Pekerjaan Detail Desain Rehabilitasi Saluran Induk Colo Barat tahun 2005. Sedangkan untuk data hasil pertanian Daerah Irigasi Colo per hektar didapatkan dari laporan penelitian terdahulu.

3.2.7. Data Alokasi Pemanfaatan Air Waduk Wonogiri

Data alokasi pemanfaatan air Waduk Wonogiri didapatkan dari Perum Jasa Tirta I sebagai pengelola waduk.

3.3. Analisis Data

3.3.1. Analisis Curah Hujan

1. Curah hujan di DAS Waduk Wonogiri

Data curah hujan yang berhasil dikumpulkan merupakan data hujan kawasan dari tahun 1989 hingga 2008. Hujan kawasan di DAS Waduk Wonogiri menggunakan koefisien *Thiessen* dari penelitian Jasa Tirta I bekerjasama dengan UNS. Koefisien ini juga dipakai dalam pekerjaan studi CDMP tahun 2001. Data rata-rata hujan kawasan di DAS waduk Wonogiri ini akan digunakan dalam perhitungan debit *inflow* andalan menggunakan Metode *Mock* (Sub Bab 2.2.3-4.) dengan terlebih dahulu mencari jumlah hujan dan jumlah hari hujan setengah bulanan.

2. Curah hujan di Daerah Irigasi Colo

a. Daerah Irigasi Colo Timur.

Data curah hujan yang berhasil dikumpulkan merupakan data hujan kawasan dari tahun 1990 hingga 2005. Hujan kawasan di DI Colo Timur menggunakan koefisien *Thiessen* dari Laporan Sistem Planning Pekerjaan Detail Desain Rehabilitasi Saluran Induk Colo Timur tahun 2006. Data rata-rata hujan kawasan di DI Colo Timur ini akan digunakan dalam perhitungan hujan efektif yang dapat diserap tanaman di DI Colo Timur, seperti yang telah dijelaskan dalam Sub Bab 2.2.5. point 3.e.

b. Daerah Irigasi Colo Barat

Data yang dikumpulkan merupakan data rata-rata curah hujan bulanan dari tahun 1989 hingga 2005 yang diperoleh dari Balai PSDA Bengawan Solo (Palur). Data ini akan dijadikan hujan rata-rata kawasan dengan menggunakan Rumus 2.1. yaitu dengan Metode Aritmatik. Proses selanjutnya dengan terlebih dahulu mencari hujan andalannya, data tersebut akan digunakan dalam perhitungan hujan efektif yang dapat diserap tanaman di DI Colo Barat, seperti yang telah dijelaskan dalam Sub Bab 2.2.5. point 3.e.

3.3.2. Analisis Evapotranspirasi

Analisis data evapotranspirasi dimaksudkan untuk mendapatkan perkiraan besaran penguapan yang terjadi di areal penelitian.

1. Evapotranspirasi di DAS Waduk Wonogiri

Evapotranspirasi rata-rata bulanan digunakan dalam perhitungan debit aliran yang masuk ke waduk dengan Metode *Mock*.

2. Evapotranspirasi di Daerah Irigasi Waduk Wonogiri

Data klimatologi yang telah dikumpulkan digunakan sebagai data masukan perhitungan besarnya penguapan yang terjadi di sawah (evapotranspirasi) di Daerah Irigasi Waduk Wonogiri. Cara perhitungannya menggunakan Rumus 2.3, yaitu dengan menggunakan Metode *Penman*. Metode *Penman* ini cukup teliti dan baik bila dilapangan tersedia data yang lengkap meliputi temperatur udara, kelembaban udara relatif, kecepatan angin, penyinaran matahari, atau radiasi. Detail cara perhitungan evapotranspirasi disajikan dalam Sub Bab 2.2.2.

Hasil perhitungan dengan menggunakan Metode *Penman* dibandingkan dengan data evapotranspirasi yang didapat dari Jasa Tirta I kemudian dipilih untuk digunakan dalam perhitungan kebutuhan air di sawah.

3.3.3. Analisis Debit Andalan

Jumlah hujan bulanan dan jumlah hari hujan digunakan sebagai masukan data dalam analisis debit aliran, dalam penelitian ini menggunakan Metode *Mock* dalam Sub Bab 2.2.3. Kemudian ditentukan debit andalannya dengan menggunakan Rumus 2.13.

Hasil perhitungan dengan Metode *Mock* dibandingkan dengan dua perhitungan debit andalan dari penelitian terdahulu yaitu *The Study on Counter Measures for Sedimentation in the Wonogiri Multipurpose Dam Reservoir (2007)* dan Penelitian Studi Optimasi Kapasitas Waduk Wonogiri di Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah.

3.3.4. Analisis Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi merupakan total air yang dibutuhkan sawah secara keseluruhan, mulai dari proses pengolahan lahan, pertumbuhan, hingga kehilangan air akibat pengaliran. Data curah hujan andalan dan evapotranspirasi diperlukan dalam analisis ini. Data tersebut diproses dengan menggunakan pendekatan Prosida sebagaimana yang telah dijelaskan dalam Sub Bab 2.2.5.

3.3.5. Analisis Operasi dan Koreksi Kebutuhan Air Irigasi

Data teknis Waduk Wonogiri dari Tim Koordinasi Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai (TK PSDA WS) Bengawan Solo merupakan acuan dalam melakukan simulasi operasi. Simulasi dilakukan dengan menggunakan hasil perhitungan dari analisis sebelumnya, yaitu analisis debit andalan dan analisis kebutuhan air irigasi. Simulasi operasi waduk dilakukan berdasarkan pola operasi yang telah ditetapkan oleh TK PSDA WS Bengawan Solo dan alternatif pemberian air seragam sepanjang tahun.

Koreksi kebutuhan air irigasi didapatkan dari perbandingan kebutuhan air dengan ketersediaan air, seperti penjelasan dalam Sub Bab 2.2.7. Kebutuhan air diperoleh dari hasil analisis kebutuhan air sebelumnya, sedangkan ketersediaan air merupakan debit keluaran outflow hasil simulasi operasi waduk dalam Sub Bab 3.3.5. Output dari analisis ini adalah besaran koreksi kebutuhan air irigasi (faktor K).

3.3.6. Analisis Hasil Pertanian

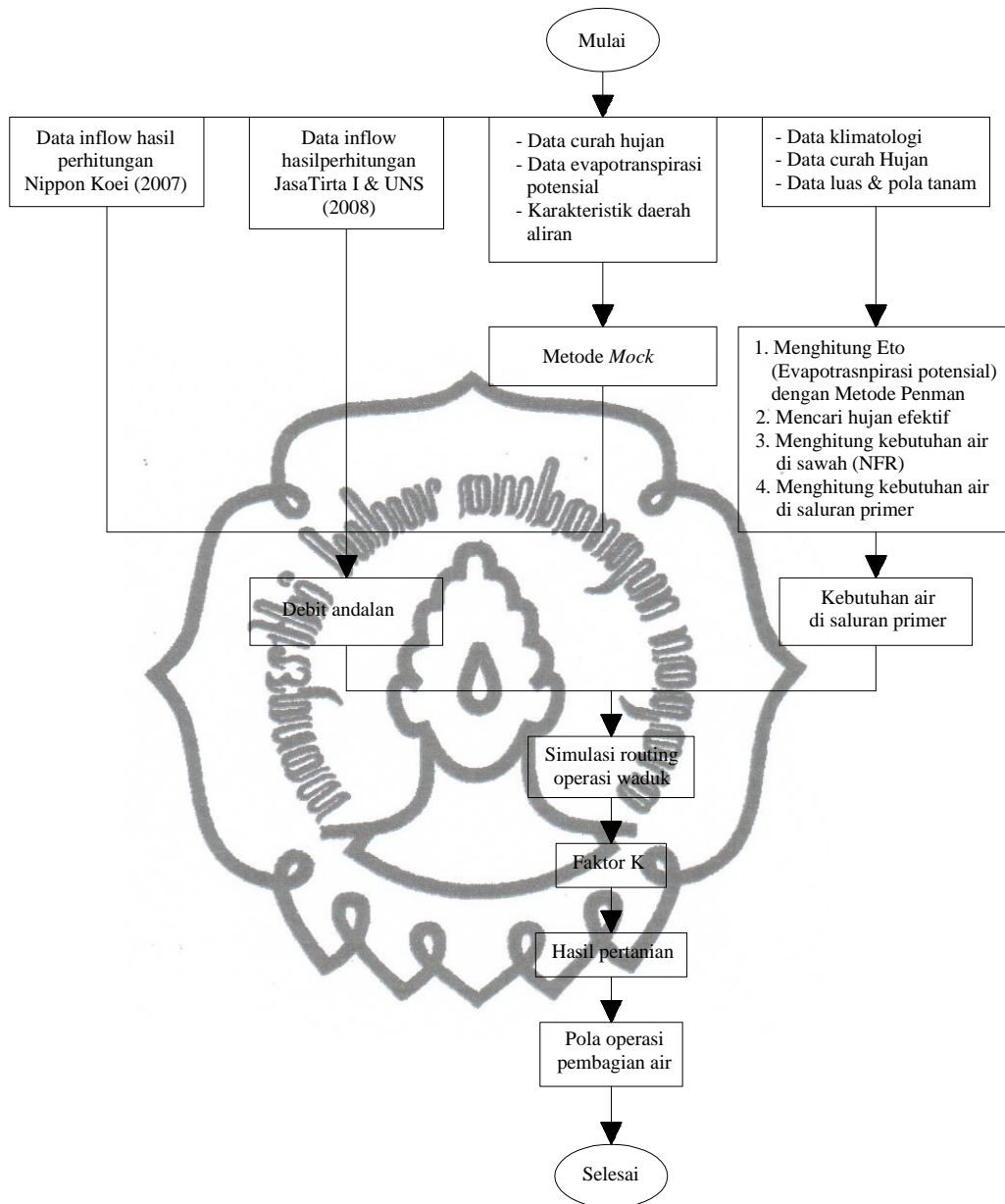
Analisis hasil pertanian dilakukan dengan mengalikan data hasil pertanian per hektar dengan luas daerah irigasi yang berpengaruh. Hasil pertanian yang didapatkan tergantung dari faktor K dan tanaman yang di tanam di Daerah Irigasi Colo yaitu padi dan palawija. Penjelasan mengenai analisis ini termuat dalam Sub Bab 2.2.8.

3.3.7. Analisis Optimasi Pemberian Air

Optimasi pemberian air dilakukan setelah diketahui bahwa terjadi kekurangan air dari analisis faktor K sebelumnya. Faktor K dari simulasi operasi waduk yang digunakan adalah faktor K yang setelah dianalisis mendapatkan hasil pertanian terbanyak. Pengoptimalan penggunaan air yang tersedia dapat dilakukan dengan rotasi teknis/golongan. Hal ini dilakukan karena alternatif pilihan lain yaitu mengurangi areal irigasi dan modifikasi pola tanam tidak dapat dilakukan dengan pertimbangan semakin bertambahnya kebutuhan pokok pangan. Metode yang digunakan dalam analisis ini termuat dalam Sub Bab 2.2.9.

