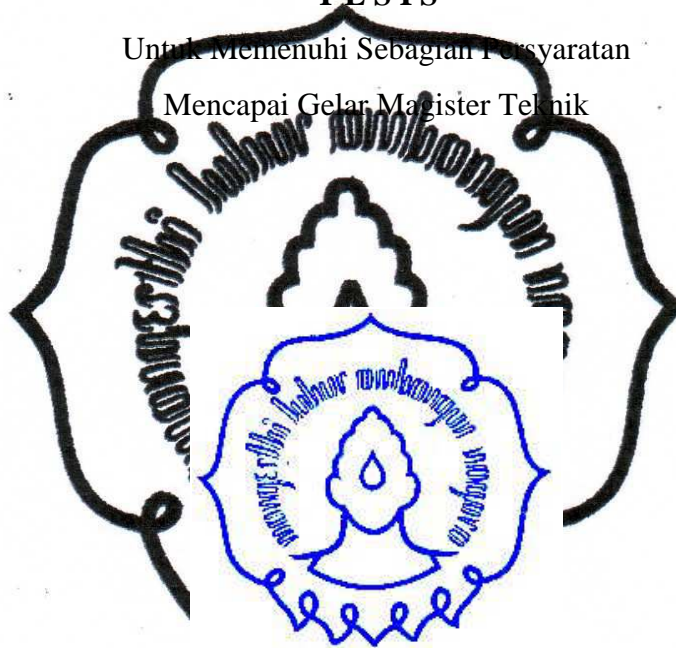


**KINERJA SISTEM DAERAH IRIGASI
DENGAN TOLOK UKUR BERKELANJUTAN
(Kasus Daerah Irigasi Nepen, Boyolali, Jawa Tengah)**

***THE PERFORMANCE OF IRRIGATION AREA SYSTEMS WITH
SUSTAINABLE BENCHMARK
(Case of Nepen Irrigation Area, Boyolali, Central Java)***

TESIS

Untuk memenuhi Sebagian Persyaratan
Mencapai Gelar Magister Teknik



Disusun oleh :

RAHAYU MAHANANI WIJASTUTI

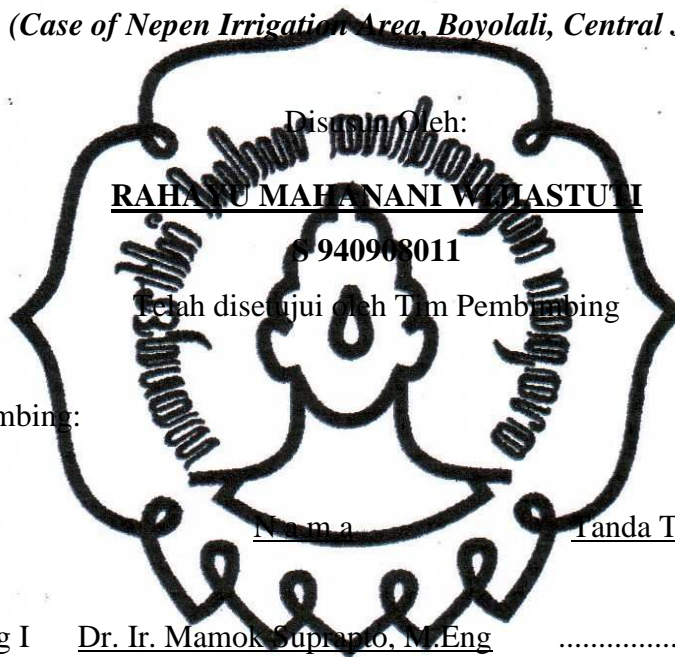
S 940908011

**MAGISTER TEKNIK SIPIL
KONSENTRASI
TEKNIK REHABILITASI DAN PEMELIHARAAN BANGUNAN SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS SEBELAS MARET SURAKARTA
2012**

TESIS

KINERJA SISTEM DAERAH IRIGASI DENGAN TOLOK UKUR BERKELANJUTAN (Kasus Daerah Irigasi Nepen, Boyolali, Jawa Tengah)

THE PERFORMANCE OF IRRIGATION AREA SYSTEMS WITH SUSTAINABLE BENCHMARK (Case of Nepen Irrigation Area, Boyolali, Central Java)



Tim Pembimbing:

<u>Jabatan</u>	<u>Nama</u>	<u>Tanda Tangan</u>	<u>Tanggal</u>
Pembimbing I	<u>Dr. Ir. Mamok Suprpto, M.Eng</u> NIP. 195107101981031003	.....	.....
Pembimbing II	<u>Dr. Ir. Rr. Rintis Hadiani, MT</u> NIP. 196301201988032002	.....	.....

Mengetahui:

Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil

Dr. Ir. Mamok Suprpto, M.Eng

NIP. 195107101981031003

Commit to user

HALAMAN PENGESAHAN

**KINERJA SISTEM DAERAH IRIGASI
DENGAN TOLOK UKUR BERKELANJUTAN
(Kasus Daerah Irigasi Nepen, Boyolali, Jawa Tengah)**

Disusun Oleh:

RAHAYU MAHANANI WIJASTUTI**S 940908011**

Telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Ujian Pendadaran Tesis
Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta
pada hari Kamis, tanggal 16 Agustus 2012.

Dewan Penguji:

Jabatan

Nama

Tanda Tangan

Ketua

Prof. Dr. Ir. Sobriyah, MS
NIP. 19480421985032001

Sekretaris

Dr. Eng. Ir. Syafi'i, MT
NIP. 196706031997021001

Penguji I

Dr. Ir. Mamok Suprpto, M.Eng
NIP. 195107101981031003

Penguji II

Dr. Ir. Rr. Rintis Hadiani, MT
NIP. 196301201988032002

Mengetahui:

Direktur Program
Pascasarjana

Ketua Program Studi
Magister Teknik Sipil

Prof. Dr. Ir. Ahmad Yunus, MS
NIP. 196107171986011001

Dr. Ir. Mamok Suprpto, M.Eng
NIP. 195107101981031003

commit to user

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rahayu Mahanani Wijiastuti
NIM : S 940 908 011

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis yang berjudul:

**KINERJA SISTEM DAERAH IRIGASI
DENGAN TOLOK UKUR BERKELANJUTAN
(Kasus Daerah Iriasi Negeri Boyolan Jawa Tengah)**

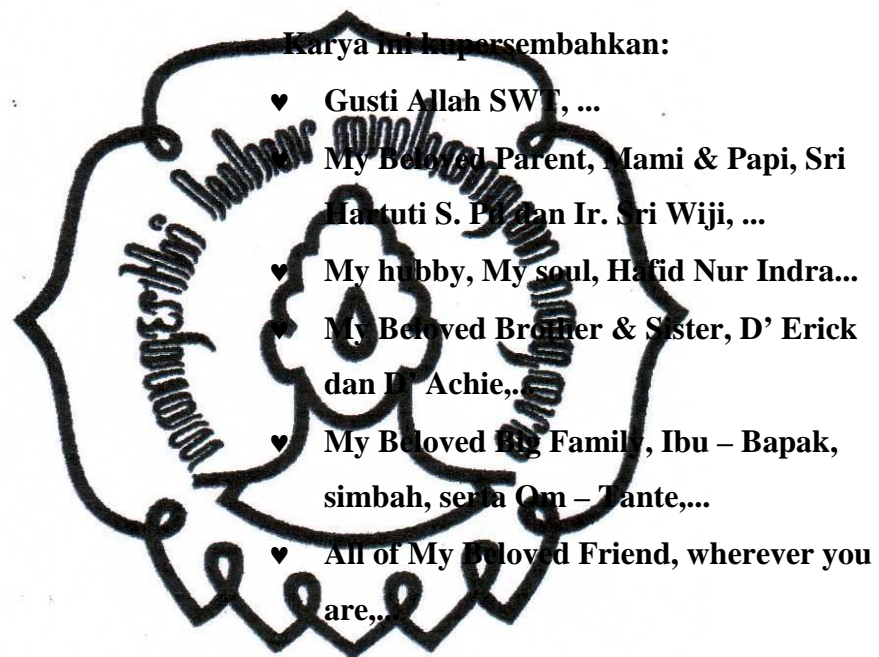
adalah betul-betul karya sendiri. Hal-hal yang bukan karya saya, tertulis dalam tesis tersebut, diberi tanda *citasi* dan ditunjukkan dalam Daftar Pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan tesis dan gelar yang saya peroleh dari tesis tersebut.

Surabaya, September 2012
Yang membuat pernyataan

Rahayu Mahanani Wijiastuti

PERSEMBAHAN



commit to user

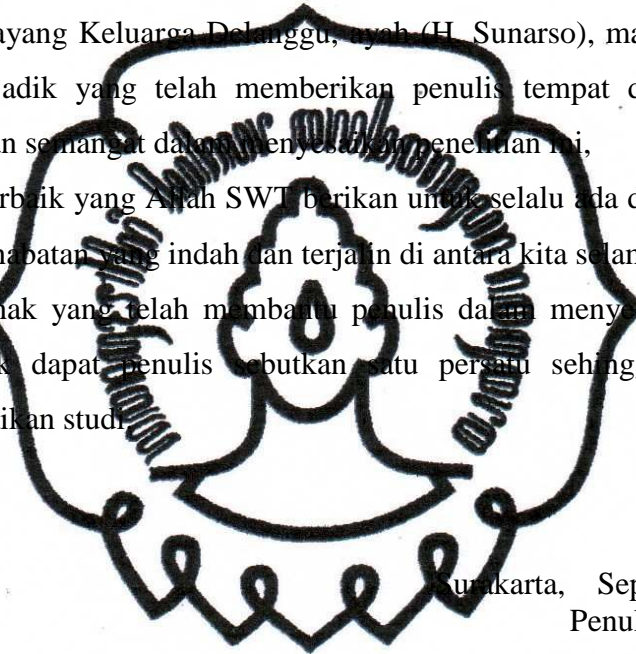
UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah Rabbil Alamin, akhirnya penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik. Tesis dengan judul *Kinerja Sistem Daerah Irigasi Dengan Tolok Ukur Berkelanjutan (Kasus Derah Irigasi Nepen, Boyolali, Jawa Tengah)* dapat terselesaikan berkat bantuan dari beberapa pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Ir. Mamok Suprpto, M.Eng. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta, Dosen Pembimbing Tesis Utama serta Dosen Penguji yang telah banyak memberikan pemahaman dan saran dalam penyelesaian tesis,
2. Dr. Eng. Ir. Syarif MT. Sekretaris Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta dan selaku Dosen Penguji,
3. Dr. Ir. RR. Fintis Hafani, MT selaku Pembimbing Tesis Pendamping,
4. Prof. Dr. Ir. Sobriyah, M.Eng. selaku Dosen Penguji,
5. Ir. Ary Setyawan, M.Sc (Eng), Ph.D. selaku Pembimbing Akademik,
6. Direktur Program Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta,
7. Segenap Staf Pengajar dan Staf Administrasi Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta yang telah banyak membantu penulis selama kuliah,
8. Kepala Sub Dinas Pengairan Kabupaten Boyolali, Propinsi Jawa Tengah beserta staf yang telah memberikan izin pengambilan data,
9. Seluruh Pimpinan Kabid, Kasi, Kasubsi beserta rekan-rekan pegawai Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo atas semua bantuan dan perhatian kepada penulis dalam penyelesaian penelitian ini,
10. Rekan-rekan Mahasiswa Magister Teknik Sipil Konsentrasi Rehabilitasi dan Pemeliharaan Bangunan Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta, yang selama ini menjadi teman, sahabat terbaik, dan saudara dalam menempuh pendidikan bersama.

commit to user

11. Yang tercinta papi dan mami, Ir Sri Wiji dan Sri Hartuti, S.Pd, dengan pengorbanan yang tiada henti,
12. *My Hubby, My Soul*, Hafid Nur Indra, dengan semangatmu dan kesabaranmu penelitian ini dapat terselesaikan,
13. Yang tersayang adik, Andhika Fery Kurniawan dan Asri Kurniawati, atas semua semangat untuk terus maju dan melangkah,
14. Yang terkasih keluarga besar Nani, Ibu dan Bapak, Simbah, Tante dan Om, atas semua kesabaran, dorongan semangat dan doa restu,
15. Yang tersayang Keluarga Delunggu, ayah (H. Sunarso), mama (Hj. Sriyani), kakak & adik yang telah memberikan penulis tempat didalam keluarga, hiburan dan semangat dalam menyelesaikan penelitian ini,
16. Sahabat terbaik yang Allah SWT berikan untuk selalu ada dan mendampingi, atas persahabatan yang indah dan terjalin di antara kita selama ini,
17. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tesis ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu sehingga penulis dapat menyelesaikan studi.



Jakarta, September 2012
Penulis,

Rahayu Mahanani Wijiastuti

ABSTRAK

Infrastruktur irigasi sering rusak karena aliran tidak stabil. Kerusakan akan membawa dampak semakin meningkatnya biaya pemeliharaan infrastruktur dan produksi. Oleh karena itu, aliran harus dipertahankan untuk menjaga fungsi infrastruktur agar memenuhi kaidah keberlanjutan. Penelitian ini dilakukan di Daerah Irigasi Nepen, Boyolali, Jawa Tengah. Studi ini membandingkan tolok ukur pengelolaan air berdasarkan faktor k dengan tolok ukur yaitu berupa indeks keandalan (Ia) dan indeks kelentingan (Ik).

Kebutuhan air irigasi dianalisis berdasarkan data klimatologi dari stasiun Adi Soemarmo untuk periode 2003 sampai 2004. Kebutuhan air irigasi dihitung menggunakan metode Penman Monteith. Data aliran yang digunakan berdasarkan data tinggi muka air di bendung Nepen. Data aliran yang dikurangi dengan kebutuhan air irigasi menghasilkan nilai residu. Nilai residu digunakan sebagai dasar analisis untuk mendapatkan faktor k, Ia dan Ik. Dalam penelitian ini telah ditetapkan faktor k yang baik harus ≥ 0.8 , Ia ≥ 0.8 dan Ik ≥ 0.5 . Penelitian dilakukan dengan skenario pola tana untuk mendapatkan nilai faktor k, Ia dan Ik yang terbaik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa evaluasi per MT dan periode 15 harian pada Daerah Irigasi Nepen menunjukkan nilai faktor k $> 80\%$, akan tetapi nilai tolok ukur yang ditetapkan tidak tercapai. Untuk mendapatkan Ia dan Ik terbaik digunakan skenario pola tata tanam dari luas lahan ditanami dengan luas tanam 272,5 ha pada MT-1, 410 ha pada MT-2, dan 410 ha pada MT-3, mendapatkan nilai faktor k pada tiap masa tanam hampir mencapai 100%, sedangkan nilai sebagai indeks keandalan (Ia) dan indeks kelentingan (Ik) hampir mencapai nilai 1. Hal ini menjelaskan faktor k tidak dapat menjamin keberlanjutan sistem irigasi yang berupa jaminan suplai air.

Kata kunci: pengelolaan berkelanjutan, faktor k, indeks keandalan, indeks kelentingan. *commit to user*

ABSTRACT

Irrigation infrastructure is often damaged because of the unstable flow. Damage will be impacts to increase maintenance cost of infrastructure and production. Therefore, the flow must be maintained to ensure the infrastructure functioning in order to meet the sustainability principles. This research was conducted in the Nepen Irrigation Area, Boyolali, Central Java Province. The study compare water management based on k-factor with risk factors namely reliability index (I_a) and resilience index (I_k).

Irrigation water requirements were analyzed based on climatological data from Adi Soemarmo station for the period 2003 to 2004. Irrigation water demand was calculated using the Penman-Monteith method. The data used is based on the water level data in the Nepen weir. The flow data was reduced by irrigation water requirement to obtain residual value. Residual values was used as the basis of factor analysis to obtain k factor, I_a and I_k . In the present study has defined a good k factor should be ≥ 0.8 , $I_a \geq 0.8$ and $I_k \geq 0.5$. The study was conducted with the scenario of planting pattern to get the best value of k-factor, I_a and I_k .

The results showed that the growing season (MT) evaluation and a period of 15 per day at the Regional Irrigation Nepen demonstrate the value of k factor $> 80\%$, but the value specified benchmarks are not achieved. To get the best value I_a and I_k was used of scenario of cropping pattern of the land area planted with a planting area of 272.5 ha in MT-1, MT-2 of 410 ha, and MT-3 of 410 ha, get the value of factor k at each time of planting nearly reaches 100%, while the value of the reliability index (I_a) and the resilience index (I_k) almost reaches the value 1. This explains the k factor can not guarantee the sustainability of irrigation systems in the form of guarantee water supply.

Keywords: Sustainable management, k factor, reliability index, an index of resilience.

commit to user

KATA PENGANTAR

Puji syukur yang tak terhingga kepada Allah SWT atas berkah, rahmat, dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik. Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Pasca Sarjana pada bidang keahlian Teknk Rehabilitasi dan Pemeliharaan Bangunan Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Judul dari Tesis ini adalah "*Kinerja Sistem Daerah Irigasi Dengan Tolok Ukur Berkelanjutan (Kasus Derah Irigasi Nepen, Boyolali, Jawa Tengah)*". Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada Dr. Ir. Manok Supripto, M.Eng dan Dr. Ir. Rintis Hadiani, MT selaku dosen pembimbing tesis yang dengan penuh dedikasi telah begitu banyak mencurahkan waktu, tenaga, keabaran, dan pikirannya guna memberikan yang terbaik kepada penulis sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.