3.4. Diagram Alir Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan analisis. Pertama-tama dengan menganalisis debit *inflow* andalan Waduk Wonogiri dan menghitung kebutuhan air irigasi yang dilayaninya kemudian kedua hasil analisis tersebut dijadikan data masukan dalam simulasi operasi waduk. Nilai koreksi kebutuhan air irigasi (faktor K) didapatkan dari simulasi operasi waduk kemudian dari kisaran nilai faktor K ini maka dapat diatur pola operasi pembagian air irigasi. Pola operasi yang digunakan dalam analisis ini adalah pola operasi dengan faktor K yang setelah diproses menghasilkan hasil pertanian yang terbanyak. Diagram alir metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram alir metode penelitian.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Analisis Data

4.1.1. Analisis Curah Hujan

Perhitungan curah hujan kawasan dimaksudkan untuk mengetahui besarnya curah hujan yang mewakili wilayah yang akan ditinjau.

1. Curah hujan DAS Waduk Wonogiri

Curah hujan di DAS Waduk Wonogiri merupakan gambaran besaran curah hujan yang jatuh di kawasan tersebut. Data ini kemudian akan ditransfer menjadi debit aliran dengan menggunakan Metode *Mock* dengan terlebih dahulu mencari jumlah hujan rata-rata kawasan dan jumlah hari hujan dalam sebulan.

Hujan kawasan di DAS Waduk Wonogiri merupakan rata-rata curah hujan dari stasiun Pracimantoro (No: 115.a.), stasiun Jatisrono (No: 131), stasiun Batuwarno (No: 115), dan stasiun Tirtomoyo (No: 131.a.). Data curah hujan kawasan di DAS Waduk Wonogiri ini digunakan untuk mendapatkan jumlah curah hujan dan banyaknya hari hujan per setengah bulanan. Contoh perhitungan jumlah hujan rata-rata tengah bulan dan hari hujan dari 1 Januari 1989 hingga 15 Januari 1989 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1. Data rata-rata hujan kawasan di DAS Waduk Wonogiri pada bulan Januari I tahun 1989.

Tgl	Curah Hujan (mm)	Tgl	Curah Hujan (mm)	Tgl	Curah Hujan (mm)
1/1	2,5	6/1	31,6	11/1	15,0
2/1	1,7	7/1	11,5	12/1	14,3
3/1	5,5	8/1	0,0	13/1	2,6
4/1	9,1	9/1	3,0	14/1	12,5
5/1	7,6	10/1	36,6	15/1	5,6

Sumber: Laporan Penelitian Studi Optimasi Kapasitas Waduk Wonogiri, 2008

Jumlah curah hujan setengah bulanan didapat dari penjumlahan rata-rata hujan kawasan dari tanggal 1 hingga 15 bulan Februari 1989.

Curah hujan setengah bulanan = 158,89 mm/bln

Jumlah hari hujan = 14 hari

Perhitungan jumlah curah hujan setengah bulanan, dan hari hujan dapat dilihat di Tabel Lampiran B.1.a-B.2.b.

2. Curah hujan Daerah Irigasi Colo Timur

Curah hujan rata-rata kawasan di Daerah Irigasi Colo Timur merupakan besarnya curah hujan yang jatuh di daerah tersebut. Hujan kawasan dianggap mewakili seluruh wilayah Daerah Irigasi Colo Timur. Data ini kemudian digunakan sebagai masukan dalam analisis kebutuhan air irigasi di Daerah Irigasi Colo Timur.

Hujan rata-rata kawasan di Daerah Irigasi Colo Timur merupakan rata-rata hujan dari stasiun Wd Mulur (No: S.12.), stasiun Trani (No: 110.b.), dan stasiun Masaran (No: S.109.a.). Data ini kemudian digunakan dalam perhitungan curah hujan dengan kemungkinan terpenuhi 80 % dari pendekatan distribusi normal. Contoh perhitungan curah hujan probabilitas 80% pada bulan Januari tahun 1990-Desember 2005 adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2. Data rata-rata hujan kawasan di Daerah Irigasi Colo Timur pada bulan Januari tahun 1990 - 2005.

Bulan	Curah Hujan (mm/bln)	Bulan	Curah Hujan (mm/bln)
Jan 1990	363	Jan 1998	279
Jan 1991	410	Jan 1999	389
Jan 1992	336	Jan 2000	269
Jan 1993	401	Jan 2001	377
Jan 1994	467	Jan 2002	410
Jan 1995	376	Jan 2003	214
Jan 1996	237	Jan 2004	172
Jan 1997	140	Jan 2005	185

Sumber: Laporan Sistem Planning Detail Desain Rehabilitasi Saluran Induk Colo Timur

$$\begin{aligned}
 \text{- Curah hujan} &= P \\
 \text{- Hujan rata-rata} &= \frac{\sum P}{x} \\
 &= \frac{5.025}{16} \\
 &= 314,06 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Standart deviasi (Sd) = 95,22 mm
- Besarnya hujan andalan (R_{80}) = $P_{rata-rata} - K_f \cdot Sd$
 = $314,06 - 0.842 \times 95,22$
 = 233,88 mm/bln
 = 7,54 mm/hari

Hasil perhitungan hujan R_{80} selengkapnya dapat dilihat dalam Tabel Lampiran D.1.

3. Curah hujan Daerah Irigasi Colo Barat

Sama halnya dengan Daerah Irigasi Colo Timur, curah hujan rata-rata kawasan di Daerah Irigasi Colo Barat dianggap mewakili seluruh wilayah Daerah Irigasi Colo Barat. Data ini kemudian digunakan sebagai masukan dalam analisis kebutuhan air irigasi di Daerah Irigasi Colo Barat.

Perhitungan curah hujan kawasan di daerah irigasi Colo Barat menggunakan rerata aritmatik (aljabar). Setelah didapatkan data rata-rata hujan kawasan kemudian dicari curah hujan dengan probabilitas 80 %. Contoh perhitungan curah hujan kawasan pada bulan Januari tahun 1991 adalah sebagai berikut:

- Curah hujan di stasiun Baki (No: 76.a.) = 510 mm/bln
- Curah hujan di stasiun Weru (No: 97) = 359 mm/ bln
- Curah hujan di stasiun Nguter (No: 128.b.) = 308 mm/ bln

$$\begin{aligned} \text{Curah hujan rata-rata} &= \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_n}{n} \\ &= \frac{510 + 359 + 308}{3} \\ &= 392 \text{ mm/bln} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan curah hujan rata-rata kawasan seperti yang disajikan di atas, kemudian dihitung curah hujan dengan probabilitas 80 % (R_{80}). Contoh perhitungan R_{80} pada bulan Januari tahun 1991-2008 dihitung dengan cara sebagai berikut:

Tabel 4.3. Data rata-rata hujan kawasan di Daerah Irigasi Colo Timur pada bulan Januari tahun 1991-2008.

Tgl	Curah Hujan (mm)	Tgl	Curah Hujan (mm)
Jan 1991	392	Jan 1999	366
Jan 1992	299	Jan 2000	238
Jan 1993	372	Jan 2001	444
Jan 1994	331	Jan 2002	383
Jan 1995	378	Jan 2007	155
Jan 1996	286	Jan 2008	227
Jan 1997	227		
Jan 1998	261		

$$\begin{aligned}
 \text{- Hujan rata-rata} &= \frac{\sum P}{x} \\
 &= \frac{4.359}{14} \\
 &= 311,33 \text{ mm} \\
 \text{- Standart deviasi (Sd)} &= 82,13 \text{ mm} \\
 \text{- Besarnya hujan andalan (R}_{80}\text{)} &= P_{\text{rata-rata}} - K_f \cdot Sd \\
 &= 311,33 - 0.842 \times 82,13 \\
 &= 242,18 \text{ mm/bln} \\
 &= 7,81 \text{ mm/hari}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan hujan R_{80} selengkapnya dapat dilihat dalam Tabel Lampiran B.7.

4.1.2. Analisis Evapotranspirasi

Analisis data evapotranspirasi dimaksudkan untuk mendapatkan perkiraan besaran penguapan yang terjadi di areal penelitian.

1. Evapotranspirasi di DAS Waduk Wonogiri

Nilai evapotranspirasi di DAS Waduk Wonogiri merupakan besaran penguapan air dan tanaman yang terjadi di daerah tersebut. Nilai ini akan digunakan dalam perhitungan debit aliran dengan menggunakan Metode *Mock* dengan terlebih dahulu merata-rata bulanan nilai tersebut. Contoh perhitungan evapotranspirasi rata-rata bulanan pada Januari I tahun 1989–2005 disajikan sebagai berikut:

Tabel 4.4. Data evapotranspirasi di DAS Waduk Wonogiri pada bulan Januari I tahun 1989 - 2005.

Tgl	Evapotranspirasi (mm/hari)	Tgl	Evapotranspirasi (mm/hari)
Jan 1989	3,6	Jan 1998	2,6
Jan 1990	3,5	Jan 1999	1,1
Jan 1991	3,8	Jan 2000	2,3
Jan 1992	2,7	Jan 2001	1,9
Jan 1993	2,1	Jan 2002	2,2
Jan 1994	2,4	Jan 2003	2,5
Jan 1995	2,6	Jan 2004	3,3
Jan 1996	2,0	Jan 2005	3,8
Jan 1997	2,5		

Sumber: Perum Jasa Tirta I

$$\begin{aligned}
 & \text{- Evapotranspirasi} && = \text{Eva} \\
 & \text{- Rata – rata Eva} && = \frac{\sum \text{Eva}}{x} \\
 & && = \frac{44,9}{17} \\
 & && = 2,6 \text{ mm/hari}
 \end{aligned}$$

Perhitungan evapotranspirasi rata-rata bulanan di DAS Waduk Wonogiri dapat dilihat dalam Tabel Lampiran B.11.

2. Evapotranspirasi di Daerah Irigasi Waduk Wonogiri

Evapotranspirasi di Daerah Irigasi Waduk Wonogiri adalah penguapan air dan tanaman yang terjadi di daerah tersebut. Nilai evapotranspirasi dapat diketahui dari perhitungan dengan menggunakan Metode *Penman* dan hasil perhitungan yang dilakukan oleh Perum Jasa Tirta I.

Perhitungan dengan menggunakan Metode *Penman* dilakukan dengan memasukkan parameter pencatatan klimatologi di Stasiun Klimatologi Adi Sumarmo milik TNI Angkatan Udara Bagian Meteorologi yang berada pada 07°52' LS dan 110°55' BT dengan ketinggian +104,00 m. Data klimatologi yang digunakan meliputi data kelembaban udara, kecepatan angin, lama peyinaran matahari, dan suhu udara. Contoh perhitungan Evapotranspirasi menggunakan Metode *Penman* pada bulan Januari adalah sebagai berikut:

commit to user

- Temperatur (t) = 26,51 °C

- Kelembaban relatif (h) = 83,91 %

- Kecepatan angin (U_2) = 2,13 m/dt

- Rasio keawanan (n/N) = 43,51 %

- Koefisien pemantulan (r) = 0,25

- Radiasi angot (RA) = 945,16 cal/cm²/hari
(Tabel Lampiran B.22.)