Akhir kata, penulis mengharapkan semoga tesis ini dapat memberikan manfaat khususnya bagi penulis pribadi dan umumnya bagi pembaca semua. Mengingat keterbatasan pengetahuan dan kemampuan yang penulis miliki, maka kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan.

Dengan hanya mengharapkan kendhoan-Nya, semoga dapat menumbuhkan keikhlasan yang tulus dalam terselesaikannya tesis ini. Amin.

Surakarta, September 2012

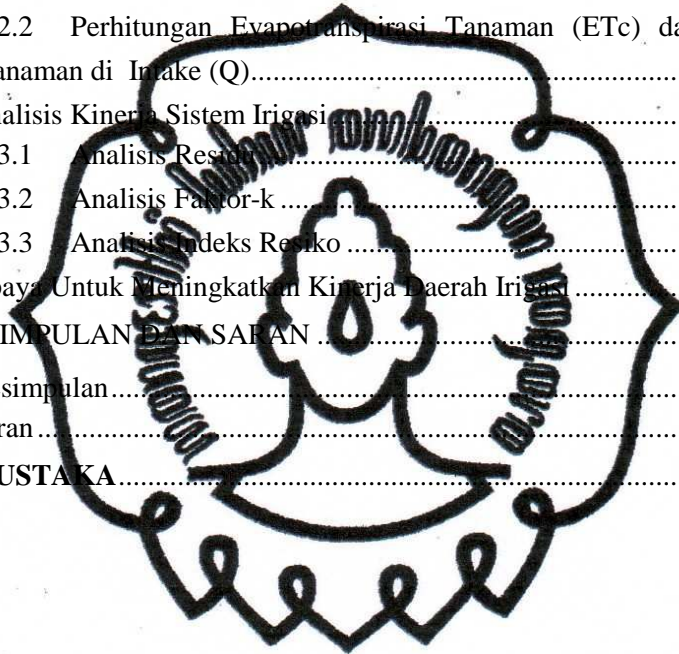
Penulis

commit to user

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN	iv
PERSEMBAHAN.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.5.1 Manfaat Teoritis.....	6
1.5.2 Manfaat Praktis.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Landasan Teori.....	9
2.2.1 Uji Kepanggahan Data Hujan.....	9
2.2.2 Kebutuhan Air Tanaman di Lahan.....	11
2.2.3 Efisiensi irigasi (IE).....	22
2.2.4 Kebutuhan Air di Pintu Pengambilan.....	23
2.2.5 Imbangan Air (Residu Debit).....	23
2.2.6 Tolok Ukur Keberlanjutan.....	24
BAB 3 METODE PENELITIAN	27
3.1 Lokasi Penelitian	27
3.2 Metode Penelitian.....	28
3.2.1 Pengumpulan dan Ketersediaan Data.....	28

3.2.2	Teknik Pengumpulan Data	28
3.3	Uji Data.....	28
3.4	Persiapan Analisis.....	29
3.5	Analisis Data.....	29
3.5.1	Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi.....	29
3.5.2	Perhitungan Kinerja Daerah Irigasi	30
BAB 4 HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN		33
4.1	Uji Kepangghahan Data Hujan.....	33
4.2	Analisis Kebutuhan Air Irigasi	35
4.2.1	Perhitungan Evapotranspirasi Potensial (ET _o).....	35
4.2.2	Perhitungan Evapotranspirasi Tanaman (ET _c) dan Kebutuhan Air Tanaman di Intake (Q).....	41
4.3	Analisis Kinerja Sistem Irigasi.....	49
4.3.1	Analisis Resiko.....	49
4.3.2	Analisis Faktor-k	50
4.3.3	Analisis Indeks Resiko	51
4.4	Upaya Untuk Meningkatkan Kinerja Daerah Irigasi.....	53
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		58
5.1	Kesimpulan.....	58
5.2	Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....		xxi



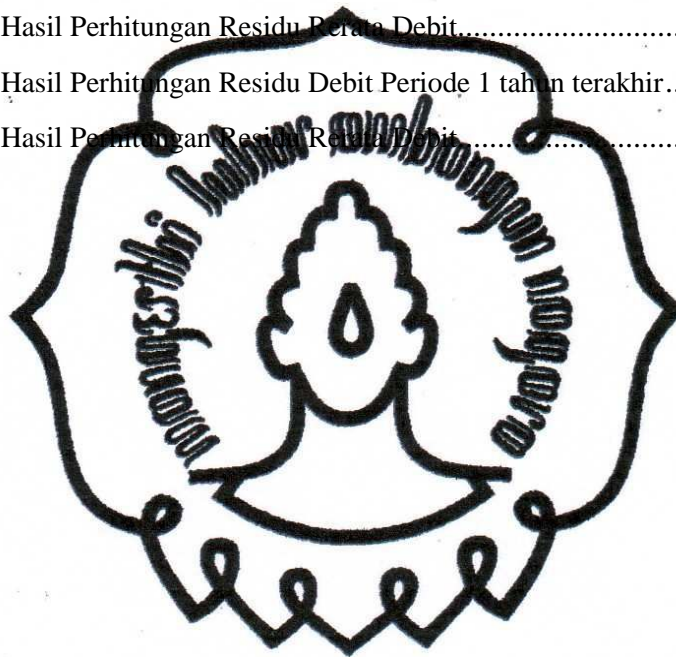
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Nilai Kritik Q_{RAPS} dan R_{RAPS}	11
Tabel 2.2. Kriteria Pemilihan k_c menurut Allen et al (1997).....	17
Tabel 2.3. Masa tumbuh tanaman padi dan Jagung.....	18
Tabel 2.4. Nilai K_{cb} untuk tanaman padi dan Kedelai.....	19
Tabel 2.5. Karakteristik lengas Tanah menurut Allen et al (1998).....	20
Tabel 2.6. Nilai f_w tiap jenis Sistem Irigasi menurut Allen et al (1998)	21
Tabel 4.1. Hujan Tahunan Stasiun Adi Soemarmo.....	33
Tabel 4.2. Hasil Analisis Uji RAS Stasiun Adi Soemarmo.....	34
Tabel 4.3. Nilai ETo untuk Daerah Irigasi Nepen Periode Evaluasi 1 tahun terakhir	39
Tabel 4.4. Nilai Rerata ETo untuk Daerah Irigasi Nepen.....	40
Tabel 4.5. Pola Tanam Periode 1 tahun terakhir	42
Tabel 4.6. Perhitungan Evapotranspirasi Tanaman Periode 1 tahun terakhir	47
Tabel 4.7. Debit Pemberian Air Irigasi (m^3/dt) untuk Periode 1 tahun terakhir.....	49
Tabel 4.8. Rerata Debit Pemberian Air Irigasi (m^3/dt)	49
Tabel 4.9. Hasil Perhitungan Faktor k per MT	51
Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Faktor k per 15 harian	51
Tabel 4.11. Hasil Perhitungan Indeks Resiko per MT	52
Tabel 4.12. Hasil Perhitungan Indeks Resiko Periode 1 tahun terakhir.....	52
Tabel 4.13. Hasil Perhitungan Residu Debit Rerata per 15 harian	53
Tabel 4.14. Hasil Perhitungan Faktor k Skenario Luas Lahan per MT.....	54
Tabel 4.15. Hasil Perhitungan Faktor k Skenario Luas Lahan per 15 harian	55
Tabel 4.16. Hasil Perhitungan Indeks Resiko Skenario Luas Lahan per MT	55
Tabel 4.17. Hasil Perhitungan Indeks Resiko Periode 1 tahun terakhir Skenario Luas Lahan per 15 harian	56
Tabel 4.18. Hasil Perhitungan Residu Rerata Debit Skenario Luas Lahan	56

commit to user

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3-1. Foto Satelit Daerah Irigasi Nepen	27
Gambar 3.2. Bagan Alir Tahap-Tahap Penelitian	32
Gambar 4.1. Perbandingan ETo DI Nepen Periode 1 tahun terakhir dengan Rerata ETo DI Nepen	41
Gambar 4.2. Hasil Perhitungan Residu Debit Periode 1 tahun terakhir.....	50
Gambar 4.3. Hasil Perhitungan Residu Rerata Debit.....	50
Gambar 4.4. Hasil Perhitungan Residu Debit Periode 1 tahun terakhir.....	54
Gambar 4.5. Hasil Perhitungan Residu Rerata Debit.....	54



commit to user

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$d(\mu,n)$	: durasi kejadian ke-n dari mode μ
$\delta(\mu,j)$	: fungsi indikator
μ	: Mode suatu kejadian atau kegagalan
Y_i	: data hujan ke-i (mm)
\bar{Y}	: data hujan merata-1 (mm)
Sd	: deviasi standar
ω	: Sudut antara matahari dan ekuator (rad)
δ	: deklinasi matahari (rad)
Δ_p	: koefisien miringan lengkung tekanan uap air jenuh (kPa/°C)
Δt	: lama waktu interval (hari)
Δz	: kedalaman tanah efektif (m)
A	: luas areal irigasi, dalam luas Δa .
c_s	: soil heat capacity (MJ/m ³ hari)
D	: hari tiap bulan
$D_{e,i}$	: kedalaman evaporasi kumulatif (mm)
$D_{e,i-1}$	: jumlah <i>depletion</i> dari lapisan tanah yang terevaporasi (mm)
$DP_{e,i}$	: kedalaman perkolasi (mm)
d_r	: jarak inverse relatif Bumi - Matahari
$e^0(T_{max})$	: tekanan uap jenuh pada temperatur maksimum (kPa)
$e^0(T_{min})$	: tekanan uap jenuh pada temperatur minimum (kPa)
e^0T	: tekanan uap jenuh pada temperatur T (kPa)
e_a	: tekanan uap nyata (kPa)
e_a	: tekanan uap nyata (kPa)
E_a	: Efisiensi penggunaan air di sawah
E_b	: Efisiensi saluran petak sawah.
E_c	: Efisiensi saluran utama.
E_d	: Efisiensi saluran.

commit to user

E_i	:	evaporasi (mm)
e_s	:	tekanan uap jenuh (kPa)
e_s	:	tekanan uap jenuh (kPa)
ET_c	:	evapotranspirasi tanaman, dalam mm/hari.
ET_c	:	kebutuhan air konsumtif, dalam mm/hari.
ET_o	:	evapotranspirasi potensial (mm/hari)
ET_o	:	evapotranspirasi, dalam mm/hari.
ez	:	elevasi di atas aras air laut (m)
f_c	:	bagian tanah yang tertutup tanaman
f_{ew}	:	bagian tanah yang paling banyak terjadi evaporasi
f_w	:	bagian tanah yang terbasahi oleh irigasi atau hujan (0,01-1)
F_a	:	jumlah kejadian yang dapat diandalkan
f_{ew}	:	bagian tanah yang paling banyak terjadi evaporasi
G	:	sun heat flux ($\text{MJ/m}^2/\text{hari}$)
G	:	sun heat flux ($\text{MJ/m}^2/\text{hari}$)
G_{sc}	:	Konstanta matahari = $0,082 \text{ MJ/m}^2/\text{hari}$
h	:	tinggi tanaman (cm)
i	:	jumlah state dalam periode tinjauan
I_a	:	indeks keandalan
IE	:	efisiensi irigasi, dalam %.
I_i	:	kedalaman irigasi netto (mm)
I_k	:	indeks kelentingan
IR	:	kebutuhan air irigasi ditingkat persawahan, dalam mm/hari.
J	:	jumlah hari dalam 1 tahun = 365 atau 366
J_k	:	jumlah kelompok kejadian yang tidak dapat diandalkan
K	:	Satuan suhu dalam Kelvin (Kelvin)
k	:	Faktor k (keandalan)
KAI	:	kebutuhan air irigasi, dalam liter/detik.
kc	:	koefisien tanaman
k_{cb}	:	basal crop.
K_{cb-end}	:	koefisien tanaman basal tahapan masa tumbuh akhir <i>commit to user</i>

K_{cb-ini}	: koefisien tanaman basal tahapan masa tumbuh awal
K_{cb-mid}	: koefisien tanaman basal tahapan masa tumbuh pertengahan
K_{cmax}	: batas atas koefisien evaporasi
K_{cmin}	: 0,15-0,20
k_e	: koefisien evaporasi tanah.
K_e	: koefisien evaporasi tanah
K_r	: koefisien pengurangan evaporasi
L_{dev}	: tahap pertumbuhan
L_{ini}	: tahap awal pertumbuhan
L_{late}	: tahap akhir musim
L_{mid}	: tahap pertengahan musim
M	: bulan
n	: jumlah data
n	: lama peninarasan matahari (jam)
N	: kemungkinan maksimum peninarasan matahari (jam)
N_k	: total kejadian, dalam hal ini mewakili periode waktu
P	: konstanta <i>Psychrometric</i> ($MJ/m^2/hari$)
P	: hujan (mm)
P	: perkolasi dalam mm/hari.
$Prob X_i$	: probabilitas kerusakan
R_a	: Radiasi exstraterrestrial untuk periode harian ($MJ/m^2/hari$)
Re	: hujan efektif, dalam mm/hari.
REW	: kedalaman kumulatif evaporasi pada akhir tahap tumbuh (mm)
RH	: kelembaban relatif (%)
R_n	: radiasi netto ($MJ/m^2/hari$)
R_{nl}	: radiasi gelombang panjang ($MJ/m^2/hari$)
R_{ns}	: radiasi sinar matahari ($MJ/m^2/hari$)
RO	: <i>runoff</i> (mm)
R_s	: radiasi sinar matahari ($MJ/m^2/hari$)
R_{so}	: Radiasi matahari pada keadaan cuaca cerah ($MJ/m^2/hari$)

commit to user

T	: Temperatur udara ($^{\circ}\text{C}$)
TEW	: maksimum air yang mungkin menguap (mm)
$T_{ew,i}$	: transpirasi (mm)
T_i	: Temperatur udara pada waktu i ($^{\circ}\text{C}$)
T_{i-1}	: Temperatur udara pada waktu $i-1$ ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{max,K}$	: Max absolute temperature selama 24 jam (Kalvin)
T_{mean}	: Temperatur udara rata-rata ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{min,K}$	: Min absolute temperature selama 24 jam (Kalvin)
u_2	: kecepatan angin pada ketinggian 2 m (m/dt)
u_2	: kecepatan angin pada ketinggian 2 m (m/dt)
u_z	: kecepatan angin pada ketinggian z m (m/dt)
WLR	: ketahanan air untuk menggaet lapisan air, dalam mm/hari.
X_i	: indikator kerusakan
z	: lapisan di atas permukaan air tanah (m)
Z_e	: ketebalan lapisan tanah permukaan yang mungkin kering akibat evaporasi (0,010 – 0,015 m)
γ	: konstanta <i>Psychrometric</i> (kPa/ $^{\circ}\text{C}$)
γ	: konstanta <i>psychrometric</i> (kPa/ $^{\circ}\text{C}$)
θ_{FC}	: kandungan lengas tanah pada kapasitas lapangan (m^3/m^3)
θ_{WP}	: kandungan lengas tanah pada titik layu (m^3/m^3)
φ	: letak lintang (radian)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran LA-1	Tabel A.1 Hasil Perhitungan ETo
Lampiran LA-2	Tabel A.2 Hasil Perhitungan Rerata ETo
Lampiran LB	Perhitungan Hujan Bulanan Rata-rata
Lampiran LC-1	Tabel C.1 Hasil Perhitungan Etc Periode Evaluasi per MT
Lampiran LC-2	Tabel C.2 Hasil Perhitungan Etc Periode Evaluasi per 15 harian
Lampiran LC-3	Tabel C.3 Hasil Perhitungan Etc Rerata Periode Evaluasi per MT
Lampiran LC-4	Tabel C.4 Hasil Perhitungan Etc Rerata Periode Evaluasi per 15 harian
Lampiran LD-1	Tabel D.1 Hasil Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman per MT
Lampiran LD-2	Tabel D.2 Hasil Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman per 15 harian
Lampiran LD-3	Tabel D.3 Hasil Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman Rerata per MT
Lampiran LD-4	Tabel D.4 Hasil Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman Rerata per 15 harian
Lampiran LE	Tabel E.1 Perhitungan Indeks Resiko Periode Evaluasi Per MT (1 tahun terakhir)
Lampiran LF	Tabel F.1 Perhitungan Indeks Resiko Periode Evaluasi Per 15 harian (1 tahun terakhir)
Lampiran LG	Tabel G.1 Perhitungan Indeks Resiko Rerata Periode Evaluasi Per MT
Lampiran LH	Tabel H.1 Perhitungan Indeks Resiko Rerata Periode Evaluasi Per 15 harian

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem memiliki pengertian yang paling umum adalah sekumpulan benda yang memiliki hubungan di antara mereka. Kata sistem sendiri berasal dari bahasa Latin (*systema*) dan bahasa Yunani (*systema*) adalah suatu kesatuan yang terdiri komponen atau elemen yang dihubungkan bersama untuk memudahkan aliran informasi, materi atau energi. Sistem dapat juga diartikan sebagai sekumpulan unsur/elemen yang saling berkaitan dan saling mempengaruhi dalam melakukan kegiatan bersama untuk mencapai suatu tujuan (Anonim, 2017).