- Tekanan uap jenuh rata – rata (ea) = 26,04 mmHg
(Tabel Lampiran B.21.a-b.)

- Tekanan uap jenuh air di udara (ed) = ea x h
= 26,04 x 83,91 %
= 21,85 mmHg

- Tangen lengkung tekanan uap jenuh (Δ) = 1,53 mmHg/°C
(Tabel Lampiran B.23.)

- Suhu absolut (Ta) = 273 + t °C
= 273 + 26,51
= 299,51 K

- Radiasi benda hitam (Ta⁴) = 118,0 x 10⁻⁹ Ta
= 118,0 x 10⁻⁹ x 299,51
= 949,62 cal/cm²/hari

- RI = RA · (1 - r) · (a + b · n/N)
= 945,16 (1 - 0,25) (0,28 + 0,48.43,51)
= 346,53 cal/cm²/hari

- RB = Ta⁴ · (0,47 - 0,077 · √ed) · (0,2 + 0,8 · n/N)
= 949,62 (0,47 - 0,077 · √21,85) (0,2 + 0,8.43,51 5)
= 57,28 cal/cm²/hari

- H = RI - RB
= 346,53 - 57,28
= 289,25 cal/cm²/hari

- Parameter aliran uap (Ea) = 0,35 · (ea - ed) · (0,5 + 0,54 · U₂)
= 0,35 (26,04 - 21,85) (0,5 + 0,54 · 2,13)
= 2,42 mm/hari

- Evapotranspirasi Potensial harian (Eto) = $\frac{\Delta H / 60 + \gamma \cdot Ea}{\Delta + \gamma}$
= $\frac{1,53 \cdot 289,25 / 60 + 0,49 \cdot 2,42}{1,53 + 0,49}$
= 4,24 mm/hari

- Evapotranspirasi Potensial bulanan = Eto x n hari
= 4,24 x 31
= 131,406 mm/bln

Hasil perhitungan evapotranspirasi dengan menggunakan Metode *Penman* kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan evapotranspirasi oleh Perum Jasa Tirta I, kemudian salah satunya dipilih untuk digunakan dalam analisis kebutuhan air irigasi. Pemilihan ini dilakukan dengan mempertimbangkan besarnya curah hujan yang terjadi di Daerah Irigasi Waduk Wonogiri. Hasil perhitungan keduanya dan R_{80} DI Colo Timur & Barat disajikan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil perhitungan evapotranspirasi di daerah irigasi (mm/hari).

Hasil Perhitungan	Eto		R ₈₀
	Penman (mm/hari)	Jasa Tirta (mm/hari)	Irigasi Colo (mm/hari)
Jan	4,24	2,64	7,68
Feb	3,88	2,43	8,86
Mar	4,12	2,87	5,84
Apr	4,25	3,37	5,07
Mei	4,20	3,52	1,21
Jun	4,00	3,45	0,05
Jul	4,37	3,71	0,00
Agt	5,01	4,35	0,09
Sep	5,92	5,00	0,00
Okt	5,49	4,32	1,11
Nov	5,19	3,62	3,77
Des	4,23	3,06	3,95

Sumber: Hasil perhitungan & Perum Jasa Tirta I

Dari hasil perhitungan yang disajikan dalam Tabel 4.5. tersebut dapat diketahui bahwa angka penguapan dari hasil perhitungan dengan menggunakan Metode *Penman* lebih besar bila dibandingkan dengan hasil perhitungan Perum Jasa Tirta I. Angka ini kurang cocok dengan keadaan Daerah Irigasi Colo yang curah hujannya cenderung lebih rendah dibandingkan penguapannya khususnya pada bulan-bulan hujan yaitu bulan November hingga April. Hal ini dimungkinkan terjadi karena stasiun pencatatan klimatologi yang diambil letaknya berada di tanah lapang sehingga nilai evaporasinya tinggi karena dipengaruhi oleh angin. Dari analisis ini maka angka evapotranspirasi dari hasil perhitungan Perum Jasa Tirta I digunakan dalam perhitungan analisis selanjutnya yaitu analisis kebutuhan air irigasi.

4.1.3. Analisis Debit Aliran

Besarnya debit *inflow* dapat diketahui dari hasil penelitian terdahulu yaitu oleh Nippon Koei (2005) dan Perum Jasa Tirta I & UNS (2008) atau dengan menggunakan metode perhitungan transfer debit dari curah hujan ke debit aliran yaitu Metode *Mock*. Contoh perhitungan debit *inflow* dengan menggunakan metode *Mock* pada bulan Januari I tahun 1989 disajikan dalam penjelasan berikut ini:

1. Data dan parameter

Data dan parameter yang digunakan dalam perhitungan debit dengan Metode *Mock* adalah:

- a. Besarnya nilai evapotranspirasi diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan Metode *Penman*,
- b. Luas cathment area sebesar 1350 km². Data ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari *The Study on Counter Measures for Sedimentation in the Wonogiri Multipurpose Dam Reservoir* (2007),
- c. Jumlah curah hujan dan hari hujan didapatkan dari rata-rata hujan kawasan mulai tahun 1989 hingga 2008,
- d. Prosentase lahan yang tidak tertutup vegetasi (m_L) = 20 % yaitu untuk lahan yang diolah dan menerus berubah menurut kondisi iklim,
- e. Kelembaban air tanah permulaan (*soil moisture capacity*). SMC = 150 mm,
- f. Tampunguan air tanah permulaan (*initial storage*), I_s = 130 mm,
- g. Koefisien infiltrasi. i = 0,4,
- h. Faktor resesi aliran air tanah. k = 0,6.

2. Perhitungan dengan menggunakan Metode *Mock*

Data

- | | |
|-------------------|-----------------|
| a. Curah hujan, P | = 158,89 mm/bln |
| b. Hari hujan, y | = 14 hari |
| Jumlah hari, z | = 15 hari |
| $d = z - y$ | = 15 - 14 |
| | = 1 hari |

Evapotranspirasi terbatas

- | | |
|------------------------------------|----------------|
| c. <i>Evapotranspiration</i> , Eto | = 54,00 mm/bln |
| d. <i>Exposed surface</i> , m_L | = 20 % |

$$\begin{aligned}
 \text{e. } E &= E_p \times (d/h) \times m_L \\
 &= 54,00 \times (1/15) \times 20 \% \\
 &= 0,72 \text{ mm/bln} \\
 \text{f. } E_t &= E_{to} - E \\
 &= 54,00 - 0,72 \\
 &= 53,28 \text{ mm/bln}
 \end{aligned}$$

Keseimbangan air

$$\begin{aligned}
 \text{g. } \textit{Precipitation flood} &= PF \times P \\
 &= 0,05 \times 158,89 \\
 &= 7,94 \text{ mm/bln} \\
 \text{h. } \textit{Soil storage} &= P - E_t - \textit{Precipitation flood} \\
 &= 158,89 - 53,28 - 7,94 \\
 &= 97,66 \text{ mm/bln} \\
 \text{i. } \textit{Soil moisture} &= SMC + \textit{Soil storage} \\
 &= 150 + 97,66 \\
 &= 247,66 \text{ mm/bln} \\
 \text{j. } \textit{Water surplus} &= P - E_t \\
 &= 158,89 - 53,28 \\
 &= 105,61 \text{ mm/bln}
 \end{aligned}$$

Aliran dan tampungan air tanah

$$\begin{aligned}
 \text{k. } \textit{Infiltration} &= \textit{Water surplus} \times I \\
 &= 105,61 \times 0,4 \\
 &= 42,24 \text{ mm/bln} \\
 \text{l. } \textit{Storage volume} &= (0,5 \times (1+k) \times I) + (k \times V_{(n-1)}) \\
 &= (0,5 \times (1+0,6) \times 0,4) + (0,6 \times 130) \\
 &= 111,79 \text{ mm/bln} \\
 \text{m. } \textit{Base flow} &= \textit{Infiltrasi} - (V_n - V_{(n-1)}) \\
 &= 42,24 - (111,79 - 130) \\
 &= 60,45 \text{ mm/bln} \\
 \text{n. } \textit{Direct run off} &= \textit{Base flow} - \textit{Infiltrasi} \\
 &= 60,45 - 42,24 \\
 &= 18,21 \text{ mm/bln} \\
 \text{o. } \textit{Run off} &= \textit{Base flow} + \textit{Direct run off} \\
 &= 60,45 + 18,21 \\
 &= 78,66 \text{ mm/bln} \\
 \text{p. } \textit{Efective Discharge} &= ((\textit{Run off} \times 0,001) / (3600 \times 24 \times 16)) \times CA \times 10^6 \\
 &= ((78,66 \times 0,001) / (3600 \times 24 \times 16)) \times 1350 \times 10^6 \\
 &= 128,97 \text{ m}^3/\text{dt}
 \end{aligned}$$

Besarnya debit *inflow* hasil perhitungan dengan menggunakan Metode *Mock* dapat dilihat pada Tabel Lampiran C.1.a-t.

4.1.4. Analisis Debit Andalan

Debit andalan dimaksudkan untuk mengetahui nilai kuantitatif debit yang tersedia sepanjang tahun, baik di musim kemarau ataupun musim hujan. Untuk irigasi umumnya menggunakan debit andalan sebesar 80 % (Q_{80}), yang artinya resiko yang akan dihadapi karena terjadinya debit yang lebih kecil dari debit andalan sebesar 20 % banyaknya pengamatan. Contoh perhitungan debit andalan dengan menggunakan Metode *Mock* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.6. Data debit *inflow* menggunakan Metode *Mock* bulan Januari tahun 1989-2008.

Bulan	Curah Hujan (mm/bln)	Bulan	Curah Hujan (mm/bln)
Jan 1989	128,97	Jan 1999	70,41
Jan 1990	71,28	Jan 2000	18,40
Jan 1991	116,37	Jan 2001	101,29
Jan 1992	106,10	Jan 2002	0,02
Jan 1993	57,73	Jan 2003	75,65
Jan 1994	51,78	Jan 2004	18,46
Jan 1995	74,64	Jan 2005	0,00
Jan 1996	30,79	Jan 2006	2,17
Jan 1997	25,73	Jan 2007	0,00
Jan 1998	31,30	Jan 2008	15,57

Data-data tersebut di atas kemudian diurutkan dari terbesar hingga terkecil untuk dicari probabilitasnya. Adapun urutan data dari terbesar ke terkecil dapat dilihat pada Tabel 4.7. berikut ini:

Tabel 4.7. Data debit *inflow* menggunakan Metode *Mock* bulan Januari tahun 1989-2008 diurutkan dari terbesar hingga terkecil.

No	P (%)	Jan I	No	P (%)	Jan I
1	4,762	128,972	11	52,381	31,299
2	9,524	116,367	12	57,143	30,787
3	14,286	106,099	13	61,905	25,732
4	19,048	101,295	14	66,667	18,456
5	23,810	75,654	15	71,429	18,397
6	28,571	74,636	16	76,190	15,573
7	33,333	71,279	17	80,952	2,170
8	38,095	70,406	18	85,714	0,019
9	42,857	57,733	19	90,476	0,002
10	47,619	51,775	20	95,238	0,000

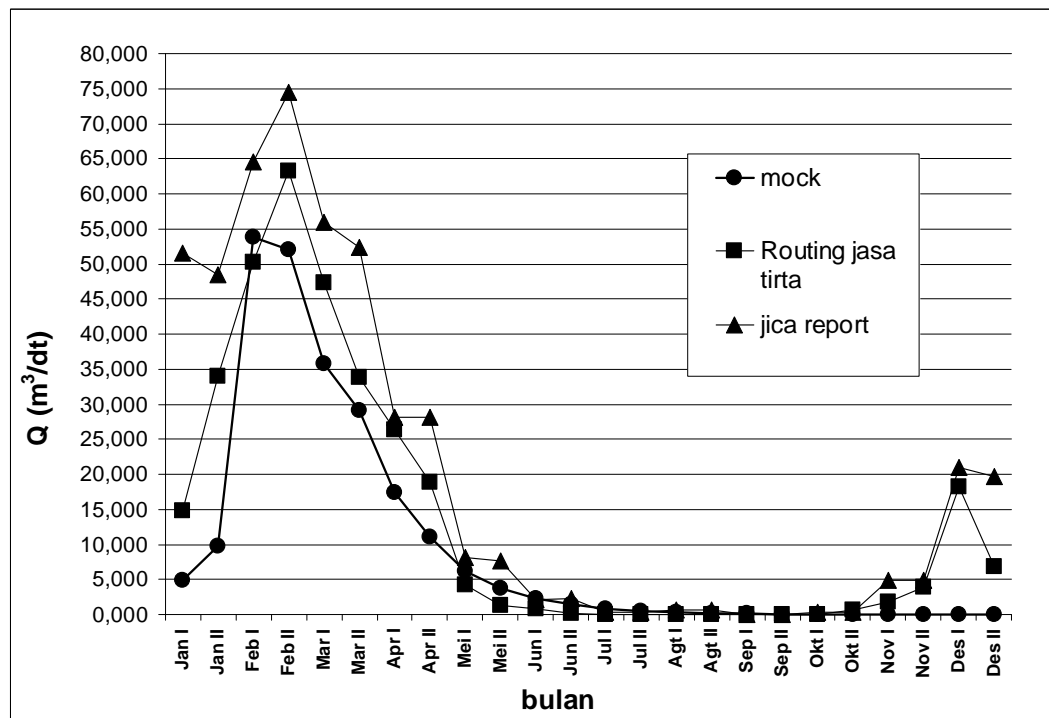
Debit *inflow* andalan yang digunakan adalah debit *inflow* dengan probabilitas 80%. Debit dengan probabilitas 80 % didapatkan dari interpolasi antara data dengan probabilitas 76,190 % atau data dengan nomer urut 16 dan data dengan probabilitas 80,952 % atau data dengan nomer urut 17 sehingga didapatkan nilai debit *inflow* andalan 80 % sebesar 4,85 m³/dt.

Hasil perhitungan debit *inflow* andalan dengan menggunakan Metode *Mock* kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan dari penelitian sebelumnya kemudian salah satunya dipilih untuk digunakan dalam analisis keseimbangan air di waduk. Pemilihan ini dilakukan dengan mempertimbangkan rentang waktu data dan pola debit *inflow*. Hasil perhitungan menggunakan Metode *Mock* dan hasil perhitungan dari penelitian terdahulu disajikan dalam Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Debit andalan dari berbagai macam metode perhitungan (m³/dt).

Bulan	Mock	PJT I	JICA	Bulan	Mock	PJT I	JICA
Jan I	4,85	14,72	51,62	Jul I	0,85	0,00	0,39
Jan II	9,68	34,02	48,39	Jul II	0,48	0,00	0,36
Feb I	53,76	50,26	64,58	Agt I	0,31	0,00	0,62
Feb II	52,06	63,21	74,52	Agt II	0,17	0,00	0,58
Mar I	35,77	47,33	55,86	Sep I	0,11	0,00	0,00
Mar II	29,05	33,77	52,37	Sep II	0,07	0,00	0,00
Apr I	17,34	26,32	28,16	Okt I	0,04	0,00	0,39
Apr II	11,13	18,88	28,16	Okt II	0,02	0,64	0,36
Mei I	6,24	4,20	8,18	Nov I	0,01	1,85	4,94
Mei II	3,74	1,27	7,67	Nov II	0,02	3,84	4,94
Jun I	2,36	0,76	2,16	Des I	0,04	18,21	20,91
Jun II	1,41	0,17	2,31	Des II	0,01	6,78	19,60

Sumber: PJT I dari hasil perhitungan PJT I & UNS 2008,
JICA dari hasil perhitungan Nippon Koei 2005.



Gambar 4.1. Debit *inflow* andalan

Dari grafik di atas dapat dilihat pola debit *inflow* andalan yang terjadi di Waduk Wonogiri. Pola debit *inflow* andalan hasil perhitungan menggunakan *routing inflow* oleh PJT I & UNS (2008) hampir sama bila dibandingkan dengan pola debit andalan yang pernah dilakukan oleh Nippon Koei pada tahun 2004/2005 dalam Laporan JICA tahun 2007. Hal ini berbeda dengan pola debit andalan hasil perhitungan menggunakan Metode *Mock* yang cenderung tidak sama, yaitu pada bulan November hingga Desember.

Dengan membandingkan debit andalan dari ketiga hasil perhitungan tersebut, maka untuk menghitung operasi waduk digunakan debit andalan dari hasil perhitungan menggunakan Metode *Routing* waduk dengan pertimbangan:

1. Perhitungan debit andalan yang digunakan oleh Nippon Koei menggunakan data pencatatan hujan tahun 1983-2005, sehingga data yang digunakan tidak aktual.
2. Diperlukan data dan parameter yang tidak diketahui dalam perhitungan menggunakan Metode *Mock*, sehingga hasil belum dapat dipastikan

keakuratannya meskipun pola hasilnya telah dikalibrasi dengan hasil debit andalan oleh Nippon Koei.

3. Perhitungan debit andalan menggunakan Metode *Routing Inflow* dilakukan dengan menggunakan data pencatatan harian, sehingga hasil dari penelitian mampu menggambarkan kondisi waduk sebenarnya.

Dari Gambar 4.1. dapat diketahui bahwa debit andalan maksimum dengan perhitungan Metode *Routing Inflow* terjadi pada bulan-bulan basah yaitu pada musim penghujan. Debit andalan puncak yang terjadi sebesar $63,21 \text{ m}^3/\text{dt}$ pada setengah bulan kedua bulan Februari (Februari II), sedangkan debit andalan cenderung menurun di musim kemarau yaitu dimulai pada awal setengah bulan pertama bulan Mei (Mei I) hingga akhir setengah bulan kedua bulan Oktober (Oktober II).

Dari hasil perhitungan yang dilakukan oleh PJT I & UNS dapat diketahui bahwa pada awal setengah bulan pertama bulan Juli (Juli I) hingga akhir setengah bulan pertama bulan Oktober (Oktober I) tidak ada aliran yang masuk ke waduk, hal ini dikarenakan besarnya evaporasi yang terjadi di waduk sedangkan curah hujan yang terjadi relatif kecil. Debit andalan rata-rata menggunakan Metode *Routing Inflow* sebesar $13,59 \text{ m}^3/\text{dt}$.

4.1.5. Analisis Kebutuhan Air Irigasi

Analisis kebutuhan air irigasi dimaksudkan untuk mengetahui besarnya kebutuhan air yang harus disediakan agar tanaman dapat tumbuh dan berkembang dengan baik. Perhitungan kebutuhan air irigasi dilakukan dengan menjumlahkan besarnya air yang dibutuhkan di sawah (penguapan, peresapan, penjumlahan tanah, dan penggenangan) dan kehilangan selama penyaluran. Besarnya satuan kebutuhan air di sawah dihitung dengan satuan kebutuhan air setiap satuan luas. Contoh perhitungan kebutuhan air irigasi di Daerah Irigasi Colo Timur disajikan selengkapnya sebagai berikut:

1. Evapotranspirasi potensial (Eto)

Hasil perhitungan evapotranspirasi sesuai dengan hasil analisis evapotranspirasi di daerah Irigasi sebelumnya ada pada sub bab 4.2.2. *point 2.*

2. Hujan R_{80} dan curah hujan efektif

a. Hujan R_{80}

Hasil perhitungan hujan andalan sesuai dengan hasil analisis evapotranspirasi di Daerah Irigasi Colo Timur sebelumnya yaitu pada Sub Bab 4.2.1. *point 2.*

b. Curah hujan efektif

Perhitungan curah hujan efektif dimaksudkan untuk mengetahui besarnya curah hujan yang dapat diserap langsung oleh tanaman. Curah hujan efektif tergantung jenis tanaman dan phase pertumbuhan tanaman. Contoh perhitungan curah hujan efektif tanaman padi unggul pada bulan Januari di Daerah Irigasi Colo Timur dijelaskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Re &= 0,12 \times R_{80} \\ &= 0,12 \times 7,54 = 0,91 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk palawija besarnya curah hujan ditentukan dengan metode setengah bulanan yang dihubungkan dengan curah hujan andalan serta evapotranspirasi tanaman rata-rata bulanan. Contoh perhitungan curah hujan efektif tanaman palawija pada bulan Januari di Daerah Irigasi Colo Timur dijelaskan sebagai berikut:

- Evapotranspirasi potensial (Eto) = 2,64 mm/hari
- Curah hujan bulanan rata – rata 20% kering= 233,88 mm/bln
- Et crop rata – rata bulanan = Eto x c x n
= 2,64 x 1,2 x 1,15 x 31
= 94,21 mm
- Dari tabel A.27 KP 01 = 140,05 mm
(dengan interpolasi didapatkan curah hujan efektif)
- Koreksi hujan efektif = 1,07 x 140,05
= 149,85 mm
- Hujan efektif harian terkoreksi (Re.t) = 149,85/31
= 4,83 mm/hari

Hasil perhitungan hujan efektif tanaman padi dan palawija di Derah Irigasi Colo Barat dan Timur dapat dilihat dalam Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Curah hujan efektif (mm/hari).