Irigasi sebagai upaya untuk mengairi lahan pertanian mempunyai beberapa definisi/pengertian. Secara umum dapat ditarik kesimpulan bahwa definisi dari Irigasi adalah usaha manusia untuk memberikan air pada lahan pertanian yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman (Anonim, 2009).

Dari definisi tersebut, dapat diketahui bahwa dalam irigasi terdapat unsur manusia, alam dan lingkungan (berupa air dan sumber air, lahan, iklim), unsur fisik (dalam bentuk jaringan irigasi), unsur tanaman (mencakup jenis tanaman, budidaya dan pola tanam) dan unsur teknik (dalam kaitannya dengan operasi dan pemeliharaan). Apabila kelima unsur tersebut saling berkaitan, berhubungan, bersesuaian dan bersatu maka dapat dikatakan bahwa irigasi merupakan suatu sistem yang disebut sistem irigasi (Susi Susilowati, 2004).

Endah Aryuningsih TR (2012) juga menyebutkan sistem irigasi terdiri dari prasarana irigasi, air irigasi, manajemen irigasi, kelembagaan pengelolaan irigasi dan sumber daya air. Hal ini menjelaskan bahwa suatu sistem irigasi dipengaruhi beberapa unsur yang tidak dapat berdiri sendiri dan bersinergis satu sama lain.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No 20 Tahun 2006 tentang Irigasi, keberlanjutan sistem irigasi dipengaruhi oleh keandalan air irigasi, keandalan

prasarana irigasi dan meningkatnya pendapatan petani. Keberlanjutan sistem irigasi harus dilaksanakan sesuai dengan norma, standar, pedoman dan manual yang ditetapkan oleh Menteri (Endah Aryuningsih TR, 2012).

Penggunaan air yang diatur dalam Undang Undang No. 7 Tahun 2004 mengenai Sumber Daya Air (pasal-1 ayat 18 dan ayat 19) menjelaskan bahwa penggunaan air yang dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan perlu memperhatikan fungsi keberlanjutan untuk memenuhi kebutuhan makhluk hidup baik sekarang atau masa yang akan datang. Fungsi keberlanjutan irigasi yang dijelaskan oleh Cullen (2004) yaitu adanya kelanjutan untuk menghasilkan produksi pertanian sampai masa yang akan datang, karena diharapkan generasi akan datang mempunyai hak yang sama dalam mendapatkan keuntungan dari lahan pertanian yang digunakan pada saat ini. Oster & Wichelns (2003) menjelaskan bahwa irigasi berkelanjutan mempunyai kontribusi pada produksi dan kualitas pertanian. Oleh karena itu, keberlanjutan irigasi untuk hasil produksi dan kegunaan di masa yang akan datang perlu memperhatikan kualitas lahan, air dan sumber daya alam lainnya.

Dewasa ini pemanfaatan air untuk irigasi atau pengairan perlu dilaksanakan secara bijaksana seiring dengan semakin meningkat sesuai dengan pertumbuhan dan perkembangan kehidupan manusia di dunia ini dan semakin terbatasnya Sumberdaya air (SDA) yang tersedia di alam, khususnya air tawar.

Untuk mengantisipasi hal tersebut, kemajuan perkembangan irigasi lebih ditujukan pada optimasi penggunaan air agar dapat digunakan secara lebih efektif dan efisien (Roni Komarudin, 2010).

Pemeliharaan prasarana irigasi sebagai salah satu pemanfaat air terbanyak menjadi sangat penting. Hal ini karena pemeliharaan prasarana irigasi akan menjamin keandalan air irigasi. Saryadi (2007) menjelaskan bahwa ketersediaan air yang cukup untuk memenuhi kebutuhan air tanaman, penting bagi keberhasilan program peningkatan produksi pangan khususnya beras

Prasarana irigasi berupa infrastruktur irigasi dan ketersediaan air diperlukan untuk pertanian. Infrastruktur irigasi terdiri dari bangunan dan saluran irigasi, yang harus terpelihara dengan baik. Adanya pemeliharaan yang baik dapat

menjamin suplai air untuk memenuhi kebutuhan air tanaman. Suplai air yang baik dapat menjamin fungsi infrastruktur sehingga keberadaannya dapat terjaga.

Infrastruktur irigasi sering mengalami kerusakan. Berbagai penyebab kerusakan infrastruktur irigasi, antara lain:

1. Pasok air yang terlalu kecil menyebabkan air tidak dapat mengalir sampai petak sawah. Akibatnya petani sering merusak saluran dan infrastruktur irigasi untuk bisa mendapatkan air.
2. Kecepatan aliran yang terlalu kecil mengakibatkan terjadinya sedimentasi sehingga mengurangi kapasitas air saluran.
3. Naik turunnya muka air pada saluran menyebabkan kerusakan saluran irigasi berupa retak-retak pada dinding saluran.
4. Terjadinya pengrusakan dan penunahan komponen infrastruktur seperti pintu air, dan sebagainya yang mengakibatkan pengaturan air tidak dapat dilakukan dengan baik.

Kerusakan-kerusakan tersebut berdampak pada peningkatan biaya pemeliharaan dan rehabilitasi infrastruktur irigasi. Oleh karena itu, terpeliharanya aliran di saluran diharapkan dapat menjamin terpeliharanya infrastruktur irigasi.

Pemanasan global yang terjadi sejak tahun 90-an telah menyebabkan perubahan iklim (*climate change*). U.S. Environmental Protection Agency (2007) menjelaskan bahwa perubahan iklim adalah perubahan signifikan dari besaran unsur klimatologi (seperti: temperatur, presipitasi dan angin) selama periode waktu tertentu. Hal ini menyebabkan adanya perubahan evapotranspirasi yang selanjutnya mengakibatkan perubahan kebutuhan air tanaman. Selain itu, perubahan iklim juga mempunyai dampak pada meningkatnya tekanan lingkungan dalam bentuk irregularitas ketersediaan air. Kekeringan dan banjir, degradasi lahan, perubahan praktik-praktik pertanian dan diversifikasi tanaman, dapat mengancam kelangsungan produksi pangan.

Kerusakan yang terjadi pada infrastruktur dan adanya perubahan iklim berpengaruh terhadap kinerja suatu daerah irigasi (DI). Mamok Soeprpto (2008) menjelaskan bahwa kinerja suatu sistem harus merupakan sesuatu yang terukur. Hal ini diperlukan untuk mengevaluasi kinerja saat ini yang akan digunakan sebagai pedoman operasi selanjutnya.

Propinsi Jawa Tengah menggunakan faktor k (faktor keandalan) untuk mengetahui kinerja DI. Faktor k merupakan perbandingan antara debit yang tersedia dengan debit kebutuhan. Semakin rendah nilai faktor k akan memberikan hasil produksi tanaman yang lebih rendah dan begitu juga sebaliknya. Ni Nyoman Yuli Suryani (2005) menjelaskan bahwa faktor k selain dipengaruhi oleh sistem pemberian air tanaman, juga dipengaruhi oleh pola tanam yang diterapkan. Meizar (2007) menambahkan faktor lain yang mempengaruhi faktor k adalah lamanya penyiapan lahan dan jadwal tanam. Sesuai dengan definisinya, faktor k tidak mempertimbangkan waktu dan lama kejadian kekurangan air. Akibatnya, masih terjadi gagal panen. Dapat disimpulkan bahwa keberlanjutan sistem irigasi tidak tercapai.

Mencermati keadaan ini, diperlukan batasan baru atau tambahan guna lebih menjamin pasokan air bagi tanaman yang dapat menjamin keberlanjutan sistem irigasi pada suatu DI. Duckstein et al. (1987) menyebutkan ada 10 (sepuluh) indeks kinerja dari suatu sistem, antara lain: 1) Tingkat pelayanan (*grade of service*), 2) Kualitas pelayanan (*quality of service*), 3) Kecepatan tanggap (*speed of response*), 4) Keandalan (*reliability*), 5) Periode kejadian (*incident period*), 6) Keandalan misi (*mission reliability*), 7) Ketersediaan (*availability*), 8) Keleentingan (*resiliency*), 9) Peka terhadap kerusakan (*vulnerability*), 10) Indeks ekonomi (biaya, kerugian, keuntungan). Mamok Soeprapto (2008) menggunakan indeks keandalan (*reliability*), keleentingan (*resiliency*) dan kerawanan (*vulnerability*) sebagai tolok ukur kinerja suatu sistem.

Penelitian ini akan mengkaji kinerja sistem daerah irigasi yang berkelanjutan DI Nepen di Kabupaten Boyolali Propinsi Jawa Tengah dengan memperhatikan tolok ukur irigasi dengan faktor k dan tambahan batasan yang lain berupa indeks keandalan (*reliability*) dan indeks keleentingan (*resiliency*) dalam menjamin pasokan air suatu DI. Indeks keleentingan digunakan untuk mengetahui kecepatan kondisi abnormal ke kondisi normal. Hal ini menggambarkan seberapa cepat aliran dalam suatu daerah irigasi dapat kembali normal setelah mengalami aliran yang abnormal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang masalah diatas, maka dapat dirumuskan suatu masalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah kinerja sistem irigasi pada DI Nepen berdasarkan tolok ukur berkelanjutan berupa faktor k?
2. Bagaimanakah kinerja sistem irigasi pada DI Nepen berdasarkan tolok ukur berkelanjutan dengan penambahan batasan berupa indeks keandalan dan indeks kelentingan?
3. Bagaimanakah upaya yang harus dilakukan untuk meningkatkan kinerja DI?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui hasil analisis kinerja sistem irigasi pada DI Nepen berdasarkan tolok ukur berkelanjutan berupa faktor k.
2. Mengetahui hasil analisis kinerja sistem irigasi pada DI Nepen berdasarkan tolok ukur berkelanjutan dengan penambahan batasan berupa indeks keandalan dan indeks kelentingan.
3. Mengetahui upaya yang harus dilakukan untuk meningkatkan kinerja DI.

1.4 Batasan Masalah

Untuk membatasi permasalahan agar penelitian ini lebih terarah dan tidak meluas maka perlu adanya pembatasan sebagai berikut:

1. Wilayah kajian adalah Daerah Irigasi Nepen, Kabupaten Boyolali.
2. Data yang digunakan dalam kajian berupa data sekunder.
3. Data Curah Hujan, Klimatologi dan Data Pemberian Air Irigasi (data debit yang masuk ke Intake) yang digunakan yaitu tahun 1999-2004.
4. Data Pola Tanam yang digunakan yaitu tahun 1999-2004.
5. Data curah hujan yang digunakan untuk uji kepanggahan yaitu tahun 1999-2008.
6. MT-1 dimulai pada tanggal 1 Oktober untuk (Golongan 1) dan 15 Oktober (Golongan 2), MT-2 dimulai pada tanggal 1 Pebruari untuk (Golongan 1) dan

15 Pebruari (Golongan 2), MT-3 dimulai pada tanggal 1 Juni untuk (Golongan 1) dan 15 Juni (Golongan 2).

7. Luas tanam pada MT-1, MT-2 dan MT-3 disesuaikan dengan SK Bupati Boyolali tahun 1999-2004.
8. Periode evaluasi ada 2, yakni: 1 tahun terakhir (1 Oktober 2003 – 30 September 2004) dan Rerata dari tahun 1999-2004.
9. Kegiatan yang berkaitan dengan konservasi DAS tidak dikaji.
10. Batasan Kinerja Sistem Daerah Irigasi hanya pada faktor keandalan (faktor k).
11. Prasarana irigasi, manajemen irigasi, kelembagaan pengelolaan irigasi dan sumber daya air tidak dikaji.

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Manfaat Teoritis

Meningkatkan pengetahuan dan pemahaman mengenai pemanfaatan air pada suatu DI.

1.5.2 Manfaat Praktis

Hasil yang diperoleh dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pembuatan kebijakan pemberian air pada petak sawah dari instansi terkait.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Roni Komarudin (2010) menjelaskan bahwa permasalahan yang sering dihadapi dalam operasional jaringan irigasi yang dapat dijadikan indikasi atas rendahnya kinerja jaringan irigasi antara lain: efisiensi distribusi air masih rendah terutama di tingkat jaringan tersier, manajemen operasional irigasi kurang tepat penerapannya sehingga dapat menimbulkan konflik biaya operasi dan pemeliharaan tidak mencakupi sehingga fungsi jaringan cepat menurun. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan evaluasi manajemen operasional irigasi yang meliputi prosedur penentuan alokasi air, metoda alokasi air ke jaringan tersier, metoda distribusi air pada jaringan utama dan sistem kontrol aliran yang diterapkan pada daerah studi telah tepat dan konsisten, sehingga diharapkan dapat meningkatkan kinerja sistem jaringan irigasi yang telah dibangun. Jika belum/ tidak sesuai bagaimana mestinya yang harus diterapkan agar kinerjanya dapat ditingkatkan.

Damar dkk (2005) melakukan kajian mengenai kinerja pengelolaan sistem DI di beberapa DI di Pulau Jawa dan Lampung berdasarkan indikator kondisi, kendala air, jaringan irigasi, kelembagaan usaha tani dan implementasi operasi atau pemeliharaan. Metode pengumpulan data yang digunakan adalah interview, angket dan observasi lapangan. Tujuan penelitian Damar dkk (2005) adalah untuk mengetahui keberhasilan penyertaan masyarakat dalam pengelolaan DI. Dari hasil pengolahan data DI tentang pengelolaan irigasi yang baik, dapat diketahui bahwa:

1. Kondisi keandalan air menurun, karena menurunnya kondisi fisik jaringan irigasi tersier.
2. Kondisi fisik jaringan irigasi primer dan sekunder pada umumnya pada kondisi baik.

commit to user

3. Implementasi pengelolaan sistem irigasi menurun karena kurangnya dana pengelolaan irigasi, baik di pemerintah maupun P3A.
4. Kondisi kelembagaan menurun yang akan berpengaruh terhadap pengelolaan irigasi di lapangan.
5. Kondisi usaha tani menurun akibat pelaksanaan pengelolaan irigasi yang berdampak pada tingkat pelayanan air irigasi.

Dapat disimpulkan bahwa keikutsertaan P3A dalam pengelolaan sistem irigasi akan meningkatkan implementasi pengelolaan irigasi.

Fanani (2005) juga melakukan kajian mengenai peranan organisasi perkumpulan petani pada pengelolaan DI yang berkaitan dengan PP No. 77 Tahun 2001 tentang Irigasi di Daerah Istimewa Propinsi Sumatera Selatan. Metode pengumpulan data yang digunakan adalah wawancara dengan pihak terkait dalam pemeliharaan dan pengelolaan irigasi di Pemda Propinsi dan Pemda Kabupaten serta organisasi pengelola irigasi pada tingkat petani yang penekanannya dalam aspek kelembagaan, keuangan dan teknis pengelolaan. Hasil dari kajian ini adalah sebagai berikut:

1. Keberadaan P3A dan GP3A sebagian besar sudah berbadan hukum.
2. Pembagian tugas, kewenangan dan tanggung jawab antara lembaga P3A dan GP3A sudah jelas.
3. Dinas PU Propinsi dan Dinas PU Kabupaten sangat menyadari pemberdayaan dan kepengurusan P3A dan GP3A sangatlah penting.
4. Kesadaran anggota P3A untuk melakukan iuran dalam pengelolaan irigasi masih kurang maksimal.
5. Administrasi pengelolaan dan penggunaan iuran irigasi telah dilakukan secara tertib dan transparan.
6. Kemampuan teknis yang dimiliki lembaga ini terbatas pada penelusuran jaringan irigasi.
7. Perbaikan jaringan irigasi selalu dimintakan bantuan kepada pemerintah kabupaten/kota karena terbatas pada iuran anggota yang tersedia.

Berdasarkan hasil kajian tersebut diatas dapat diketahui bahwa pengelolaan dan pengembangan irigasi tidak mungkin dilakukan oleh lembaga P3A dan GP3A, tetapi harus ada koordinasi dengan Dinas terkait.

Endah Aryuningsih TR (2012) melakukan evaluasi kinerja sistem irigasi DI Krisak dengan menggunakan Rasio Pelaksanaan Pemberian Air (RPPA). Penilaian dilakukan dengan metode observasi lapangan (penelusuran jaringan irigasi), wawancara dan analisis data sekunder. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja sistem irigasi dapat disimpulkan bahwa aspek yang tidak berhubungan langsung dengan personil/kelompok (berupa prasarana fisik, sarana penunjang dan dokumentasi) lebih sensitif dari aspek yang berhubungan langsung dengan personil/kelompok (berupa produktivitas tanam, organisasi personalia dan P3A).