Tanaman	DI	2 minggu ke-	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des
Padi	Colo Timur	1	0,91	1,01	0,70	0,64	0,14	0,01	0,00	0,02	0,00	0,14	0,53	0,57
		2	2,64	2,95	2,04	1,87	0,41	0,03	0,00	0,07	0,00	0,42	1,54	1,66
		3	3,62	4,05	2,80	2,56	0,56	0,04	0,00	0,09	0,00	0,57	2,11	2,27
		4	3,77	4,22	2,92	2,67	0,58	0,05	0,00	0,09	0,00	0,60	2,20	2,36
		5	3,02	3,38	2,34	2,14	0,47	0,04	0,00	0,07	0,00	0,48	1,76	1,89
		6	3,02	3,38	2,34	2,14	0,47	0,04	0,00	0,07	0,00	0,48	1,76	1,89
		7	3,02	3,38	2,34	2,14	0,47	0,04	0,00	0,07	0,00	0,48	1,76	1,89
		8	2,04	2,28	1,58	1,44	0,31	0,03	0,00	0,05	0,00	0,32	1,19	1,28
		9	0,98	1,10	0,76	0,69	0,15	0,01	0,00	0,02	0,00	0,16	0,57	0,61
	Colo Barat	1	0,94	1,11	0,70	0,58	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,38	0,38
		2	2,73	3,24	2,04	1,68	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	1,10	1,11
		3	3,75	4,45	2,80	2,30	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	1,51	1,52
		4	3,91	4,64	2,92	2,40	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	1,57	1,58
		5	3,12	3,71	2,33	1,92	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	1,26	1,27
		6	3,12	3,71	2,33	1,92	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	1,26	1,27
		7	3,12	3,71	2,33	1,92	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	1,26	1,27
		8	2,11	2,50	1,57	1,30	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	0,85	0,85
		9	1,02	1,21	0,76	0,62	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,41	0,41
Palawija	Colo Timur		4,83	5,31	3,49	3,43	0,90	0,07	0,00	0,13	0,00	1,20	2,92	3,83
	Colo Barat		4,99	5,43	3,49	3,16	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	1,20	2,92	3,83

Dari Tabel 4.9. dapat diketahui besarnya curah hujan yang dapat diserap oleh tanaman. Tanaman dapat menyerap air pada bulan-bulan basah, sedangkan pada musim kemarau tanaman cenderung kekurangan air. Hal ini dikarenakan hujan pada musim kemarau relatif sedikit.

3. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan

Penyiapan lahan untuk padi dilakukan selama 30 hari dengan angka penjenjutan tanah sebesar 200 mm, sedangkan untuk palawija selama 15 hari dengan angka penjenjutan tanah sebesar 50 mm. Berdasarkan pola tanam yang ditetapkan oleh Tim Koordinasi Pengelolaan Sumberdaya Air Wilayah Sungai Bengawan Solo maka penyiapan lahan untuk padi pada MT I dimulai dari tanggal 01 November hingga 30 November, MT II dimulai dari tanggal 01 Maret hingga 31 Maret, sedangkan untuk penyiapan lahan untuk palawija pada MT III dari tanggal 01 Juli hingga 15 Juli. Contoh perhitungan

penyiapan lahan untuk padi pada bulan Januari di daerah irigasi adalah sebagai berikut:

- Evapotranspirasi potensial (Eto) = 2,64 mm/hari
- Perkolasi (P) = 2,0 mm/hari
- Evaporasi (Eo) = 1,2 x Eto
= 1,2 x 2,64
= 3,17 mm/hari
- Kebutuhan air untuk penjemuran = 200 mm
- Eo + P = 3,17 + 2,00
= 5,17 mm/hari
- LP = 11,27 mm/hari

(dicari dari Tabel Zylstra, dengan interpolasi didapat nilai kebutuhan air)

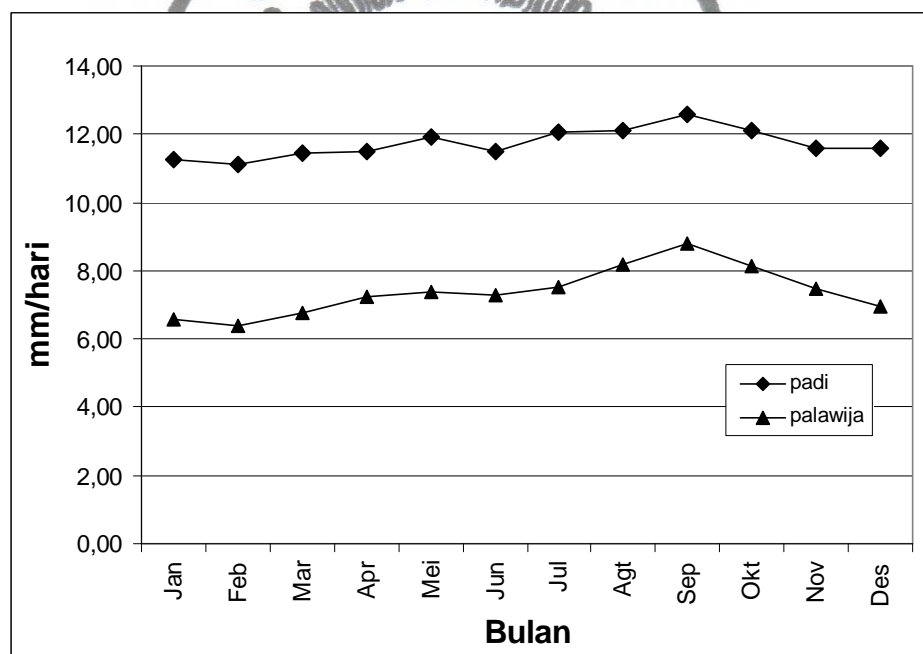
Sedangkan contoh perhitungan penyiapan lahan untuk palawija pada bulan Januari di Daerah Irigasi adalah sebagai berikut:

- Evapotranspirasi potensial (Eto) = 2,64 mm/hari
- Perkolasi (P) = 2,0 mm/hari
- Evaporasi tanaman acuan (Eo) = 1,2 x Eto
= 1,2 x 2,64
= 3,17 mm/hari
- M = Eo + P
= 3,17 + 2,0
= 5,17 mm/hari
- K = M x T/S
= 5,17 x 15/50
= 1,55
- IR = $\frac{M \times e^k}{e^k - 1}$
= $\frac{5,17 \times e^2}{e^2 - 1}$
= 6,56 mm/hari

Hasil perhitungan kebutuhan air untuk penyiapan lahan untuk palawija dan padi di Daerah Irigasi Colo selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan (mm/hari).

Bulan	Padi	Palawija
Jan	11,27	6,56
Feb	11,11	6,37
Mar	11,44	6,76
Apr	11,50	7,22
Mei	11,92	7,36
Jun	11,50	7,30
Jul	12,05	7,54
Agt	12,10	8,16
Sep	12,60	8,80
Okt	12,10	8,12
Nov	11,60	7,45
Des	11,57	6,94



Gambar 4.2. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan.

Gambar 4.2. menunjukkan variasi kebutuhan air untuk penyiapan lahan. Kebutuhan air terbesar ada pada bulan September dengan ketinggian air 12,6 mm/hari untuk tanaman padi dan 8,80 mm/hari untuk tanaman palawija, sedangkan kebutuhan air terkecil ada pada bulan Februari sebesar 11,11 mm/hari untuk tanaman padi dan 6,37 mm/hari untuk tanaman palawija. Penyiapan lahan untuk MT I diperlukan air sebesar 11,60 mm/hari, MT II sebesar 11,44 mm/hari, dan MT III sebesar 12,05 mm/hari.

4. Kebutuhan konsumtif tanaman (Etc)

Kebutuhan konsumtif tanaman merupakan kebutuhan tanaman untuk berevapotranspirasi yang dipengaruhi oleh faktor jenis tanaman, umur tanaman, dan klimatologi. Contoh perhitungan kebutuhan konsumtif tanaman untuk tanaman padi pada bulan Januari adalah sebagai berikut:

- Evapotranspirasi potensial (Eto) = 2,64 mm/hari
- Evaporasi tanaman acuan (Eo) = 1,2 x Eto
= 1,2 x 2,64
= 3,17 mm/hari
- Perkolasi (P) = 2,00
- Kebutuhan konsumtif tanaman (Etc) = 5,17 mm/hari
= 1,20 x 3,17
= 3,81 /hari

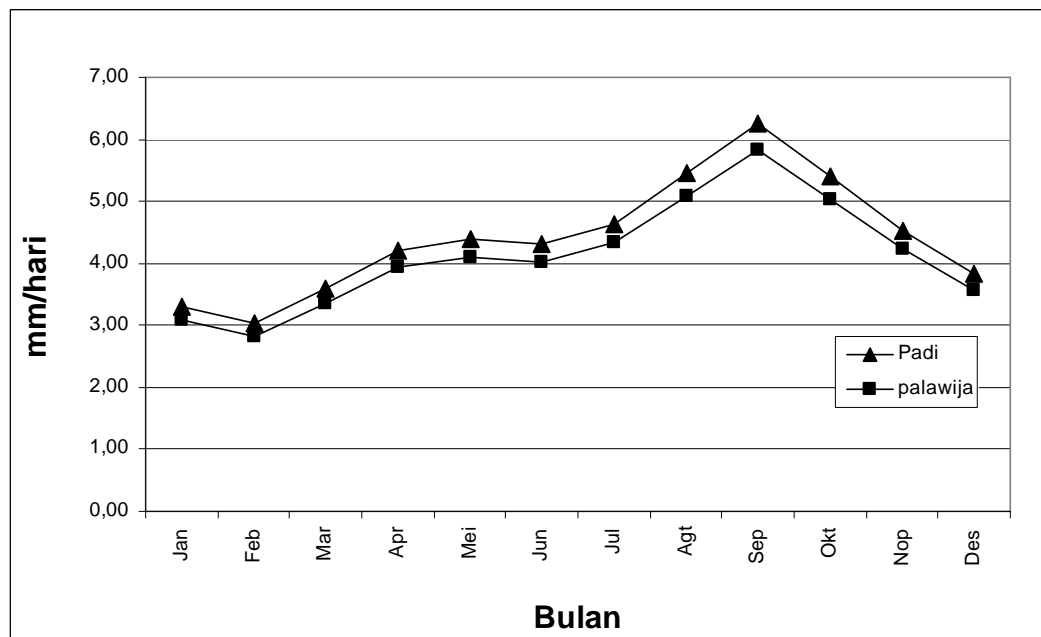
Sedangkan contoh perhitungan kebutuhan konsumtif tanaman untuk tanaman palawija pada bulan Januari adalah sebagai berikut:

- Evapotranspirasi potensial (Eto) = 2,64 mm/hari
- Evaporasi tanaman acuan (Eo) = 1,2 x Eto
= 1,2 x 2,64
= 3,17 mm/hari
- Kebutuhan konsumtif tanaman (Etc) = $K_c \times E_o \times 1,15$
= 0,50 x 3,17 x 1,15
= 1,82 mm/hari

Hasil perhitungan kebutuhan konsumtif tanaman untuk palawija dan padi di Daerah Irigasi Colo selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11. Penggunaan konsumtif tanaman (mm/hari).

Tanaman	2 minggu ke-	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des
		padi	1	3,81	3,50	4,13	4,85	5,06	4,97	5,34	6,27	7,20	6,21
2	4,03		3,70	4,37	5,14	5,36	5,26	5,66	6,64	7,62	6,58	5,52	4,66
3	4,22		3,87	4,57	5,38	5,61	5,51	5,92	6,95	7,98	6,89	5,78	4,88
4	4,12		3,79	4,47	5,26	5,48	5,38	5,79	6,79	7,80	6,73	5,65	4,77
5	3,65		3,35	3,95	4,65	4,85	4,76	5,12	6,01	6,90	5,96	4,99	4,22
6	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	rata2	3,30	3,03	3,58	4,21	4,39	4,31	4,64	5,44	6,25	5,39	4,52	3,83
palawija	1	1,82	1,68	1,98	2,33	2,43	2,38	2,56	3,00	3,45	2,98	2,50	2,11
	2	2,15	1,98	2,33	2,74	2,86	2,81	3,02	3,55	4,07	3,51	2,95	2,49
	3	3,50	3,22	3,80	4,47	4,66	4,57	4,92	5,77	6,62	5,72	4,79	4,05
	4	3,83	3,52	4,15	4,88	5,09	5,00	5,38	6,31	7,24	6,25	5,24	4,44
	5	3,72	3,42	4,03	4,74	4,95	4,86	5,22	6,13	7,04	6,07	5,09	4,31
	6	3,46	3,18	3,76	4,42	4,61	4,53	4,87	5,71	6,55	5,66	4,74	4,01
	rata2	3,08	2,83	3,34	3,93	4,10	4,03	4,33	5,08	5,83	5,03	4,22	3,57



Gambar 4.3. Penggunaan Konsumtif Tanaman Rata – Rata (mm/hari).

Dari Gambar 4.3. dapat dilihat bahwa kebutuhan terbesar terjadi pada bulan September sebesar 6,25 mm/hari untuk tanaman padi dan 5,83 mm/hari. Besarnya kebutuhan air untuk pertumbuhan tanaman ini dikarenakan angka evapotranspirasi yang terjadi pada bulan September relatif tinggi sehingga tanaman butuh asupan air yang banyak untuk bisa tumbuh. Sedangkan kebutuhan penggunaan konsumtif tanaman relatif kecil pada bulan-bulan basah, bulan dengan angka evapotranspirasi rendah.

5. Kebutuhan air pada petak sawah

Perhitungan kebutuhan air di petak sawah dilakukan untuk mengetahui banyaknya air yang diperlukan di sawah untuk transpirasi tanaman, perkolasi, penjemuran, dan penggenangan. Besarnya kebutuhan air disawah tergantung dari pola tanam yang ditetapkan dan luas areal.

Luas areal irigasi Colo secara keseluruhan adalah 25.756 ha, terbagi menjadi 19.112 ha untuk Daerah Irigasi Colo Timur dan 6.644 ha untuk Daerah Irigasi Colo Barat. Disebabkan Luasnya areal irigasi ini maka tidak dimungkinkan pemberian air secara serentak dan menyeluruh, untuk mengantisipasi maka dilakukan sistem golongan. Adapun pembagian golongan dijelaskan dalam Tabel 4.12.

Tabel 4.12. Luas areal irigasi (ha).

D.I.	Gol	Luas (ha)	Total (ha)
Colo Timur	1	7.479,00	19.112,00
	2	6.317,00	
	3	5.316,00	
Colo Barat	1	2.847,00	6.644,00
	2	1.938,50	
	3	1.858,50	

Kebutuhan air di sawah untuk tanaman padi tumbuh pada awal MT I bulan Desember di DI Colo Timur dihitung dengan cara sebagai berikut:

- Kebutuhan konsumtif tanaman (Etc) = 4,41 mm/hari
(Etc 2 minggu ke 1)
- Perkolasi (P) = 2,00 mm/hari
- Penggantian lapisan air (W) = 3,33 mm/hari
- Hujan efektif (Re) = 2,27 mm/hari
(Re 2 minggu ke 3)
- *Net farm requirement* (NFR) = Etc + P + W – Re
(Kebutuhan air 2 minggu ke 3) = 4,41 + 2 + 3,33 – 2,27
= 7,47 mm/hari
= 0,116 x 7,47
= 0,87 ltr/dt/ha
- *Net farm requirement* (NFR) = 1,15 ltr/dt/ha
(Kebutuhan air pengolahan lahan)
- *Net farm requirement* (NFR) rata - rata = $\frac{(1,15 + 0,87)}{2}$
= 1,01 ltr/dt/ha

Sedangkan Kebutuhan air di sawah untuk pertumbuhan tanaman palawija pada awal MT III bulan Agustus di DI Colo Timur dihitung dengan cara sebagai berikut:

- Kebutuhan konsumtif tanaman (Etc) = 2,56 mm/hari
(Etc 2 minggu ke 3)
- Hujan efektif (Re) = 0,00 mm/hari
(Re 2 minggu ke 5)
- *Net farm requirement* (NFR) = Etc – Re
(Kebutuhan air 2 minggu ke 3) = 2,56 – 0,00
= 2,56 mm/hari
= 0,116 x 2,56
= 0,30 ltr/dt/ha
- *Net farm requirement* (NFR) = 0,87 ltr/dt/ha
(Kebutuhan air pengolahan lahan)

$$\begin{aligned}
 - \text{Net farm requirement (NFR) rata-rata} &= \frac{(0,87 + 0,30)}{2} \\
 &= 0,59 \text{ ltr/dt/ha}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan kebutuhan air di Daerah Irigasi Colo Timur & Barat disajikan dalam Tabel 4.13.

Tabel 4.13. Kebutuhan air di sawah (lt/dt/ha).

Masa	DI	Colo Timur				Colo Barat			
Tanam	Golongan	I	II	III	Rata2	I	II	III	Rata2
MT I	Nov I	0,64	0,00	0,13	0,26	0,65	0,00	0,13	0,26
	Nov II	1,23	0,64	0,00	0,62	1,26	0,65	0,00	0,64
	Des I	1,01	1,21	0,64	0,95	1,08	1,26	0,65	1,00
	Des II	0,88	1,01	1,21	1,03	0,96	1,08	1,26	1,10
	Jan I	0,70	0,64	0,82	0,72	0,69	0,63	0,81	0,71
	Jan II	0,75	0,70	0,64	0,70	0,74	0,69	0,63	0,69
	Feb I	0,45	0,67	0,62	0,58	0,41	0,63	0,57	0,54
	Feb II	0,10	0,45	0,67	0,41	0,07	0,41	0,63	0,37
MT II	Mar I	0,65	0,23	0,64	0,51	0,65	0,23	0,64	0,51
	Mar II	1,17	0,65	0,23	0,68	1,17	0,65	0,23	0,68
	Apr I	1,00	1,19	0,66	0,95	1,03	1,20	0,67	0,97
	Apr II	0,89	1,00	1,19	1,03	0,93	1,03	1,20	1,05
	Mei I	1,19	1,16	1,24	1,20	1,19	1,15	1,23	1,19
	Mei II	1,21	1,19	1,16	1,19	1,20	1,19	1,15	1,18
	Jun I	1,01	1,25	1,24	1,16	1,01	1,25	1,24	1,17
	Jun II	0,50	1,01	1,25	0,92	0,51	1,01	1,25	0,92
MT III	Jul I	0,55	0,53	1,06	0,71	0,55	0,53	1,06	0,71
	Jul II	0,59	0,55	0,53	0,56	0,59	0,55	0,53	0,56
	Agt I	0,37	0,63	0,58	0,53	0,38	0,65	0,59	0,54
	Agt II	0,53	0,37	0,63	0,51	0,54	0,38	0,65	0,52
	Sep I	0,80	0,62	0,44	0,62	0,80	0,62	0,44	0,62
	Sep II	0,83	0,80	0,62	0,75	0,83	0,80	0,62	0,75
	Okt I	0,28	0,58	0,56	0,47	0,28	0,58	0,56	0,47
	Okt II	0,00	0,28	0,58	0,29	0,00	0,28	0,58	0,29
MT I				0,66				0,66	
MT II				0,95				0,96	
MT III				0,55				0,56	

Dari Tabel 4.13. di atas diketahui bahwa kebutuhan air rata – rata di sawah terbesar ada pada masa tanam ke dua (MT II), hal ini dikarenakan periode MT II (awal Maret hingga akhir Juni) telah memasuki musim kemarau, sehingga *supply* air untuk pertumbuhan tanaman padi tidak tercukupi oleh curah hujan

sedangkan jumlah penguapan besar. Kebutuhan air rata-rata di sawah pada MT III relatif kecil karena pada periode ini tanah ditanami palawija yang memerlukan sedikit air dalam masa perkembangannya.

6. Kebutuhan air irigasi

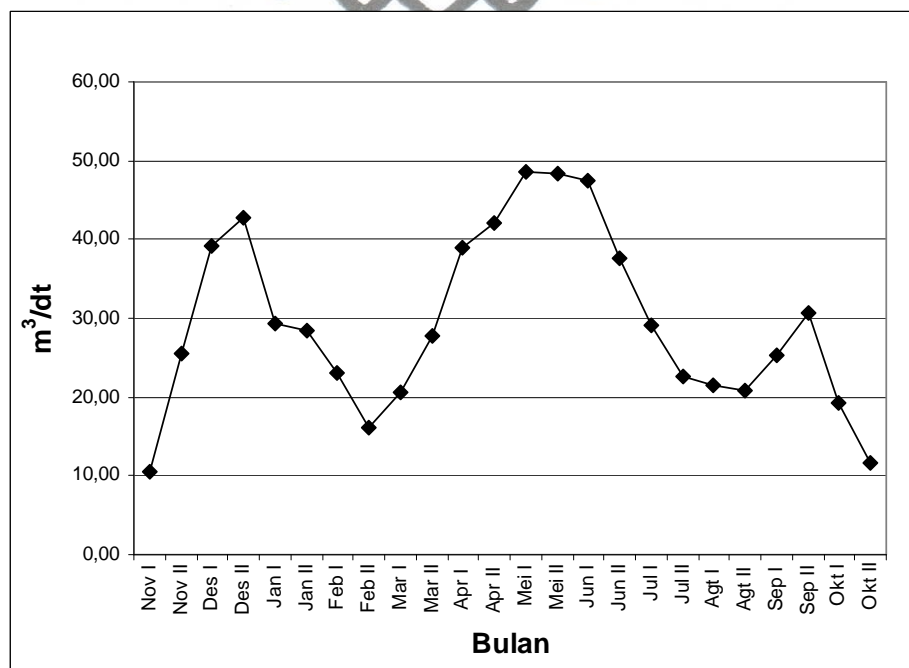
Kebutuhan air irigasi merupakan kebutuhan air di sawah setelah dikalikan dengan angka efisiensi irigasi di saluran. Hal ini dimaksudkan agar air yang sampai ke sawah setelah penyaluran masih sesuai dengan jumlah kebutuhan air untuk pertumbuhan tanaman. Contoh perhitungan kebutuhan air irigasi di Daerah Irigasi Colo Timur pada bulan Januari I adalah sebagai berikut:

- Kebutuhan air rata – rata di sawah = 0,72 lt/dt/ha
dari 3 golongan
- Luas areal irigasi = 19.112, 00 ha
- Efisiensi irigasi di saluran = 80 % x 87 % x 91 %
= 63,33 %
- Kebutuhan air irigasi = 0,72 x 19.112 x 100 / 63,33
= 21.830,00 lt/dt
= 21,83 m³/dt.