Penelitian ini mengkaji kinerja sistem daerah irigasi di daerah irigasi Nepen dengan tolok ukur bertitik tolak pada tolok ukur irigasi yang digunakan di Propinsi Jawa Tengah, adalah faktor k. Oleh karena itu penelitian ini akan mengambil tolok ukur berupa faktor k dan tambahan tolok ukur yang lain berupa indeks keandalan (*reliability*) dan indeks ketahanan (*resiliency*) dalam menjamin pasokan air suatu DI sehingga keberlanjutan suatu kinerja suatu DI dapat terwujud.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Uji Kepangghahan Data Hujan

Hujan berasal dari uap air di atmosfer, sehingga bentuk dan jumlahnya terdiri dan jumlahnya dipengaruhi oleh faktor klimatologi seperti angin, temperatur dan tekanan atmosfer. Uap air tersebut akan naik ke atmosfer sehingga mendingin dan terjadi kondensasi menjadi butir-butir air dan kristal-kristal es yang akhirnya jatuh menjadi hujan. Chow et al. (1988) menjelaskan 2 (dua) tipe hujan, yaitu: hujan titik dan hujan wilayah. Hujan titik adalah curah hujan yang didapat dari hasil pencatatan alat pengukur hujan atau data curah hujan yang akan diolah berupa data kasar atau data mentah yang tidak dapat langsung dipakai.

Satu seri data hujan untuk satu stasiun tertentu dimungkinkan tidak pangghah (*incosistent*), sehingga data tersebut tidak dapat langsung dianalisis. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada kurang lebih 600 stasiun hujan di Pulau Jawa, ternyata 15% data hujannya tidak pangghah. Data yang diketahui tidak pangghah harus dikoreksi terlebih dahulu. Cara koreksi yang dilakukan dengan cara

grafis dan analitis. Cara grafis yang biasa digunakan adalah dengan metode analisis kurva massa ganda (*double mass curve analysis*) yang dikembangkan oleh Searcy dan Hardison (Sri Harto, 2000).

Bambang Triatmojo (2008) menjelaskan bahwa metode analisis kurva massa ganda membandingkan hujan tahunan kumulatif di stasiun y dengan stasiun referensi x yang merupakan rerata beberapa stasiun di dekatnya. Nilai kumulatif tersebut digambarkan dalam grafik cartesian x-y, dan kurva yang terbentuk diperiksa untuk melihat perubahan kemiringannya. Apabila garis yang terbentuk berupa garis lurus maka stasiun y adalah konsisten, dan sebaliknya. Jika stasiun tidak konsisten, akan dilakukan koreksi dengan mengalikan data setelah kurva berubah dengan perbandingan awal dan akhir. Hasilnya adalah kurva patah.

Cara ini masih diragukan karena pengujian dilakukan atas satu stasiun terhadap beberapa stasiun disekitarnya. Hal ini berarti apabila semua stasiun diuji, maka stasiun yang semua diuji yang kemungkinan tidak pernah akan dijadikan acuan. Untuk itu diperlukan analisis dengan cara statistik, antara lain: *Von Neumann Ratio*, *Cumulative Deviation*, *Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS)* dan *Weighted Adjusted Partial Sums (WAPS)*. Penelitian ini menggunakan metode RAPS karena metode ini lebih baik digunakan apabila terjadi perubahan diperkirakan berada di tengah-tengah deret yang digunakan.

Sri Harto (1993) menguji kepenggahan (*consistency*) data hujan dengan metode *Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS)*. Uji kepenggahan dilakukan dengan menggunakan Persamaan sebagai berikut:

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}), \text{ dengan } k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.1)$$

$$S_0^* = 0$$

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{Sd}, \text{ dengan } k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.2)$$

$$Sd^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{n} \quad (2.3)$$

dengan:

$$\begin{aligned} S_k^{**} &= \text{Rescaled Adjusted Partial Sums,} \\ S_k^* &= \text{Cumulative Deviation,} \\ Y_i &= \text{data hujan ke-i (mm),} \end{aligned}$$

- \bar{Y} = data hujan rerata-i (mm),
- Sd = deviasi standar,
- n = jumlah data.

Untuk uji kepangahan digunakan metode statistik:

$$Q_{RAPS} = maks|S_k^{**}|, 0 \leq k \leq n \tag{2.4}$$

atau

$$R_{RAPS} = maksimumS_k^{**} - minimumS_k^{**}, 0 \leq k \leq n \tag{2.5}$$

Data dinyatakan pangah jika:

$$Q_{RAPS} / \sqrt{n} < \text{nilai kritik (Tabel 2.1)} \tag{2.6}$$

Nilai kritik Q_{RAPS} dan R_{RAPS} akan di dapatkan dari Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Nilai Kritik Q_{RAPS} dan R_{RAPS}

n	$\frac{Q_{RAPS}}{\sqrt{n}}$			$\frac{R_{RAPS}}{\sqrt{n}}$		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1,05	1,14	1,29	1,21	1,28	1,38
20	1,10	1,19	1,42	1,25	1,43	1,60
30	1,12	1,24	1,46	1,40	1,50	1,70
40	1,13	1,26	1,50	1,42	1,53	1,74
50	1,14	1,27	1,52	1,44	1,55	1,78
100	1,17	1,29	1,55	1,50	1,62	1,86
∞	1,22	1,36	1,63	1,60	1,75	2,00

Sumber: Sri Harto (1993)

2.2.2 Kebutuhan Air Tanaman di Lahan

Suroso, dkk (2007) kebutuhan air untuk tanaman di lahan dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut: (1) pengolahan lahan, (2) penggunaan konsumtif, (3) perkolasi, (4) penggantian lapis air, dan (5) sumbangan hujan efektif.

Lahan pertanian memerlukan air untuk pengolahan lahan dan juga penggantian air yang hilang. Tinggi genangan untuk pengolahan lahan yang digunakan adalah 12.5 mm/hari/ha selama 15 hari (Mamok Soeprapto, 2008).

a. Evapotranspirasi dengan Metode Penman – Monteith

Bambang Triatmojo (2008) menjelaskan bahwa evapotranspirasi adalah evaporasi dari permukaan lahan yang ditumbuhi tanaman. Evapotranspirasi juga dapat didefinisikan sebagai penguapan total dari lahan dan air yang diperlukan

oleh tanaman dimana pada perhitungan evaporasi dan transpirasi dilakukan secara bersama-sama.

Sri Harto (1983) menjelaskan bahwa evapotranspirasi didefinisikan sebagai penguapan dari suatu daerah aliran sungai sebagai akibat pertumbuhan tanaman didalamnya. Apabila tersedia cukup air maka digunakan istilah evapotranspirasi potensial (potential evapotranspirations/PET). PET sangat penting dalam perhitungan kebutuhan air tanaman untuk irigasi. Perhitungan evapotranspirasi potensial dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dengan alat pengukur evapotranspirasi berupa *Evapotranspirometer*, *Atmometer* dan *Panci penguapan*. Cara ini sulit untuk dilaksanakan karena memerlukan pengamatan/pengukuran langsung pada alat/pengukur. Oleh karena itu, digunakan rumus empiris untuk mendapatkan evapotranspirasi. Ada beberapa rumus empiris yang dikemukakan oleh para ahli, antara lain: rumus Thornthwaite, metode Blaney-Criddle dan metode Penman.

Telah dilakukan kajian mengenai perhitungan metode Penman secara terus menerus sejak direkomendasikan oleh *Food and Agriculture Organization* (FAO) untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti. Pada Mei 1990, FAO mengadakan pertemuan dengan para konsultan ahli dan peneliti berkolaborasi dengan *International Commission for Irrigation and Drainage* (ICID) dan *World Meteorological Organization* untuk meninjau kembali dan merevisi prosedur perhitungan *ET_o*. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan metode Penman-Monteith sebagai standar perhitungan *ET_o* yang baru berdasarkan data klimatologi daerah yang ditinjau.

Prosedur perhitungan dengan menggunakan metode Penman Monteith adalah sebagai berikut:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{mean} + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (2.7)$$

$$\Delta_p = \frac{4098 \left[0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27T_{mean}}{T + 237,3}\right) \right]}{(T_{mean} + 237,3)^2} \quad (2.8)$$

dengan:

- ET_o = evapotranspirasi potensial (mm/hari),
 Δ_p = kemiringan lengkung tekanan uap air jenuh (kPa/°C),
 T = Temperatur udara (°C),
 T_{mean} = Temperatur udara rata-rata (°C),
 R_n = radiasi netto (MJ/m²/hari),
 G = soil heat flux (MJ/m²/hari),
 γ = konstanta Psychrometric (kPa/°C),
 u_2 = kecepatan angin pada ketinggian 2 m (m/dt),
 e_s = tekanan uap jenuh (kPa),
 e_a = tekanan uap nyata (kPa).

1) Radiasi netto (*net radiation*)

Radiasi netto (R_n) merupakan selisih antara *net solar radiation* (R_{ns}) dengan *net longwave radiation* (R_{nl}), atau dinyatakan dengan Persamaan:

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

2) Radiasi sinar matahari netto (*net solar radiation*)

Radiasi sinar matahari netto merupakan bagian dari radiasi netto, maka:

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad (2.10)$$

Pada umumnya nilai α (Albedo) = 0,23 maka:

$$R_{ns} = (1 - 0,23) R_s \quad (2.11)$$

$$R_s = \left(a_s - b_s \frac{n}{N} \right) R_a \quad (2.12)$$

Pada umumnya nilai $a_s = 0,25$ dan $b_s = 0,50$, maka:

$$R_s = \left(0,25 - 0,50 \frac{n}{N} \right) R_a \quad (2.13)$$

dengan:

- R_{ns} = radiasi sinar matahari netto (MJ/m²/hari),
 R_s = radiasi sinar matahari (MJ/m²/hari),
 R_{nl} = radiasi gelombang panjang (MJ/m²/hari),
 n = lama penyinaran matahari (jam),
 N = kemungkinan maksimum penyinaran matahari (jam).

Besarnya n dapat diperkirakan dengan menggunakan Persamaan sebagai berikut:

commit to user

$$N = \frac{24}{\pi} \varpi_s \quad (2.14)$$

$$\varpi_s = \arccos[-\tan(\varphi)\tan(\delta)] \quad (2.15)$$

$$\delta = 0,409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39\right) \quad (2.16)$$

$$J = \text{int}\left(\frac{275M}{9} - 30 + D\right) - 2 \quad (2.17)$$

Jika $M < 3$, maka $J = J + 2$. Jika tahun Kabisat (*leap year*) dan $M > 2$, maka $J = J + 1$.

$$\text{Radian} = \frac{\pi}{180} [\text{degrees}] \quad (2.18)$$

dengan:

ϖ_s = Sudut waktu matahari tenggelam (rad),

δ = deklinasi matahari (rad),

φ = letak lintang (radian)

J = jumlah hari dalam 1 tahun = 365 atau 366

M = bulan

D = hari tiap bulan

3) Radiasi *extraterrestrial* untuk periode harian

Radiasi *extraterrestrial* untuk periode harian diperkirakan berdasarkan Persamaan:

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\varpi_s \sin(\varphi)\sin(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\sin(\varpi_s)] \quad (2.19)$$

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (2.20)$$

dengan:

R_a = Radiasi ekstraterrestrial untuk periode harian (MJ/m²/hari),

G_{sc} = 0,082 MJ/m²/hari,

d_r = jarak inverse relatif Bumi – Matahari,

Evaporasi ekuivalen (mm/hari) = R_a (MJ/m²/hari) x 0,408.

4) Radiasi gelombang panjang (*net longwave radiation*)

Radiasi gelombang panjang dihitung dengan Persamaan berikut:

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{maz,K}^4 + T_{min,K}^4}{2} \right] \left(0,34 - 0,14\sqrt{e_a} \right) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (2.21)$$

Dengan nilai σ (Steven-Boltzman) = $4,903 \times 10^{-9}$, maka:

$$R_{nl} = 4,903 \times 10^{-9} \left[\frac{T_{maz,K}^4 + T_{min,K}^4}{2} \right] \left(0,34 - 0,14\sqrt{e_a} \right) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (2.22)$$

$$R_{so} = (0,75 + 2 \times 10^{-5} z) R_a \quad (2.23)$$

$$K = ^\circ C + 273,16 \quad (2.24)$$

dengan:

- R_{nl} = Radiasi gelombang panjang (MJ/m²/hari),
- R_{so} = Radiasi matahari pada kedalaman suca cerah (MJ/m²/hari),
- $T_{maz,K}$ = Max absolute temperature selama 24 jam (Kalvin),
- $T_{min,K}$ = Min absolute temperature selama 24 jam (Kalvin),
- z = asiusn di atas permukaan laut (m),
- K = satuan suhu dalam Kalvin (Kalvin).

5) Soil heat flux (G)

Untuk periode harian atau 10 harian, nilai *soil heat flux* $G \sim 0$.

Secara umum, nilai G dapat diperkirakan berdasarkan:

$$G = c_s \frac{T_i - T_{i-1}}{\Delta t} - \Delta z \quad (2.25)$$

dengan:

- G = soil heat flux (MJ/m²/hari),
- c_s = soil heat capacity (MJ/m³/hari),
- T_i = Temperatur udara pada waktu i (°C),
- T_{i-1} = Temperatur udara pada waktu $i-1$ (°C),
- Δt = lama waktu interval (hari),
- Δz = kedalaman tanah efektif (m).

6) Konstanta Psychrometric

Nilai konstanta *psychrometric* dihitung berdasarkan Persamaan:

$$\gamma = 0,665 \times 10^{-3} P \quad (2.26)$$

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065ez}{293} \right)^{5,26} \quad (2.27)$$

dengan:

- γ = konstanta *psychrometric* (kPa/°C),

ez = elevasi di atas aras air laut (m),
 P = Konstanta *Psychrometric* (MJ/m²/hari).

7) Kecepatan angin pada ketinggian 2 m.

$$u_2 = u_z \frac{4,87}{\ln(67,8z - 5,42)} \quad (2.28)$$

dengan:

u_2 = kecepatan angin pada ketinggian 2 m (m/dt),
 u_z = kecepatan angin pada ketinggian z m (m/dt).

8) Tekanan uap jenuh

Tekanan uap air jenuh dihitung dengan menggunakan Persamaan:

$$e_s = \frac{e^0(T_{\min}) + e^0(T_{\max})}{2} \quad (2.29)$$

$$e^0(T_{\max}) = 0,6108 \exp \left[\frac{17,27T_{\max}}{T_{\max} + 237,3} \right] \quad (2.30)$$

$$e^0(T_{\min}) = 0,6108 \exp \left[\frac{17,27T_{\min}}{T_{\min} + 237,3} \right] \quad (2.31)$$

dengan:

e_s = tekanan uap jenuh (kPa),
 $e^0(T_{\max})$ = tekanan uap jenuh pada temperatur maksimum (kPa),
 $e^0(T_{\min})$ = tekanan uap jenuh pada temperatur minimum (kPa).

9) Tekanan uap nyata

Perhitungan tekanan uap nyata berdasarkan kelembaban relatif sebagai berikut:

$$e_a = \frac{e^0(T_{\min}) \frac{RH_{\min}}{100} + e^0(T_{\max}) \frac{RH_{\min}}{100}}{2} \quad (2.32)$$

$$RH = 100 \frac{e_a}{e^0T} = 100 \frac{e_a}{e_s} \quad (2.33)$$

dengan:

e_a = tekanan uap nyata (kPa),
 RH = kelembaban relatif (%),
 e^0T = tekanan uap jenuh pada temperatur T (kPa).

b. Evapotranspirasi Tanaman (Crop Evapotranspiration/ ET_c)

Pengaruh dari perbedaan jenis tanaman dilapangan menyebabkan adanya perhitungan evapotranspirasi tanaman. Evapotranspirasi tanaman (ET_c) adalah sama dengan perkalian antara faktor evapotranspirasi (ET_o) dan koefisien tanaman k_c .

Allen *et al.* (1998) menjelaskan bahwa faktor k_c dapat dianggap sebagai perpaduan antara evaporasi dan transpirasi, atau dapat dipisahkan menjadi dua koefisien, yaitu basal crop (k_{cb}) dan koefisien evaporasi tanah (k_e), sehingga nilai k_c merupakan penjumlahan dari *basal crop* (k_{cb}) dan koefisien evaporasi tanah (k_e).

Pemilihan penggunaan *single* k_c atau *dual* k_c dalam suatu analisis disesuaikan dengan kebutuhan, seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Kriteria Pemilihan k_c menurut Allen *et al.* (1997)

	<i>Single</i> k_c	<i>Dual</i> k_c
Tujuan perhitungan	<ul style="list-style-type: none"> - Perancangan dan perencanaan irigasi - Pengelolaan irigasi - Jadwal irigasi - Pembelian air tidak sering 	<ul style="list-style-type: none"> - Penelitian - Pembelian air sering - Irigasi tambahan - Kajian keseimbangan air
Satuan penggal waktu	Harian, 10-hari, bulanan	Harian
Cara penyelesaian	<ul style="list-style-type: none"> - Grafis - Kalkulator - Komputer 	<ul style="list-style-type: none"> - Komputer

Perhitungan evapotranspirasi tanaman menggunakan *dual* k_c karena penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengelolaan DI dengan mengambil nilai k_c berdasarkan jenis tanaman yang ditanam.

Persamaan untuk menghitung Evapotranspirasi Tanaman (ET_c) adalah sebagai berikut:

$$ET_c = ET_o \times k_c \tag{2.34}$$

dengan:

- ET_c = evapotranspirasi tanaman, dalam mm/hari,
- ET_o = evapotranspirasi, dalam mm/hari,
- k_c = koefisien tanaman.

Persamaan *dual* k_c adalah sebagai berikut:

$$k_c = k_{cb} + k_e \quad (2.35)$$

dengan:

k_c = koefisien tanaman,

k_{cb} = basal crop,

k_e = koefisien evaporasi tanah.

Perhitungan ET_c dilakukan dengan memasukkan koefisien pada tahapan pertumbuhan tanaman sebagai berikut.

1) Tahapan masa tumbuh (*growth stage*)

Tahapan pertumbuhan tanaman berbeda-beda sesuai dengan jenis tanamannya. Allen *et al.* (1968) menunjukkan masa tumbuh tanaman padi dan Jagung dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Masa tumbuh tanaman padi dan Jagung menurut Allen et al (1967)

Tanaman	L_{ini}	L_{dev}	L_{mid}	L_{late}	Tota	Wilayah
Padi	75	15	15	15	120 ^{*)}	Tropis, Mediteran
	30	30	60	30	150	
	30	30	80		180	
Jagung	20	30	30	35	115	

dengan:

L_{ini} : tahap awal pertumbuhan (hari),

L_{dev} : tahap pertumbuhan (hari),

L_{mid} : tahap pertengahan musim (hari),

L_{late} : tahap akhir musim (hari),

*) : Ditjen irigasi (1986a).

2) Koefisien tanaman dasar (basal)

Koefisien tanaman dasar (K_{cb}) harian sepanjang periode tumbuh dipengaruhi keadaan iklim lokal. Oleh karena itu, hasil yang diperoleh dari rumus harus disesuaikan dengan keadaan iklim lokal. Besarnya K_{cb} untuk beragam jenis tanaman untuk diperkirakan berdasarkan Persamaan berikut:

commit to user

$$K_{cb} = K_{cb(tab)} + [0,04 \cdot (u_2 - 2) - 0,004 \cdot (RH_{\min} - 45)] \cdot \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (2.36)$$

dengan:

h = tinggi tanaman (cm).

Allen *et al.* (1998) menggunakan nilai K_{cb} untuk tanaman padi (Tabel 2.4) dengan menyesuaikan nilai pada masa pertumbuhan pada pertengahan dan akhir dengan Persamaan 2.36.

Tabel 2.4. Nilai K_{cb} untuk tanaman padi dan Kedelai menurut Allen *et al.* (1997)

Tanaman	K_{cb-ini}	K_{cb}	$K_{cb-akhir}$	Tinggi tanaman maksimum (cm)	Maks Akar (cm)	Depl fraction
Padi	1,00	1,15	0,45-0,70	100	75	0,20
Jagung	0,5	1,15	0,5	100	135	0,55

dengan:

K_{cb-ini} : koefisien tanaman basal tahapan masa tumbuh awal,

K_{cb-mid} : koefisien tanaman basal tahapan masa tumbuh pertengahan,

$K_{cb-akhir}$: koefisien tanaman basal tahapan masa tumbuh akhir.

3) Koefisien evaporasi tanah

Koefisien evaporasi tanah (K_e) dihitung berdasarkan selisih antara batas atas koefisien evaporasi (K_{cmax}) dan K_{cb} , atau berdasarkan bagian tanah yang paling banyak mengalami evaporasi. Besaran koefisien ini dapat diperkirakan dengan Persamaan berikut:

$$K_e = \min\left\{\left\{K_r(K_{cmax} - K_{cb})\right\}, \left\{f_{ew} \cdot K_{cmax}\right\}\right\} \quad (2.37)$$

dengan:

K_e = koefisien evaporasi tanah,

K_r = koefisien pengurangan evaporasi,

K_{cmax} = batas atas koefisien evaporasi,

f_{ew} = bagian tanah yang paling banyak terjadi evaporasi.

Tahap – tahap untuk mendapatkan nilai koefisien K_e sebagai berikut:

a) Koefisien pengurangan evaporasi

commit to user

$$K_r = \frac{(TEW - D_{e,i-1})}{(TEW - REW)}, \text{ untuk } D_{e,i-1} > REW \quad (2.38)$$

$$TEW = 1000(\theta_{FC} - 0,5\theta_{WP}) \cdot Z_e \quad (2.39)$$

dengan:

- TEW = maksimum air yang mungkin menguap (mm),
- REW = kedalaman kumulatif evaporasi pada akhir tahap tumbuh (mm),
- $D_{e,i-1}$ = jumlah *depletion* dari lapisan tanah yang terevaporasi (mm),
- θ_{FC} = kandungan lengas tanah pada kapasitas lapangan (m^3/m^3),
- θ_{WP} = kandungan lengas tanah pada titik layu (m^3/m^3),
- Z_e = ketebalan lapisan tanah permukaan yang mungkin kering akibat evaporasi (0,010 - 0,015 m).

Perkiraan nilai TEW , REW , θ_{FC} dan θ_{WP} menggunakan Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Karakteristik lengas Tanah menurut Allen et al (1998)

Jenis tanah	Karakteristik air tanah			Parameter evaporasi	
	θ_{FC}	θ_{WP}	$\theta_{FC} - \theta_{WP}$	Jumlah air yang dapat menguap	
				Tahap 1 REW	Tahap 1 & 2 TEW
	(m^3/m^3)	(m^3/m^3)	(m^3/m^3)	mm	mm
Sand	0.07 - 0.17	0.02 - 0.07	0.05 - 0.11	2-7	6-12
Loamy Sand	0.11 - 0.19	0.03 - 0.10	0.06 - 0.12	4-8	9-14
Sandy Loam	0.18 - 0.28	0.06 - 0.16	0.11 - 0.15	6-10	15-20
Loam	0.20 - 0.30	0.07 - 0.17	0.13 - 0.18	8-10	16-22
Silt Loam	0.22 - 0.36	0.09 - 0.21	0.13 - 0.19	8-11	18-25
Silt	0.28 - 0.36	0.12 - 0.22	0.16 - 0.20	8-11	22-26
Silty Clay Loam	0.30 - 0.37	0.17 - 0.24	0.13 - 0.18	8-11	22-27
Silty Clay	0.30 - 0.42	0.17 - 0.29	0.13 - 0.19	8-12	22-28
Clay	0.32 - 0.40	0.20 - 0.24	0.12 - 0.20	8-12	22-29

b) Batas atas K_{cmax}

$$K_{cmax} = \max \left\{ \left\{ 1,2 + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(RH_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3} \right)^{0,3} \right\}, \{K_{cb} + 0,05\} \right\} \quad (2.40)$$

c) Bagian atas yang paling banyak mengalami evaporasi

$$f_{ew} = \min(1 - f_c, f_w) \quad (2.41)$$

$$f_c = \left[\frac{K_{cb} - K_{c \min}}{K_{c \max} - K_{c \min}} \right]^{(1+0,5 \cdot h)} \quad (2.42)$$

dengan:

- f_{ew} = bagian tanah yang paling banyak terjadi evaporasi,
 f_c = bagian tanah yang tertutup tanaman,
 f_w = bagian tanah yang terbasahi oleh irigasi atau hujan
 (0,01-1),
 $K_{c \min}$ = 0,15-0,20.

Perkiraan nilai f_w menggunakan Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Nilai f_w tiap jenis Sistem Irigasi menurut Allen et al (1998)

Sistem Pembasahan Tanah	f_w
Hujan, Irigasi <i>Sprinkler</i> , Irigasi <i>Basin</i> , Irigasi <i>Border</i>	1,00
Irigasi <i>Furrow</i> , setiap galur, dasar sempit	0,60 - 1,00
Irigasi <i>Furrow</i> , setiap galur, dasar lebar	0,40 - 0,60
Irigasi <i>Furrow</i> , galur berselang	0,30 - 0,50
Irigasi <i>Trickle</i>	0,30-0,40

- d) Jumlah penipisan (*depletion*) kandungan air pada lapisan tanah yang ter-evaporasi

$$D_{e,i-1} = D_{e,i} - (P - RO) - \frac{I_i}{f_w} - \frac{E_i}{f_{ew}} + T_{ew,i} + DP_{e,i} \quad (2.43)$$

$$DP_{e,i} = (P_i - RO_i) - \frac{I_i}{f_w} - DP_{e,i-1} \geq 0 \quad (2.44)$$

$$E_i = ET_o \times K_e \quad (2.45)$$

dengan:

- $D_{e,i}$ = kedalaman evaporasi kumulatif (mm),
 $P_{e,i}$ = kedalaman perkolasi (mm),
 P = hujan (mm),
 RO = *runoff* (mm),
 I_i = kedalaman irigasi netto (mm),
 E_i = evaporasi (mm),
 ET_o = evapotranspirasi potensial (mm),
 K_e = koefisien evaporasi tanah,
 $T_{ew,i}$ = transpirasi (mm).

Untuk mengestimasi kekurangan curah hujan yang harus dipenuhi oleh air irigasi diperlukan analisa statistik yang membutuhkan data curah hujan yang

panjang (*time series*) sedangkan tidak semua curah hujan yang jatuh digunakan oleh tanaman. Hujan efektif digunakan untuk memperhitungkan kehilangan karena limpasan permukaan (*run off*) atau karena perkolasi yang jauh di luar daerah akar tanaman. Hujan efektif dideskripsikan sebagai hujan dengan probabilitas terlampaui 80% kering (Susi Susilowati, 2004).

2.2.3 Efisiensi irigasi (IE)

Efisiensi irigasi terdiri atas efisiensi pengaliran yang pada umumnya terjadi di jaringan utama dan efisiensi di jaringan sekunder (dari bangunan pembagi sampai petak sawah). Efisiensi irigasi didasarkan asumsi bahwa sebagian dari jumlah air yang diambil akan hilang baik di saluran maupun di petak sawah. Kehilangan ini disebabkan oleh kegiatan eksploitasi, evaporasi dan rembesan. Kehilangan air akibat evaporasi dan rembesan pada umumnya relatif kecil jika dibandingkan dengan kehilangan air akibat eksploitasi, sehingga pemberian air di bangunan pengambilan harus lebih besar dari kebutuhan air di sawah.

Berdasarkan hasil survey ICID/ILRI (*International Livestock Research Institute*), USDA (*United States Department of Agriculture*), dan USSCS (*United States Soil Conservation Service*) terdapat beragam nilai efisiensi irigasi, kisaran nilai efisiensi adalah sebagai berikut: $E_a = 0,32-0,50$, $E_b = 0,70-0,90$ dan $E_c = 0,65-0,90$. Khusus untuk tanaman padi, ICID/ILRI menetapkan efisiensi penggunaan air di sawah sebesar $E_a = 0,32$.

Menurut Ditjen Irigasi (1986b), nilai efisiensi irigasi sebesar 16% - 22,50% di petak tersier antara bangunan sadap tersier ke bawah, 7,50% - 12,50% di saluran sekunder dan 7,50% - 12,50% di saluran utama. Efisiensi irigasi secara keseluruhan sebesar 59% - 73% dan untuk *upland crops* berkisar 50% - 60%. Kajian ini menggunakan koefisien irigasi dari Ditjen Irigasi karena nilai tersebut digunakan dalam praktek di lapangan.

Menurut Mamok Soeprapto (2008), faktor efisiensi dibagi menjadi dua macam, yaitu:

- a) Efisiensi saluran, E_d , yang terdiri dari:
 - a. efisiensi saluran utama, E_c dan pintu-pintu pengamatan,
 - b. efisiensi saluran petak sawah, E_b .

b) Efisiensi penggunaan air di sawah, E_a .

Perhitungan faktor efisiensi dapat dihitung dengan Persamaan 2.45 sebagai berikut:

$$E_d = E_a \times E_b \times E_c \quad (2.46)$$

dengan:

- E_d = Efisiensi saluran,
- E_c = Efisiensi saluran utama,
- E_b = Efisiensi saluran petak sawah,
- E_a = Efisiensi penggunaan air di sawah.

Kajian ini menggunakan koefisien irigasi sebagai berikut $E_a = 0,75$, $E_b = 0,70$ dan $E_c = 0,65$.

2.2.4 Kebutuhan Air di Pintu Pengambilan

Suroso, dkk (2007) menjelaskan bahwa kebutuhan air di pintu pengambilan atau bangunan utama dipengaruhi oleh luas areal tanam, kebutuhan air untuk tanaman di lahan dan efisiensi, sebagaimana diperlihatkan dalam Persamaan 2.46 berikut ini.

$$D_R = \frac{I_R \cdot A}{E_f} \quad (2.47)$$

dengan:

- D_R = kebutuhan air irigasi di pintu pengambilan, dalam liter/detik,
- I_R = kebutuhan air irigasi, dalam liter/detik/ha,
- A = luas areal irigasi, dalam luas (ha),
- E_f = Efisiensi jaringan irigasi total (%),

2.2.5 Imbangan Air (Residu Debit)

Suroso, dkk (2007) menjelaskan bahwa imbangan air diperlukan untuk mengetahui bagaimana kebutuhan air irigasi dapat dilayani oleh ketersediaan air yang ada. Sehingga diketahui apakah mengalami kelebihan air (surplus) ataukah kekurangan air (defisit).

2.2.6 Tolok Ukur Keberlanjutan

a. Faktor keandalan (faktor k)

Faktor k merupakan rasio antara debit yang tersedia dengan kebutuhan air irigasi. Kinerja DI dinyatakan optimal/andal jika batasan yang diterapkan berupa faktor k (keandalan) bernilai $> 80\%$. Mencermati kemungkinan banyaknya gagal panen dengan batasan tersebut, maka digunakan batasan/tolok ukur baru berupa indeks resiko.

b. Indeks Keandalan dan Indeks Kelentingan

Indeks resiko ini juga digunakan sebagai parameter dari keberlanjutan kinerja DI. Indeks resiko yang digunakan adalah indeks keandalan dan indeks kelentingan.

Mamok Soeparto (2008) menjelaskan besarnya debit aliran antara ketersediaan dan kebutuhan air merupakan fungsi waktu, dimana terdapat kisaran nilai maksimum ($Q_r\text{-max}$) dan minimum ($Q_r\text{-min}$) dan pengal waktu tertentu. Berdasarkan penelitian sebelumnya, kisaran nilai tersebut merupakan kisaran kelentingan (*resiliency*), yaitu kisaran dari kemampuan laju aliran untuk kembali ke aras aliran normal atau aras aliran yang dapat diandalkan (*reliable*).

Dari uraian tersebut terdapat resiko pada setiap kebijakan pemenuhan kebutuhan air, yaitu: resiko kemungkinan terjadinya penurunan produksi karena air yang diberikan kurang memenuhi kebutuhan produksi. Dalam hal ini indeks kelentingan menggunakan kisaran nilai 0 (nol) hingga 1 (satu), dimana air mungkin kembali ke aras normal dengan kecepatan tertentu. Dapat disimpulkan bahwa pemakaian air dinyatakan aman bila indeks kinerja keandalan dan kelentingan bernilai besar.

Pengambilan nilai awal dalam kajian ini yaitu indeks keandalan $> 0,80$ dan indeks kelentingan $> 0,50$. Kedua tolok ukur ini merupakan nilai batas dari suatu fungsi obyektif yang akan dioptimalkan. Bila fungsi obyektif dengan set tolok ukur resiko tersebut dapat dicapai, berarti sistem dikategorikan memenuhi kriteria berkelanjutan. Sebaliknya, harus dipertimbangkan untuk mengubah kebijakan yang diterapkan.

Bila eksperimen operasi sistem $C(t)$ merupakan fungsi dari masukan (inflow), $x(t)$, keadaan awal/storage, $s(0)$, dan waktu (t), maka:

$$C(t) = \{x(t), s(0), t\} \quad (2.48)$$

a) Indeks Keandalan (*Reliability*)

Duckstein dan Plate (1987) mendefinisikan keandalan sebagai suatu estimasi frekuensi $C(t)$ berada pada kondisi mode μ atau $>\mu$ selama eksperimen, $C(t)$. Mode μ adalah suatu kejadian atau kegagalan yang harus ditakrifkan secara tegas (contoh: mode μ terjadi jika indeks pelayanan ≤ 0.8 dan kecepatan tanggap ≥ 1). Bila $\delta(\mu, j)$ adalah fungsi indikator, maka:

$$\delta(\mu, j) = \begin{cases} 1 & \text{jika } C(t) \text{ dalam mode } \mu \text{ pada waktu } j \\ 0 & \text{jika } C(t) \text{ tidak dalam mode } \mu \text{ pada waktu } j \end{cases} \quad (2.49)$$

indeks kinerja untuk mengukur keandalan yang berkaitan dengan μ adalah:

$$PI[C(t), \mu] = \frac{t - \sum_{j=0}^t \delta(\mu, j)}{t + 1} \quad (2.50)$$

Mamok Soeprapto (2008) menjelaskan bahwa keandalan berguna untuk mendeskripsikan suatu sistem gagal atau melanggar batasan kinerja (*performance freehold*). Dalam hal ini seberapa sering gas untuk air berada di hawah standar kinerja. Jika C_t adalah deret waktu dari nilai suatu simulasi, maka keandalan adalah probabilitas nilai C_t (berada dalam kisaran nilai yang memuaskan (*satisfactory value*)). Semakin besar nilai indeks, sistem semakin dapat diandalkan.

b) Indeks Kelentingan (*Resilience*)

Duckstein dan Plate (1987) mendefinisikan kelentingan (*resiliency*) adalah waktu rerata suatu sistem berada di mode μ selama experiment $C(t)$ dengan $d(\mu, n)$ adalah durasi kejadian ke- n dari mode μ ($n = 1, 2, \dots, N$).

$$PI[C(t), \mu] = \frac{\sum_{j=0}^t \delta(\mu, j)}{t + 1} = \frac{\sum_{n=1}^N d(\mu, n)}{N} \quad (2.51)$$

Kelentingan digunakan untuk mengukur rerata waktu kembalinya suatu kejadian dari peristiwa mode μ selama waktu pengamatan. Kelentingan adalah indeks kinerja dengan kisaran nilai dari 0 (nol) hingga 1 (satu). Semakin besar

nilai indeks menunjukkan bahwa sistem semakin cepat kembali ke keadaan normal atau tinggal dalam kejadian mode μ hanya dalam waktu yang singkat.