Hasil perhitungan kebutuhan air irigasi di Daerah Irigasi Colo Timur & Barat disajikan dalam Tabel 4.14.

Tabel 4.14. Kebutuhan air irigasi (m³/dt).

Masa Tanam	Bulan	Colo Timur (m ³ /dt)	Colo Barat (m ³ /dt)	Total
MT I	Nov I	7,74	2,72	10,46
	Nov II	18,82	6,69	25,51
	Des I	28,81	10,47	39,28
	Des II	31,20	11,57	42,77
	Jan I	21,83	7,44	29,27
	Jan II	21,14	7,20	28,34
	Feb I	17,49	5,66	23,14
	Feb II	12,26	3,88	16,14
MT II	Mar I	15,36	5,34	20,70
	Mar II	20,64	7,18	27,82
	Apr I	28,72	10,17	38,90
	Apr II	31,06	11,05	42,11
	Mei I	36,14	12,52	48,66
	Mei II	35,84	12,41	48,25
	Jun I	35,19	12,28	47,47
	Jun II	27,80	9,71	37,51
MT III	Jul I	21,56	7,50	29,06
	Jul II	16,81	5,84	22,65
	Agt I	15,89	5,66	21,55
	Agt II	15,35	5,49	20,84
	Sep I	18,74	6,51	25,25
	Sep II	22,69	7,89	30,58
	Okt I	14,25	4,95	19,21
	Okt II	8,66	3,01	11,66
MT I		19,91	6,95	26,86
MT II		28,84	10,08	38,93
MT III		16,74	5,86	22,60



Gambar 4.4. Kebutuhan air di Bendung Colo (m³/dt).

Dari Gambar 4.4. diketahui bahwa kebutuhan irigasi puncak terbesar ada pada periode MT II tepatnya di bulan Mei I, sedangkan kebutuhan air terkecil ada pada periode MT I tepatnya pada bulan November I.

4.1.6. Analisis Operasi dan Keseimbangan Air Waduk

Keseimbangan air didapatkan dari perbandingan kebutuhan air dengan ketersediaan air. Besarnya ketersediaan air tergantung dari keluaran *outflow* yang diatur oleh pengelola, Keluaran *outflow* didapat dari simulasi operasi. Simulasi operasi dilakukan pada elevasi puncak muka air (waduk dianggap penuh) yaitu pada elevasi + 136,00 m. Simulasi dikendalikan dengan *trial outflow* disesuaikan dengan kebutuhan air. Sebagai patokan simulasi adalah:

1. Operasi periode non-banjir : 1 Mei–31 Oktober
Periode penggunaan air, sehingga elevasi air turun dari NHWL (El.136,00 m) sampai LWL (El.127,00 m).
2. Operasi periode banjir : 1 November-15 April
Tinggi muka air dinaikkan dari LWL (El.127,00 m) sampai CWL (El.135,30 m)
3. Operasi akhir periode banjir : 15 April–30 April
Tinggi muka air waduk dinaikkan dari CWL (El.135,30 m) ke NHWL (El.136,00 m).

Dikarenakan terjadinya endapan sedimen di depan pintu pengambilan (intake), sehingga elevasi terendah agar air dapat diambil berada pada elevasi 131,00 m, namun Perum Jasa Tirta I selaku pengelola Waduk Wonogiri melakukan pengerukan didepan intake sehingga elevasi operasi terendah waduk berada pada elevasi 128,00 m.

Simulasi operasi waduk dilakukan dua kali, yaitu melakukan simulasi dengan *trial outflow* berdasarkan pola operasi yang telah ditetapkan dan mensimulasi keluaran *outflow* sehingga faktor koreksi kebutuhan air irigasi (faktor *K*) sama sepanjang tahun. Contoh perhitungan pola operasi waduk dan faktor koreksi kebutuhan air

irigasi (K) sesuai dengan pola operasi yang telah ditetapkan pada pertengahan pertama bulan Mei di elevasi 136,00 m:

1. Kebutuhan air non-irigasi = 3,91 m³/dt
2. Kebutuhan air irigasi = 41,03 m³/dt
3. *Inflow* andalan (Q_{80}) = 4,20 m³/dt
4. Hujan di waduk = 2,88 mm
5. Evaporasi di waduk = 3,73 mm
6. Elevasi awal (elevasi 1) = 136,00 m
7. Volume awal (V_1) = 433,00 m³
8. Perhitungan tampungan pada akhir tengah bulan dengan trial nilai *outflow*,
Outflow = 31,35 m³/dt
9. Luas genangan
Dari V_1 diinterpolasi dengan data luas genangan waduk tahun 2005 didapat luas genangan,
Luas genangan = 67,98 km²
10. Volume akhir (V_2) = $V_1 + (\text{Hujan} - \text{Evaporasi}) \times \text{luas} + (\text{Inflow} - \text{Outflow})$
= $433,00 + ((2,88 - 3,73) \times 67,98 \times 0,001) +$
 $((4,20 - 31,35) \times 10^6 \times 1296000)$
= 397,76 m³
11. Elevasi akhir (elevasi 2)
Dari V_2 diinterpolasi dengan data volume waduk tahun 2005 didapat elevasi 2,
Elevasi 2 = 135,45 m
12. Perhitungan faktor koreksi kebutuhan air irigasi / *water balance*
$$K = \frac{Q_{tersedia}}{Q_{kebutuhan}}$$

$$= \frac{Q_{outflow} - Q_{nonirigasi}}{Q_{kebutuhan}}$$

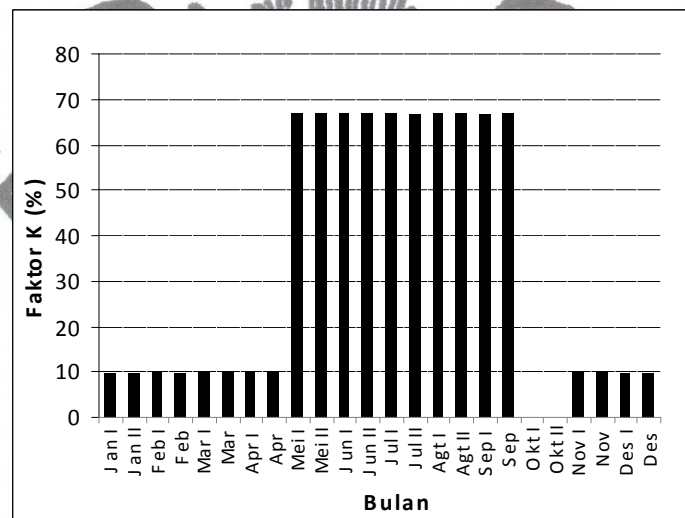
$$= \frac{13,35 - 3,91}{41,03}$$

$$= 67 \%$$

Hasil perhitungan faktor koreksi kebutuhan air irigasi di Waduk Wonogiri dari simulasi operasi waduk sesuai dengan pola operasi yang telah ditetapkan disajikan dalam Tabel 4.15.

Tabel 4.15. Faktor koreksi kebutuhan air irigasi (faktor K) dari pola operasi sesuai ketetapan.

Bulan	K (%)	Bulan	K (%)
Jan I	10	Jul I	67
Jan II	10	Jul II	67
Feb I	10	Agt I	67
Feb II	10	Agt II	67
Mar I	10	Sep I	67
Mar II	10	Sep II	67
Apr I	10	Okt I	0
Apr II	10	Okt II	0
Mei I	67	Nov I	10
Mei II	67	Nov II	10
Jun I	67	Des I	10
Jun II	67	Des II	10



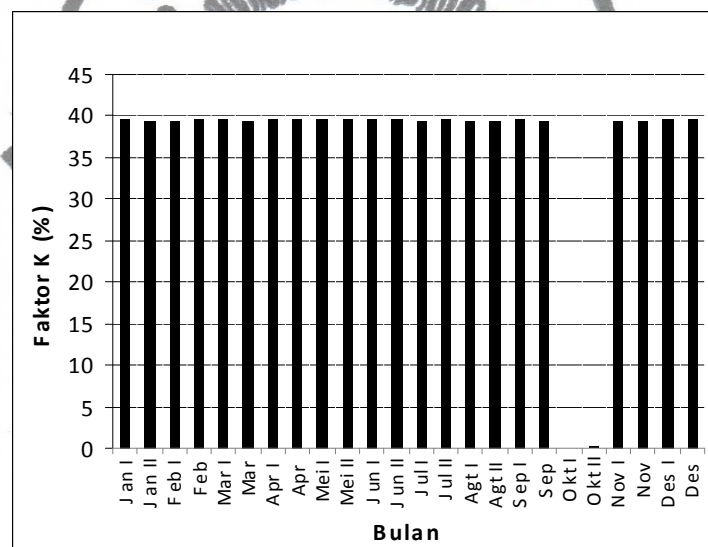
Gambar 4.5. Faktor koreksi kebutuhan air irigasi (faktor K) dari pola operasi waduk sesuai ketetapan (%).

Berdasarkan Tabel 4.15. diketahui harga faktor K yang kurang dari 25% hampir semuanya terjadi pada bulan-bulan basah yaitu pada bulan November I hingga April II, nilai faktor K yang diantara 50 % hingga 75 % terjadi pada bulan Mei I hingga Oktober II, nilai faktor K sebesar 100 % terjadi pada bulan Oktober karena pada bulan ini digunakan sebagai rehabilitasi jaringan irigasi colo sehingga tidak ada pengairan ke Daerah Irigasi Colo.

Hasil perhitungan faktor koreksi kebutuhan air irigasi di Waduk Wonogiri dari operasi waduk dengan menyamakan faktor K sepanjang tahun disajikan dalam Tabel 4.16.

Tabel 4.16. Faktor koreksi kebutuhan air irigasi (faktor K) dari alternatif dengan faktor K yang seragam.

Bulan	K (%)	Bulan	K (%)
Jan I	40	Jul I	40
Jan II	40	Jul II	40
Feb I	40	Agt I	40
Feb II	40	Agt II	40
Mar I	40	Sep I	40
Mar II	40	Sep II	40
Apr I	40	Okt I	0
Apr II	40	Okt II	0
Mei I	40	Nov I	40
Mei II	40	Nov II	40
Jun I	40	Des I	40
Jun II	40	Des II	40



Gambar 4.6. Faktor koreksi kebutuhan air irigasi (faktor K) dari alternatif dengan faktor K yang seragam (%).