Mamok Soeprpto (2008) menjelaskan kelentingan sebagai ukuran untuk menjelaskan seberapa cepat aras muka/sistem kembali ke keadaan yang memuaskan dari keadaan di bawah batasan kinerja. Jika C_t adalah deret waktu dari nilai suatu simulasi, maka kelentingan adalah indikator kecepatan kembali dari kondisi yang tidak memuaskan. Maka kelentingan adalah probabilitas keadaan yang memuaskan, C_{t+1} , mengikuti nilai yang tidak memuaskan, C_t .

Aplikasi dari penjabaran Persamaan kedua indeks tersebut adalah sebagai berikut:

$$I_a = \frac{F_a}{N_k} \tag{2.52}$$

$$I_k = \frac{J_k}{N_k - F_a} \tag{2.53}$$

dengan:

- I_a = indeks keandalan
- I_k = indeks kelentingan,
- F_a = jumlah kejadian yang dapat diandalkan,
- J_k = jumlah kelompok kejadian yang tidak dapat diandalkan,
- N_k = total kejadian, dalam hal ini mewakili periode waktu.

Persamaan 2.51 dan Persamaan 2.52 diatas memiliki peubah yang sama yaitu F_a dan N_k , sehingga:

$$F_a = I_a \cdot N_k \tag{2.54}$$

$$I_k = \frac{J_k}{N_k - F_a} = \frac{J_k}{N_k - I_a \cdot N_k} = \frac{J_k}{N_k(1 - I_a)} \tag{2.55}$$

$$I_k = \frac{J_k}{(N_k(1 - I_a))} \tag{2.56}$$

Persamaan tersebut menunjukkan hubungan yang erat dan saling terkait antara I_a dan I_k , akan tetapi belum tentu akan menghasilkan hasil yang selaras/sebanding.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Kabupaten Boyolali sebagai salah satu dari 35 Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Tengah, terletak antara 110°22' – 110°50' Bujur Timur dan 7°36' – 7°50' Lintang Selatan dengan ketinggian antara 75 s/d 1.500 meter dari permukaan laut. Daerah Irigasi Nepen terletak di wilayah administrasi Kecamatan Teras, Kecamatan Sawit dan Kecamatan Banyudono Kabupaten Boyolali. Pengelolaan DI Nepen berada dibawah Dinas Pekerjaan Umum, Perhubungan, Pertambangan dan Kebersihan Sub Dinas Pengairan Kabupaten Boyolali, Propinsi Jawa Tengah. DI Nepen memiliki daerah oncoan seluas 409,60 Ha yang tersebar di 3 (tiga) di kecamatan Teras, Sawit dan Banyudono yang mendapatkan air dari intake bendung Nepen di Kali Gandul. DI Nepen merupakan daerah irigasi teknis dengan pemberian air sistem giliran. Lokasi Penelitian ditunjukkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3-1. Foto Satelit Daerah Irigasi Nepen

commit to user

3.2 Metode Penelitian

3.2.1 Pengumpulan dan Ketersediaan Data

Data yang dibutuhkan dalam kajian ini berupa data sekunder yang diperoleh dari instansi yang terkait. Data tersebut meliputi:

a. Data Curah Hujan dan Klimatologi

Data Hujan dan Klimatologi diperoleh dari Lanud Adi Soemarmo di Surakarta dari tahun 1999 sampai dengan tahun 2005. Data Klimatologi meliputi temperatur maksimum, temperatur minimum, kelembaban udara, kecepatan angin dan penyinaran matahari.

b. Data Pola Tanam dan Luas Tanam

Pola tanam yang ditetapkan oleh Bupati Boyolali pada DI Nepen adalah Padi/Palawija-Padi/Palawija-Padi/Palawija. Luas Tanam pada tiap masa tanam berbeda-beda. Data tersebut didapatkan dari Sub Dinas Pengairan DPUPK Kabupaten Boyolali.

c. Data Pemberian Air di Dike

Data tersebut didapatkan dari Sub Dinas Pengairan DPUPK Kabupaten Boyolali.

3.2.2 Teknik Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam kajian ini berupa data sekunder yang diperoleh dari instansi yang terkait yaitu Lanud Adi Soemarmo di Surakarta dan Sub Dinas Pengairan DPUPK Kabupaten Boyolali.

3.3 Uji Data

Data hujan yang didapatkan perlu diuji kepenggunaan (*consistency*) dengan metode *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS). Bila Q/\sqrt{n} yang didapat lebih kecil dari nilai kritik untuk tahun dan *confidence level* yang sesuai, maka data

commit to user

dinyatakan pangkah. Uji kepenggahan menggunakan Persamaan 2.1 sampai dengan Persamaan 2.6 dan Tabel 2.1.

3.4 Persiapan Analisis

Sebelum melakukan analisis, ditetapkan periode waktu pengamatannya. Semua data yang akan digunakan dalam analisis disesuaikan periode waktunya. Analisis kebutuhan air tanaman dengan tiga musim tanam berdasarkan data hujan dan klimatologi stasiun Bandara Adi Soemarmo, Surakarta tahun 1999-2004.

3.2.1. Data Curah Hujan dan Klimatologi

Data Hujan dan Klimatologi hasil pengamatan stasiun klimatologi digunakan sebagai masukan utama pada analisis kebutuhan air tanaman dan analisis ketersediaan air dengan transformasi hujan menjadi debit. Hasil yang didapat dari analisis data Klimatologi adalah besaran evapotranspirasi tanaman.

3.2.2. Data Pola Tanam dan Luas Tanam

Data Pola tanam dan Luas Tanam yang ditetapkan digunakan sebagai dasar analisis besaran kebutuhan air tanaman dan DI Nepen.

3.5 Analisis Data

Data yang telah didapatkan diolah dalam bentuk perhitungan matematis yang selanjutnya digunakan untuk mengetahui besarnya indeks yang resiko yang ada. Analisis data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

3.5.1 Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi

Perhitungan kebutuhan air tanaman (*Crop Water Requirement*) berdasarkan data klimatologi, data hujan, dan pola tanam. Prosedur perhitungannya adalah dengan menghitung evapotranspirasi, evapotranspirasi potensial dan perhitungan kebutuhan air irigasi di petak sawah dan sumbernya. Perhitungan evapotranspirasi berdasarkan data klimatologi, kemudian dilakukan analisis menggunakan metode Penman-Monteith mengikuti Persamaan 2.7 sampai dengan 2.33. Evapotranspirasi potensial dihitung berdasarkan pola tanam, data curah hujan dan pemberian air irigasi mengikuti Persamaan 2.34 sampai dengan

2.45. Kebutuhan air irigasi di petak sawah dan sumbernya berdasarkan cara pemberian air dan kondisi jaringan irigasi yang ada. Untuk mendapatkan besarnya debit pada intake yang dibutuhkan untuk irigasi, maka hasil perhitungan kc dan ETc , dikalikan dengan luas daerah irigasi dan dibagi dengan koefisien efisiensi yang telah ditetapkan. Dari hasil perhitungan tersebut, selanjutnya dipilih waktu tanam yang menghasilkan kebutuhan air irigasi.

3.5.2 Perhitungan Kinerja Daerah Irigasi

1. Perhitungan Residu Debit

Perhitungan dilakukan dengan cara membandingkan antara besarnya kebutuhan air irigasi dengan pemberian air di intake pada periode waktu tinjauan. Bila pemberian air di intake dikurangi kebutuhan air menghasilkan nilai positif maka dinyatakan surplus dan sebaliknya. Probabilitas surplus air diperoleh dengan membagi jumlah total kejadian surplus dibagi dengan total kejadian selama waktu tinjauan. Waktu tinjauan yang digunakan adalah 1 Oktober sampai akhir 30 September.

2. Perhitungan Faktor k

Perhitungan dilakukan dengan cara membandingkan antara besarnya kebutuhan air dengan ketersediaan air yang ada disungai pada periode waktu tinjauan. Ditetapkan nilai faktor k minimal 80%, sehingga akan diketahui besarnya keandalan dari DI tersebut. Jika faktor $k < 80\%$ maka dikatakan tidak andal dan sebaliknya.

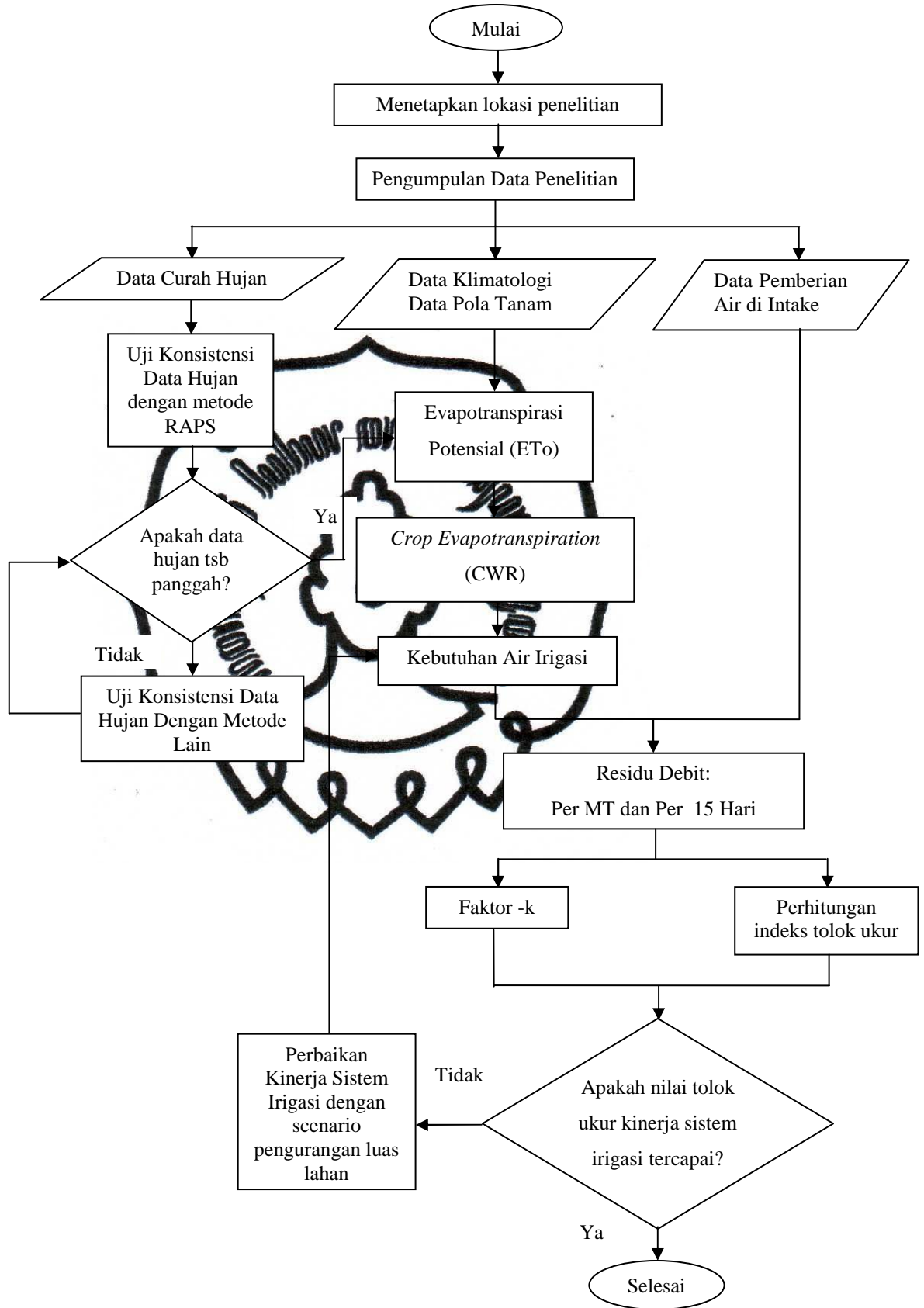
3. Perhitungan Indeks Resiko

Tolok ukur yang digunakan sebagai indeks resiko adalah indeks keandalan (*reliability*) dan indeks kelentingan (*resilience*). Perhitungan tolok ukur resiko menggunakan Persamaan 2.48 sampai dengan Persamaan 2.56. Indeks tolok ukur resiko dihitung untuk setiap pola tanam yang telah ditetapkan. Selanjutnya setiap satu periode waktu operasi dilakukan evaluasi untuk mengetahui dua tolok ukur tersebut.

Kebutuhan air irigasi harus selaras dengan debit air pada saluran. Jika nilai kedua indeks sesuai dengan nilai yang ditetapkan berarti pola operasi irigasi yang diterapkan sudah baik. Jika belum, dilakukan perubahan operasi layanan dan kedua tolok ukur dihitung kembali dengan membuat skenario. Skenario pola tanam selanjutnya dipilih yaitu yang memberikan nilai probabilitas tertinggi.

Tahapan seluruh analisis penelitian disajikan dalam bentuk bagan alir dalam Gambar 3.2.





Gambar 3.2. Bagan Alir Tahap-Tahap Penelitian

BAB 4

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Kepenggahan Data Hujan

Uji kepenggahan data hujan dilakukan pada stasiun hujan di Stasiun Adi Soemarmo. Data hujan tahunan Stasiun Adi Soemarmo dapat dilihat pada Tabel 4.1. Pengujian dilakukan menggunakan metode *Rescaled adjusted Partial Sums* (RAPS).

Tabel 4.1. Hujan Tahunan Stasiun Adi Soemarmo.

Tahun	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Jan	438.5	407.56	369.5	277.2	322.	541.9	426.1	1067.4	78.9	221
Feb	465.3	301.5	247.2	184.5	399.5	239.4	387.3	595.2	595.2	429.4
Mar	308.4	400.4	155.9	20	206	309	631.3	407.4	305.4	470.8
Apr	177.9	246.3	220.7	220.3	87.3	114	576.2	464	451.7	168
Mei	130.6	85	221.4	51.5	98.6	6.2	8	462	67	42.6
Jun	15.4	29.3	76.4	41.5	40.4	11	149	277	22.1	0
Jul	26.2	20.5	42.8	9	0	3.2	292	0	0	0
Agst	5.9	7.6	1.4	1	2.4	0	0	0	0	0
Sep	19.8	71.5	24.8	0	8.9	8.4	235.1	0	25	0
Okt	229.5	114.2	216.3	20.6	112.5	78.8	235	0	113.7	381.7
Nop	187	210.1	193.2	170.6	140	560.4	481.3	116.2	319.2	298
Des	458	96	152.3	345.3	231.1	418	1024.6	273.9	568.7	303.1
Total Hujan (mm/thn)	2462.5	1990	2362.9	1893.4	1702.3	2391.2	4521.9	3663.1	2546.9	2314.6

Sumber: Lanud Adi Soemarmo, Surakarta (2009)

Berdasarkan analisis dari data pada Tabel 4.1, didapatkan besaran parameter sebagai berikut:

Nilai Rerata (Mean) : 2585

Standar Deviasi : 862,9

Jumlah Data : 10

commit to user

Berikut adalah hasil uji kepenggahan dengan menggunakan cara RAPS sesuai dengan uraian yang ada pada Sub Bab Landasan Teori. Tabel 4.2 menjelaskan cara untuk mendapatkan nilai $QRAPS/\sqrt{n}$. Nilai $QRAPS/\sqrt{n}$ tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Analisis Uji RAPS Stasiun Adi Soemarmo

Thn	I	i-Rerata	$S_k^{*} =$	$S_k^{**} =$	Abs(S_k^{**})	QRAPShit	QRAPS hit/ \sqrt{n}
			Kum (3)	(3)/SD	Absolut (5)	Maks(6)	
<i>1</i>	<i>2</i>					<i>7</i>	<i>8</i>
1999	2462.5	-122.376	22.376	-0.142	0.142	2.245	0.71
2000	1989.96	-594.916	-717.292	-0.689	0.689		
2001	2362.9	-227.656	-939.868	-0.257	0.257		
2002	1897.4	-691.496	-1669.744	-0.601	0.601		
2003	1702.3	-882.376	-2552.32	-0.223	0.223		
2004	2391.2	-193.696	-2706.996	-0.224	0.224		
2005	4521.9	1937.024	759.972	2.245	2.245		
2006	3663.1	1078.24	308.252	1.241	1.241		
2007	2546.9	-37.976	270.276	-0.044	0.044		
2008	2314.6	-270.276	-270.276	-0.313	0.313		
			12				

Dari nilai yang didapatkan dalam Tabel 4.2, tampak bahwa nilai QRAPS hit (maks) Stasiun Adi Soemarmo pada tahun 2005. Dengan Persamaan 2.4 dan Persamaan 2.5, maka dapat diperoleh besaran $QRAPShit / \sqrt{(n)}$ Stasiun Adi Soemarmo = 0.71. Kemudian nilai ini dibandingkan dengan nilai kritik yang terdapat pada Tabel 2.1. Sesuai dengan jumlah data $n=10$ dan *Confidence Interval* 90%. Ternyata nilai $QRAPShit / \sqrt{(n)} <$ dari pada nilai QRAPS kritik. Hasil ini menunjukkan bahwa data hujan stasiun Adi Soemarmo yang akan digunakan dalam analisis adalah panggah.