4.1.7. Analisis Hasil Pertanian

Analisis hasil pertanian dimaksudkan untuk mengetahui jumlah hasil produksi pertanian seluruh areal persawahan yang airnya bersumber dari Waduk Wonogiri. Hasil pertanian yang diperoleh tergantung dari jenis tanaman yang ditanam di areal tersebut dan jumlah air yang disediakan oleh waduk untuk irigasi. Contoh perhitungan hasil pertanian dari faktor koreksi kebutuhan air irigasi (faktor K) berdasarkan simulasi operasi waduk sesuai dengan pola operasi yang telah ditetapkan adalah pada MT I di Daerah Irigasi Colo Timur Golongan I sebagai berikut:

commit to user

1. Luas areal = 7.479 ha.
2. Faktor K rata-rata = 10 %.
3. Hasil produksi pertanian (padi) per hektar = 8,65 ton/ha.
4. Hasil produksi pertanian berdasarkan faktor $K = 8,65 \times 10\%$
= 0,865 ton/ha
5. Hasil produksi pertanian per tahun diperoleh dengan mengalikan hasil pertanian per hektar dengan luas areal irigasi
Hasil produksi pertanian per tahun = $0,865 \times 7,479 = 6.397$ ton

Perhitungan hasil pertanian selengkapnya dapat dilihat pada Tabel Lampiran F.1-

2. Hasil pertanian per tahun disajikan dalam Tabel 4.17. berikut :

Tabel 4.17. Hasil pertanian dari pola operasi waduk sesuai ketetapan (ton).

Daerah Irigasi	Hasil Pertanian (ton)		
	Musim Tanam		
	MT I	MT II	MT III
Colo Timur			
Gol 1	6.397	24.902	35.523
Gol 2	5.413	24.910	30.006
Gol 3	4.559	24.226	25.259
Colo Barat			
Gol 1	2.283	8.888	12.679
Gol 2	1.748	8.044	9.690
Gol 3	1.659	8.816	9.192
B. Solo Hilir	11.308	44.018	62.792
Total	33.368	143.805	185.142
Total Hasil Pertanian (Padi)	177.173		
Total Hasil Pertanian (Palawija)	185.142		

Tabel 4.18. Hasil pertanian dari alternatif dengan faktor K yang seragam (ton).

Daerah Irigasi	Hasil Pertanian (ton)		
	Musim Tanam		
	MT I	MT II	MT III
Colo Timur			
Gol 1	25.584	25.603	20.995
Gol 2	21.614	21.621	17.733
Gol 3	18.188	18.197	14.923
Colo Barat			
Gol 1	9.132	9.139	7.494
Gol 2	6.980	6.982	5.727
Gol 3	6.618	6.622	5.430
B. Solo Hilir	45.222	45.256	37.111
Total	133.338	133.421	109.413
Total Hasil Pertanian (Padi)	266.759		
Total Hasil Pertanian (Palawija)	109.413		

Dari Tabel 4.17. dan 4.18. diketahui bahwa hasil pertanian dari sawah yang ditanamani padi dengan faktor K 40% lebih besar bila dibandingkan hasil pertanian dari ketersediaan air berdasarkan pola operasi waduk sesuai ketetapan.

4.1.8. Analisis Pemberian Air

Pemberian air dilakukan setelah didapatkan faktor K . Apabila harga K kurang dari 100%, maka air tidak bisa diberikan terus menerus. Analisis pemberian air ini dimaksudkan untuk mendapatkan alternatif pemberian air akibat keterbatasan *suppy* air dari waduk. Pemberian air secara giliran merupakan salah satu upaya untuk mengatasinya.

Berdasarkan Tabel 4.17. dan Tabel 4.18. maka pola operasi waduk yang hasil pertaniannya lebih banyak adalah pola operasi waduk dengan faktor koreksi kebutuhan air irigasi (faktor K) 40 % sepanjang tahun. Sistem pemberian air yang dilakukan secara rotasi/giliran antar petak tersier. Cara pengaturan pola rotasi pemberian airnya dijelaskan dalam Tabel 4.19.

Tabel 4.19. Faktor koreksi kebutuhan air irigasi (faktor K).

Bulan	Faktor K (%)	Sistem Rotasi	Bulan	Faktor K (%)	Sistem Rotasi
Jan I	40	Giliran antar petak tersier	Jul I	40	Giliran dalam petak tersier
Jan II	40	Giliran antar petak tersier	Jul II	40	Giliran dalam petak tersier
Feb I	40	Giliran antar petak tersier	Agt I	40	Giliran dalam petak tersier
Feb II	40	Giliran antar petak tersier	Agt II	40	Giliran dalam petak tersier
Mar I	40	Giliran antar petak tersier	Sep I	40	Giliran dalam petak tersier
Mar II	40	Giliran antar petak tersier	Sep II	40	Giliran dalam petak tersier
Apr I	40	Giliran antar petak tersier	Okt I	0	-
Apr II	40	Giliran antar petak tersier	Okt II	0	-
Mei I	40	Giliran antar petak tersier	Nov I	40	Giliran dalam petak tersier
Mei II	40	Giliran dalam petak tersier	Nov II	40	Giliran dalam petak tersier
Jun I	40	Giliran dalam petak tersier	Des I	40	Giliran dalam petak tersier
Jun II	40	Giliran dalam petak tersier	Des II	40	Giliran dalam petak tersier

4.2. Pembahasan

4.2.1. *Inflow* Andalan

Inflow yang masuk ke Waduk Wonogiri berasal dari sungai bengawan solo dengan 5 anak sungainya yang berada di DAS Waduk Wonogiri yaitu Sungai Keduang, Tirtomoyo, Temon, Alang dan Wuryantoro. *Inflow* waduk sebagian besar terjadi pada musim hujan. Sedangkan pada musim kemarau cenderung tidak ada air yang masuk ke waduk. Adapun *Inflow* andalan rata-rata Waduk Wonogiri sebesar $13,59 \text{ m}^3/\text{dt}$ atau setara dengan $428,57 \text{ juta m}^3$ selama setahun.

4.2.2. Operasi Waduk

Sistem operasi waduk berdasarkan ketetapan TK PSDA WS Bengawan Solo dimulai dan berakhir pada elevasi $136,0 \text{ m}$ elevasi muka air. Operasi waduk dibagi menjadi 2 sistem operasi yaitu periode pengosongan (musim kemarau) dan pengisian (musim hujan). Simulasi operasi dimulai pada periode pengosongan yaitu pada bulan Mei pada posisi muka air normal tertinggi pada elevasi $136,00$. Awal periode ini tampungan efektif waduk dianggap penuh dan diturunkan hingga elevasi operasi terbawah yaitu elevasi $128,0 \text{ m}$ pada akhir periode pengosongan di bulan November I. Awal musim sehingga air yang dikeluarkan untuk kebutuhan di hilirnya relatif banyak.

Operasi waduk pada periode pengisian merupakan periode waduk untuk mengisi tampungan sehingga air yang tertampung dapat digunakan untuk periode selanjutnya. Sehubungan fungsi waduk sebagai pengendali banjir maka pada periode ini waduk hanya diperbolehkan menampung air hingga elevasi $135,3 \text{ m}$ sepanjang bulan November hingga pertengahan April (April I) dan pada pertengahan kedua bulan April (April II) mengharuskan air naik hingga elevasi $136,0 \text{ m}$ sebesar 40 juta m^3 . Berdasarkan hasil perhitungan simulasi operasi waduk terdapat indikasi kesulitan pemenuhan target pengisian air waduk sebesar 40 juta m^3 pada periode 15 April–1 Mei sehingga pada periode ini elevasi air dibiarkan melebihi $135,3$ agar pada akhir periode pengisian elevasi $136,0 \text{ m}$ tercapai. Faktor koreksi kebutuhan air irigasi (faktor K) yang didapatkan dari

simulasi operasi waduk berdasarkan ketetapan Tim Koordinasi Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Bengawan Solo adalah 10 % pada musim hujan dan 67 % pada musim kemarau yang artinya kebutuhan air irigasi di hilirnya hanya terpenuhi sebesar 10% dari total kebutuhan air di musim tersebut, dan 67 % pada musim kemarau.

Dengan mempertimbangkan pemenuhan air di hilirnya, maka dilakukan alternatif operasi waduk dengan menrial *outflow* sehingga dihasilkan faktor K yang seragam sepanjang tahun yaitu sebesar 40 %. Simulasi pola operasi ini dapat dilakukan dengan elevasi operasi terendah 131,0 m apabila terjadi sedimentasi setinggi 4 meter di depan intake. Pemilihan pola operasi waduk dilakukan berdasarkan besarnya perolehan hasil pertanian dari faktor K hasil simulasi waduk. Pola operasi dari alternatif faktor K yang seragam menghasilkan pertanian lebih banyak dari pada pola operasi waduk sesuai ketetapan Tim Koordinasi Pengelolaan Sumberdaya Air Wilayah Sungai Bengawan Solo.

4.2.3. Pemberian Air

Faktor koreksi kebutuhan air irigasi (faktor K) dari simulasi operasi waduk didapatkan sebesar 40 %, artinya daerah irigasi hanya mendapatkan air sebesar 40 % dari total kebutuhannya pada musim hujan dan sebesar 40 % dari total kebutuhan irigasi di musim kemarau. Keterbatasan air yang mampu di *supply* waduk perlu difungsikan secara efisien dan merata, hal ini di lakukan agar seluruh irigasi terutama yang mengandalkan air dari Waduk Wonogiri mendapatkan air secara adil dan menyeluruh. Distribusi air secara adil dapat dilakukan dengan memberikan air dengan sistem rotasi atau giliran. Berdasarkan perhtungan faktor K di atas maka giliran pemberian air dilakukan antar petak tersier.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah:

1. Debit inflow andalan Waduk Wonogiri rata-rata sebesar 13,59 m³/dt atau setara dengan 428,57 juta m³. Inflow tersebut cukup untuk mengisi tampungan efektif waduk 375 juta m³.
2. Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa ada indikasi kesulitan untuk mengikuti pola operasi yang ditetapkan oleh Tim Koordinasi Pengelola Sumberdaya Air Wilayah Sungai Bengawan Solo, terutama pada akhir periode banjir yaitu 15 April–1 Mei. Hal ini terjadi karena inflow yang masuk ke waduk cenderung kecil. Sedimentasi yang terjadi di depan intake mengakibatkan elevasi operasi terendah menjadi 131,00 yang artinya hanya air yang berada di atas elevasi tersebut yang dapat dikeluarkan oleh waduk untuk mensupply daerah layanannya. Dari simulasi tersebut maka besarnya faktor koreksi kebutuhan air irigasi (faktor *K*) sebesar 40 % sepanjang tahun.
3. Berdasarkan faktor *K* yang didapatkan dari hasil simulasi operasi waduk maka pemberian air untuk irigasi dilakukan dengan cara giliran antar petak tersier.

5.2. Saran

Adapun saran-saran yang ingin disampaikan demi lebih sempurnanya penelitian yang akan datang adalah sebagai berikut:

1. Mengingat adanya perubahan tampungan efektif waduk yang cenderung berkurang, maka perlu dilakukan pengukuran sedimentasi (*echo sounding*) tiap lima tahun untuk mengetahui perkembangan sedimen yang terjadi pada waduk.

2. Perlu dilakukan perhitungan debit andalan secara langsung dari sungai-sungai di daerah aliran sungai (DAS) Waduk Wonogiri sehingga dapat diketahui besarnya inflow yang masuk ke tampungan Waduk Wonogiri.
3. Perlu dikaji kemungkinan adanya suplesi air dari sungai-sungai yang lain di hilir waduk untuk menambah pasokan air di areal persawahan.
4. Perlu adanya peninjauan pola operasi waduk untuk menggeser pola musim hujan.