4.2 Analisis Kebutuhan Air Irigasi

Analisis kebutuhan air tanaman dipengaruhi oleh faktor cuaca harian, jenis tanaman, tahapan tumbuh tanaman dan sistem pemberian air. Perhitungan kebutuhan air irigasi di intake ada 3 tahapan yaitu perhitungan evapotranspirasi potensial (ET_o), perhitungan evapotranspirasi tanaman (ET_c) dan perhitungan kebutuhan air tanaman di lahan.

4.2.1 Perhitungan Evapotranspirasi Potensial (ET_o)

Evapotranspirasi potensial dihitung berdasarkan teori Penman-Monteith. Data cuaca/iklim yang didapat berupa data harian, maka perhitungan ET_o dalam kajian ini menggunakan satuan waktu harian. Besaran ET_o dihitung berdasarkan data cuaca yang tercatat pada stasiun klimatologi Adi Soemarmo Surakarta. Adapun contoh perhitungan Evapotranspirasi Potensial dengan periode harian adalah sebagai berikut:

- 1) Perhitungan evapotranspirasi tanaman dimulai pada tanggal 1 Oktober 2003.
- 2) Paramater yang digunakan dalam perhitungan Evapotranspirasi Potensial adalah sebagai berikut: (Data Klimatologi Lahan Adi Soemarmo di Surakarta, 2009)

Actual hours of sunshine, n	=	8 hours
Height, z	=	10 m
altitude (above the sea), ez	=	104 m
Latitute	=	07° 52' 000" LS
	=	7,866666667
Temperatur udara max, T_{max}	=	32,4 °C
Temperatur udara min, T_{min}	=	23,8 °C
Kelembaban udara max, RH_{max}	=	73 %
Kelembaban udara min, RH_{min}	=	73 %
Kecepatan Angin pada ketinggian 10 m, u_z	=	4 m/s
Lama penyinaran matahari actual, n	=	100 %
	=	8 jam

- 3) Menghitung parameter-parameter lain yang diperlukan

- a) Kecepatan angin pada ketinggian 2 m.

$$u_z = 4 \text{ m/s (data), berdasarkan Persamaan 2.28 didapat } u_2 = 0,748 * 4$$

$$= 2,992 \text{ m/s.}$$

commit to user

b) *Atmospheric Psychrometric (P)*

altitude (elevasi diatas laut), $ez = 104$ m (data), berdasarkan Persamaan

$$2.27 \text{ didapat } P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065 * 104}{293} \right)^{5,26} = 100,077 \text{ kPa.}$$

c) Kemiringan lengkung tekanan uap air jenuh (Δ)

Temperatur udara max, $T_{max} = 32,4$ m (data), dan Temperatur udara max, $T_{min} = 23,8$ m (data). Berdasarkan Persamaan 2.8 didapat

$$\Delta_p = \frac{4098 \left[0,6108 \cdot \exp \left(\frac{17,27 T_{mean}}{T_{mean} + 237,3} \right) \right]}{(T_{mean} + 237,3)^2}$$

dengan $T_{mean} = \frac{(T_{max} + T_{min})}{2} = \frac{(32,4 + 23,8)}{2} = 28,1^\circ\text{C}$ maka

$$\Delta_p = \frac{4098 \left[0,6108 \cdot \exp \left(\frac{17,27 * 28,1}{28,1 + 237,3} \right) \right]}{(28,1 + 237,3)^2} = 0,11 \text{ kPa}/^\circ\text{C.}$$

d) Konstanta *Psychrometric* (γ)

Berdasarkan Persamaan 2.26, $\gamma = 0,665 \times 10^{-5} \times 100,077 = 0,067 \text{ kPa}/^\circ\text{C.}$

e) Tekanan uap jenuh (e_s)

$T_{max} = 32,4^\circ\text{C}$ (data). Berdasarkan Persamaan 2.32 didapat

$$e^0(T_{max}) = 0,6108 \exp \left[\frac{17,27 * 32,4}{32,4 + 237,3} \right] = 0,382 \text{ kPa.}$$

$T_{min} = 23,8^\circ\text{C}$ (data). Berdasarkan Persamaan 2.31 didapat

$$e^0(T_{min}) = 0,6108 \exp \left[\frac{17,27 * 23,8}{23,8 + 237,3} \right] = 2,448 \text{ kPa}$$

Maka dengan Persamaan 2.29 didapat $e_s = \frac{2,448 + 3,832}{2} = 3,140 \text{ kPa.}$

f) Tekanan uap nyata (e_a)

$RH_{min} = 73$ % (data) dan $RH_{max} = 73$ % (data). Berdasarkan

Persamaan 2.32 didapat $e_a = \frac{2,448 * \frac{73}{100} + 3,832 * \frac{73}{100}}{2} = 2,29211 \text{ kPa.}$

g) Tekanan uap defisit ($e_s - e_a$)

$$\begin{aligned}\text{Tekanan uap defisit} &= (e_s - e_a) \\ &= 3,140 - 2,29211 \\ &= 0,848 \text{ kPa}\end{aligned}$$

h) Radiasi exstraterrestrial untuk periode harian (R_a)

$$\begin{aligned}D &= 1 \text{ (data),} \\ M &= 10 \text{ (data),} \\ J &= 274 \text{ (data),} \\ \text{Latitute} &= 07^{\circ}52'000'' \text{ LS (data)} \\ &= 7,866666667^{\circ} \text{ N.}\end{aligned}$$

Berdasarkan Persamaan 2.14 didapat $R_a = 38,387 \text{ MJ/m}^2/\text{hari}$.

i) Kemungkinan maksimum penyinaran matahari (N)

Berdasarkan Persamaan 2.14 didapat $N = 12,193 \text{ jam}$.

j) Radiasi sinar matahari (R_s)

Berdasarkan Persamaan 2.13 dengan nilai $a_s = 0,25$ dan $b_s = 0,50$ didapat

$$R_s = \left(0,25 + 0,50 \times \frac{8}{12,193} \right) \times 38,387 = 21,371 \text{ MJ/m}^2/\text{hari}.$$

k) Radiasi matahari pada keadaan cuaca cerah (R_{so})

$$\begin{aligned}\text{Berdasarkan Persamaan 2.20 didapat } R_{so} &= (0,75 + 2 \times 10^{-5} \times 10) \times 38,387 \\ &= 28,869 \text{ MJ/m}^2/\text{hari}.\end{aligned}$$

l) Radiasi sinar matahari netto (R_{ns})

Berdasarkan Persamaan 2.10 dengan nilai α (Albedo) = 0,23 didapat

$$R_{ns} = (1 - 0,23) \times 21,371 = 16,456 \text{ MJ/m}^2/\text{hari}.$$

m) Radiasi gelombang panjang (R_{nl})

$T_{max} = 32,4^{\circ}\text{C}$ (data), Berdasarkan Persamaan 2.24 didapat

$$T_{max, K} = 32,4 + 273,16 = 305,56 \text{ K. Maka } \sigma T_{max, K} = 42,739 \text{ MJ/m}^2/\text{hari}.$$

$T_{min} = 23,8^{\circ}\text{C}$ (data), Berdasarkan Persamaan 2.24 didapat

$$T_{min, K} = 23,8 + 273,16 = 296,96 \text{ K. Maka } \sigma T_{min, K} = 38,176 \text{ MJ/m}^2/\text{hari}.$$

Berdasarkan Persamaan 2.22 didapat

$$R_{nl} = 4,903 \times 10^{-9} \left[\frac{T_{maz, K}^4 + T_{min, K}^4}{2} \right] \left(0,34 - 0,14 \sqrt{e_a} \right) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right)$$

$$R_{nl} = 3,364 \text{ MJ/m}^2/\text{hari.}$$

n) Radiasi netto (R_n)

Berdasarkan Persamaan 2.9 didapat $R_n = 16,456 - 3,364 = 13,092$ MJ/m²/hari.

o) Soil heat flux (G)

Karena perhitungan dengan periode harian maka nilai soil heat flux $G \sim 0$.

4) Menghitung Evapotranspirasi potensial

Berdasarkan Persamaan 2.7 didapat $ET_0 = 4,560$ mm/hari

Hasil perhitungan E_p yang berdasarkan Penman Monteith disajikan dalam Tabel 4.3 dan 4.4. Adapun Perhitungan E_p digambarkan pada Gambar 4.1. Perhitungan lengkap disajikan dalam Lampiran A.

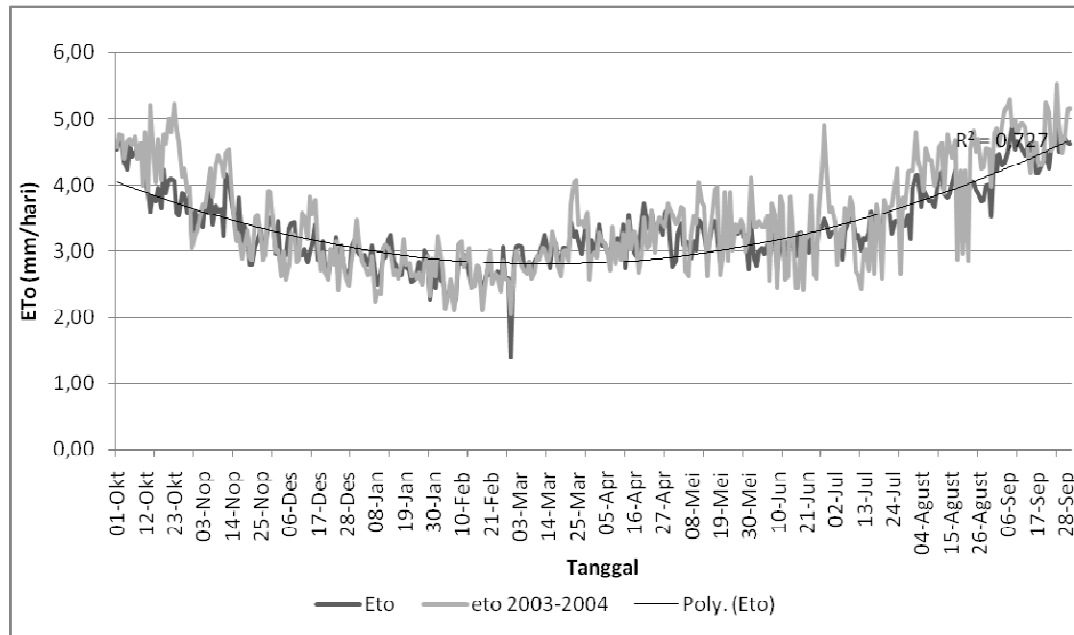


Tabel 4.3. Nilai ETo untuk Daerah Irigasi Nepen Periode Evaluasi 1 tahun terakhir

Thn	2003			2004								
	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep
1	4.56	3.32	2.99	3.47	3.23	2.73	2.98	3.57	3.37	3.67	4.21	4.78
2	4.76	3.55	3.01	3.12	2.93	3.00	2.91	3.41	3.36	3.44	4.81	4.86
3	4.76	3.71	2.61	2.82	2.65	2.92	3.28	3.43	3.46	2.78	4.37	4.58
4	4.40	3.68	2.99	2.78	2.11	2.76	3.14	3.66	3.36	3.32	4.17	4.91
5	4.67	3.99	2.57	2.64	2.32	2.70	3.11	3.63	3.36	3.06	3.91	5.12
6	4.70	4.25	2.78	2.66	2.56	2.65	2.95	2.68	3.53	3.65	4.55	5.19
7	4.60	3.82	3.27	2.93	2.09	2.84	2.71	2.61	2.56	3.46	4.39	5.29
8	4.74	4.32	3.24	2.23	2.31	2.87	3.24	3.72	3.80	4.38	4.90	
9	4.39	4.45	2.82	2.38	2.10	2.69	2.80	3.54	3.55	3.69	3.99	4.97
10	4.63	4.33	2.88	2.35	3.15	2.93	3.10	3.24	2.43	2.68	4.13	4.78
11	3.99	4.11	3.59	2.03	2.75	2.88	2.87	4.05	3.82	2.54	4.57	4.93
12	4.80	4.49	3.51	3.09	2.85	3.04	3.26	3.74	3.41	2.41	4.63	4.92
13	3.89	4.51	3.17	2.03	3.04	3.03	2.91	3.68	2.57	2.27	3.88	4.88
14	5.21	4.02	3.83	2.06	2.43	2.84	2.45	2.62	2.63	3.02	4.77	4.45
15	4.67	3.41	3.55	2.64	2.45	2.94	3.03	3.24	3.83	2.70	4.57	4.17
16	4.05	3.14	2.77	2.70	2.78	3.30	3.30	3.48	3.42	3.53	4.42	4.60
17	4.70	3.24	3.15	2.59	2.75	3.08	3.15	3.22	2.42	2.65	4.68	4.64
18	4.08	2.89	2.70	2.80	2.09	2.77	2.66	3.08	2.44	3.70	2.88	4.35
19	4.78	3.07	2.98	3.18	2.59	2.82	2.92	2.64	3.26	3.47	4.21	4.30
20	4.62	3.31	2.66	2.79	2.81	2.99	3.49	2.90	2.40	2.58	2.96	4.37
21	5.02	2.91	2.56	2.83	3.01	3.02	3.04	3.90	3.22	3.77	4.21	5.24
22	4.81	2.86	3.03	2.62	2.51	2.84	3.07	2.85	3.23	3.61	2.84	5.11
23	5.23	3.51	2.80	2.66	2.65	3.71	3.61	3.89	3.84	3.67	4.55	4.52
24	4.85	3.55	3.15	2.58	2.63	4.04	2.97	3.00	2.63	3.68	4.82	4.63
25	4.66	3.23	2.39	2.66	2.39	4.08	3.38	3.39	2.58	4.00	4.50	5.53
26	4.13	2.85	3.04	2.48	2.85	3.40	3.49	3.29	3.64	4.25	4.70	4.94
27	4.25	2.94	2.80	2.80	2.58	3.44	3.41	3.47	4.21	2.66	4.25	4.49
28	3.89	3.91	2.61	2.93	2.55	3.36	3.36	3.39	4.91	3.80	4.26	4.67
29	3.97	3.89	2.47	2.32	2.04	3.59	3.71	3.00	4.03	3.65	4.55	5.15
30	3.04	3.28	2.81	2.89		2.57	3.64	3.26	3.60	4.19	4.53	5.16
31	3.24		3.13	2.63		2.93		4.11		4.22	3.97	

Tabel 4.4. Nilai Rerata ETo untuk Daerah Irigasi Nepen

Thn	2003			2004								
	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep
1	4.53	3.43	2.95	3.00	2.87	2.87	3.01	2.75	2.89	3.28	3.95	4.45
2	4.70	3.43	3.45	2.95	2.56	3.05	3.10	2.84	2.78	3.30	4.14	4.21
3	4.59	3.37	2.64	2.91	2.56	3.07	3.40	3.26	2.99	3.21	4.13	4.46
4	4.34	3.72	2.94	2.94	2.30	3.05	3.08	3.41	3.04	3.19	3.67	4.30
5	4.22	3.56	2.94	2.79	2.31	2.79	3.12	3.09	2.96	2.87	3.92	4.32
6	4.62	3.89	3.34	2.86	2.52	2.69	2.96	3.14	3.10	3.29	3.86	4.48
7	4.43	3.40	3.41	3.07	2.86	2.84	2.91	3.11	2.91	3.43	3.75	4.70
8	4.49	3.68	3.44	2.67	2.29	2.64	3.17	2.89	3.26	3.43	3.77	4.87
9	4.40	3.60	2.98	2.49	2.87	2.81	3.14	3.13	3.13	3.49	3.67	4.53
10	4.52	3.63	2.96	2.77	2.80	2.90	3.19	3.19	2.68	3.19	3.89	4.67
11	4.33	3.24	2.94	2.89	2.94	2.94	3.06	3.44	3.18	3.25	4.13	4.59
12	4.09	4.11	3.02	2.90	2.93	3.10	3.40	3.40	3.20	3.30	4.18	4.51
13	3.87	4.03	2.82	3.17	2.77	3.24	2.77	3.24	3.33	3.17	3.85	4.45
14	3.58	3.77	2.97	3.24	2.45	2.96	3.05	2.94	3.14	3.17	3.80	4.61
15	3.82	3.49	3.09	2.74	2.52	2.77	3.26	3.15	3.07	3.27	3.87	4.51
16	3.76	3.31	3.39	2.77	2.71	3.06	2.97	3.35	3.09	3.59	4.02	4.66
17	3.95	3.81	2.87	2.66	2.69	3.10	2.92	3.44	3.07	3.38	4.21	4.17
18	3.65	3.07	2.82	2.64	2.36	2.89	3.06	3.27	3.27	3.40	3.86	4.18
19	4.22	3.38	3.15	3.22	2.51	2.86	3.47	2.77	3.28	3.33	3.94	4.28
20	3.87	3.23	2.77	2.76	2.74	3.04	3.71	3.13	2.83	3.22	3.69	4.36
21	4.07	2.79	2.64	2.70	2.64	3.04	3.41	3.45	3.17	3.69	3.83	4.49
22	4.08	2.80	2.87	2.53	2.63	3.00	3.33	3.37	2.98	3.63	3.77	4.25
23	4.06	3.07	2.89	2.56	2.62	3.44	3.58	3.52	3.25	3.55	4.05	4.55
24	3.56	3.14	3.21	2.67	2.69	3.21	3.24	3.34	2.95	3.27	4.04	4.63
25	3.54	3.31	2.58	2.84	2.49	3.29	3.39	3.37	2.92	3.45	3.93	4.86
26	3.87	2.99	3.07	2.50	3.06	3.14	3.41	3.27	3.36	3.45	3.87	4.49
27	3.86	3.06	2.80	3.00	2.59	2.96	3.25	3.42	3.36	3.38	3.76	4.53
28	3.57	3.44	2.66	2.90	2.59	3.21	3.58	3.22	3.47	3.47	3.77	4.74
29	3.84	3.50	2.56	2.26	1.38	3.52	3.63	3.24	3.35	3.38	3.98	4.64
30	3.12	3.35	3.05	2.61		2.88	3.14	2.72	3.20	3.55	4.00	4.62
31	3.60		3.15	2.43		3.16		3.45		3.17	3.52	



Gambar 4.1. Perbandingan ETo Di Nopen Periode 1 tahun terakhir dengan Rerata ETo Di Nopen

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa Rerata ETo masih mewakili ETo pada periode 1 tahun terakhir dengan $R^2 = 0,727$. Gambar 4.1 juga menggambarkan ETo selama musim kemarau cenderung lebih besar dibandingkan selama musim penghujan. Dari hasil analisis terlihat bahwa grafik ETo yang naik menggambarkan bahwa kebutuhan air irigasi juga akan naik. Hal ini memungkinkan bahwa pada musim kemarau, akan terjadi defisit air. Keadaan ini dapat diatasi dengan operasi yang baik untuk keberlanjutan fungsi bangunan, hasil pertanian dan sumbernya.

4.2.2 Perhitungan Evapotranspirasi Tanaman (ETc) dan Kebutuhan Air Tanaman di Intake (Q)

Perhitungan Evapotranspirasi tanaman (ETc) disusun dengan tetapan sebagai berikut:

1. Pola tata tanam adalah pola tanam campuran (padi/palawija-padi/palawija-padi/palawija).
2. Jenis padi yang ditanam berupa padi dengan umur 120 hari dan jenis palawija yang ditanam berupa jagung dengan umur 115 hari. Umur tanaman sesuai dengan SK Bupati. Tahapan tumbuh padi dan jagung ditunjukkan pada Tabel 2.3.

3. MT-1 dimulai 1 Oktober.
4. Waktu antar Golongan adalah 15 hari.
5. Hujan yang dipakai dalam analisis ETC adalah hujan yang tercatat dari stasiun Adi Soemarmo.
6. Daerah irigasi dibagi menjadi 2 golongan dengan luas golongan 1 sebesar 374 ha dan golongan 2 sebesar 36 ha.
7. Pemberian air antar golongan selisih 15 hari, dengan genangan setinggi 40 mm untuk padi dan nol mm untuk palawija.
8. Air genangan selama pengolahan lahan setinggi 12,5 mm/hari/ha selama 15 hari.
9. Rancangan pola tanam dalam jadwal irigasi ditunjukkan seperti Tabel 4.5

Tabel 4.4. Pola Tanam Periode 1 tahun terakhir

Okt				Nov				Des				Jan				Feb				Mar			
1	8	15	23	1	8	15	23	1	8	15	23	1	8	15	23	1	8	15	23	1	8	15	23
Padi/Palawija MT - 1												OT				Padi/Palawija MT - 2							
Golongan - 1												Golongan - 1				Golongan - 1							
Golongan - 2												Golongan - 2				Golongan - 2							

Tabel 4.5. Pola Tanam (anjuran)

Apr				Mei				Jun				Jul				Agt				Sep			
1	8	15	23	1	8	15	23	1	8	15	23	1	8	15	23	1	8	15	23	1	8	15	23
Padi/Palawija MT - 2								P				Padi/Palawija MT - 3											
Golongan - 1								Golongan - 1				Golongan - 1											
Golongan - 2								Golongan - 2				Golongan - 2											

Berdasarkan nilai ETo dan pola tanam tersebut, maka ETC untuk masing-masing tanaman dapat dihitung. Prosedur analisis untuk mendapatkan Evapotranspirasi Tanaman terdiri dari:

1. Mengidentifikasi panjang dari tahapan masa tumbuh tanaman dan memilih koefisien K_{cb} yang sesuai
2. Menyesuaikan koefisien K_{cb} yang dipilih sesuai dengan kondisi iklim selama tahapan masa tumbuh
3. Membuat kurva koefisien tanaman dasar (*basal crop*)
4. Menentukan nilai K_e harian untuk evaporasi permukaan

5. Menghitung ETc sebagai hasil perhitungan dari ETo dan (K_{cb} dan K_e)

Contoh perhitungan Evapotranspirasi Tanaman periode harian untuk Padi dengan tanggal mulai tanam 1 Oktober 2003 seperti berikut:

- Perhitungan evapotranspirasi tanaman dimulai pada tanggal 1 Oktober 2003.
- Paramater awal yang digunakan dalam perhitungan Evapotranspirasi Tanaman adalah sebagai berikut (Data Pola Tanam, 2003):

Jenis Tanaman	=	Padi
Mulai Tanam		
Bulan	=	10
Tanggal	=	16
Tahapan Masa Tumbuh		
L_{ini} (tahap awal pertumbuhan)	=	45 hari
L_{dev} (tahap pertumbuhan)	=	35 hari
L_{mid} (tahap pertengahan musim)	=	20 hari
L_{late} (tahap akhir musim)	=	
Koefisien tanaman dasar (basal) dari Tabel 2.4		
$K_{cb\ ini}$	=	1
$K_{cb\ mid}$	=	0,15
$K_{cb\ end}$	=	0,6
$Max\ ht$ (Tinggi maksimum tanaman)	=	1 m
Rerata Kecepatan Angin pada tahap pertengahan musim/ <i>Midseas. Av. Wind Speed</i> (u_2)	=	0 m/s
Rerata Kelembaban Udara Minimum pada tahap pertengahan musim/ <i>Midseas. Av. Rhmin</i> (RH_{min})	=	0 %

Setelah disesuaikan:

$K_{cb\ ini} = K_{cb\ ini}$ (Tabel 2.4) = 1. Berdasarkan Persamaan 2.36 didapatkan

$$K_{cb\ mid} = 0,15 + [0,04 \cdot (0 - 2) - 0,004 \cdot (0 - 45)] \cdot \left(\frac{1}{3}\right)^{0,3} = 1,22.$$

$K_{cb\ end} = K_{cb\ end}$ (Tabel 2.4) apabila nilai $K_{cb\ end} < 0,45$.

Karena $K_{cb\ end} > 0,45$ dengan Persamaan 2.36 didapat

$$K_{cb\ end} = 0,6 + [0,04 \cdot (0 - 2) - 0,004 \cdot (0 - 45)] \cdot \left(\frac{1}{3}\right)^{0,3} = 0,67.$$

- Paramater yang digunakan untuk menyesuaikan K_{cb} adalah sebagai berikut (Data Klimatologi, 2003):

Bulan (<i>Month</i>)	<i>commit to user</i>	=	10
------------------------	-----------------------	---	----

Tanggal (<i>Day</i>)	=	1
Tahun (<i>Year</i>)	=	1
<i>Number of The Day in The Year (J)</i>	=	274
Suhu Udara maximum (T_{max})	=	32,4 °C
Kecepatan Angin (Wind) @ 2m	=	4 m/s
Suhu Udara rerata (T_{dew})	=	28,1 °C
Evapotranspirasi Potensial (ETo)	=	4,6 mm/dt

Berdasarkan Persamaan 2.30 didapatkan

$$e^o(T_{dew}) = 0,6108 * \exp\left(\frac{17,27 * 28,1}{28,1 + 272,3}\right) = 3,072 \text{ kPa.}$$

$e^o(T_{max})$	=	3,83 kPa
RHmin	=	80 % (data)
P - RO	=	2,3 mm

P - RO didefinisikan sebagai hujan yang secara efektif digunakan tanaman setelah sebagian hilang karena limpasan permukaan (runoff). Hal ini biasa disebut *effective rainfall*. Adapun perhitungan hujan Efektif disajikan dalam Lampiran B

$$K_{cmin} = K_{cb \text{ ini}} = 1$$

Perhitungan tanggal dalam tahapan masa tumbuh

$$J_{plant} = J + (\text{tanggal mulai tanam} - \text{tanggal penanaman})$$

$$J_{plant} = 274 + (16 - 1)$$

$$J_{plant} = 289$$

$$J_{dev} = J_{plant} + L_{ini}$$

$$J_{dev} = 289 + 20$$

$$J_{dev} = 309$$

$$J_{mid} = J_{dev} + L_{mid}$$

$$J_{mid} = 309 + 45$$

$$J_{mid} = 354$$

$$J_{end} = J_{mid} + L_{end}$$

$$J_{end} = 354 + 35$$

$$J_{end} = 389$$

$$J_{harv} = J_{end} + L_{harv}$$

$$J_{harv} = 389 + 20$$

commit to user

$$J_{harv} = 409$$

Jika $J < J_{plani}$ maka $K_{cb} = K_{cb.ini}$ (yang disesuaikan) = 1.

$$\text{Maka tinggi tanaman / Height} = h = \frac{K_{cb}}{K_{cbmid}} \times \text{Max.ht} = \frac{1}{1,22} \times 1 = 0,82 \text{ m.}$$

Berdasarkan Persamaan 2.40 didapatkan Batas atas $K_{cmax} =$

$$K_{cmax} = \max \left\{ \left\{ 1,2 + [0,04(4 - 2) - 0,004(80 - 45)] \left(\frac{0,82}{3} \right)^{0,3} \right\}, \{1 + 0,05\} \right\} = 1,15.$$

- Koefisien evaporasi tanah (K_e)

Parameter yang digunakan:

- f_w (irrig.): 1 (Tabel 2.6)
- REW: 8 mm (Tabel 2.5)
- TEW: 17,5 mm (Tabel 2.5)
- initial $D_{e,i}$: 17,5 mm
- Initial f_w : 1

Tahap – tahap untuk mendapatkan nilai koefisien K_e sebagai berikut:

- a) Bagian tanah yang tertutup tanaman (f_c)

Berdasarkan Persamaan 2.42 didapatkan

$$f_c = \max \left\{ \left[\frac{1 - 1}{1,15 - 1} \right]^{(1+0,50 \cdot 0,01)}, 0,01 \right\} = 0,01$$

- b) Bagian tanah yang terbasahi oleh irigasi atau hujan

Jika $f_w > 0$ maka $f_w = f_w \text{ irr}$

Jika $f_w < 0$ dan $P-RO > 0$ maka $f_w = f_w \text{ initial}$

Nilai $f_w = 0$ (berdasarkan jadwal pemberian air irigasi)

$f_w = 0, f_w \text{ irr} = 1$, dan $P-RO = 2,3$ maka $f_w = f_w \text{ initial} = 1$.

- c) Bagian tanah yang paling banyak terjadi evaporasi

Berdasarkan Persamaan 2.41 didapatkan $f_{ew} = \min(1 - 0,01; 1) = 0,99$.

- d) Koefisien pengurangan evaporasi

$$D_{e,i \text{ start}} = 17,5 \text{ mm}$$

$$REW = 8 \text{ mm}$$

$$TEW = 17,5 \text{ mm}$$

untuk $D_{e,i-1} > REW$ dengan Persamaan 2.38 didapatkan

$$K_r = \frac{(17,5 - 17,5)}{(17,5 - 8)} = 0. \text{ commit to user}$$

Maka Koefisien evaporasi tanah berdasarkan Persamaan 2.37

$$K_e = \min\{\{0(1,15 - 1)\}, \{0,99 \cdot 1,15\}\} = 0.$$

- Menghitung jumlah penipisan (*depletion*) kandungan air pada lapisan tanah yang terevaporasi

Tahap – tahap untuk mendapatkan jumlah penipisan (*depletion*) sebagai berikut:

- a) Evaporasi (E_i)

Berdasarkan Persamaan 2.45, didapatkan $E_i = 4,6 \times 0 = 0$ mm.

- b) kedalaman perkolasi kumulatif ($DP_{e,i}$)

Berdasarkan Persamaan 2.44, didapatkan $DP_{e,i} = \max\{(2,3) + 0,0\} = 2,3$ mm.

- c) kedalaman evaporasi kumulatif ($D_{e,i}$)

Berdasarkan Persamaan 2.43, didapatkan

$$D_{e,i-1} = 17,5 - (2,3 \times 0 + \frac{0}{0,99} + 2,3) = 17,5 \text{ mm}$$

- Menghitung Evapotranspirasi Tanaman (ET_c)

Tahap – tahap untuk mendapatkan Evapotranspirasi Tanaman (ET_c) sebagai berikut :

- a) Koefisien K_c

Berdasarkan Persamaan 2.35, didapatkan $K_c = 1 + 0 = 1$.

- b) Evapotranspirasi Tanaman (ET_c)

Berdasarkan Persamaan 2.34, didapatkan $ET_c = 1 \times 4,6 = 4,6$ mm/day.

Dengan cara yang sama didapatkan Tabel 4.6. Analisis menggunakan software Ms. Excel untuk memudahkan perhitungan. Dengan nilai ET_c , maka Kebutuhan Air Irigasi di intake dapat diketahui. Kebutuhan Air Irigasi dipengaruhi oleh Luas Lahan yang ditanami dan Efisiensi Irigasi. Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi menggunakan Persamaan 2.45.

Tabel 4.6. Perhitungan Evapotranspirasi Tanaman Periode 1 tahun terakhir

Example Spreadsheet for Calculating $ET_c = (K_{cb} + K_e)ET_o$ and

For a New Crop, Change Values in the Boxes

Crop: **Rice**

Planting: Month **10**
Day **16**

L_{ini} **20** K_{cb} **1.00** K_{cmin} **1.00**
 L_{de} **45** $K_{cb\ mid}$ **1.15** $Max.Ht.:$ **1** m
 L_{md} **25** $K_{cb\ end}$ **0.60** 0.67
 L_{late} **20**

Midseason Wind Speed: 0.00 m/s
 Midseason RH_{min}: 0 %

"Double" Underlined Columns (below) are User-Entered
 "Single" Underlined Columns are Computed by the Spreadsheet

275

Wind ←-----used for adjusting K_{cb} ----->

Month	Day	Year	J	<u>T_{max}</u> C	<u>@ 2m</u> m/s	<u>T_{dew}</u> C	<u>ET_o</u> mm/d	<u>$e^o(T_{dew})$</u> kPa	<u>$e^o(T_{max})$</u> kPa	<u>RH_{min}</u> %	<u>P - RO</u> mm
10	1	1	274	32.4		28.1	4.8	3.072	3.83	80	2.3
10	2	1	275	32.6	5.0	28.0	4.8	3.057	3.87	79	2.3
10	3	1	276	33.4	5.0	27.7	4.8	3.009	4.03	75	2.3
10	4	1	277	32.2	4.0	27.3	4.4	2.947	3.79	78	2.3
10	5	1	278	32.0	6.0	28.4	4.7	3.121	3.76	83	2.3
10	6	1	279	34.2	3.5	29.3	4.7	3.270	4.20	78	2.3
10	7	1	280	34.0	4.0	27.5	4.6	2.978	4.15	72	2.3
10	8	1	281	34.0	4.0	28.5	4.7	3.137	4.15	76	2.3
10	9	1	282	33.4	3.0	28.2	4.4	3.089	4.03	77	2.3
10	10	1	283	32.8	3.5	28.3	4.6	3.105	3.91	79	2.3

Tabel 4.6. Perhitungan Evapotranspirasi Tanaman Periode 1 tahun terakhir (Lanjutan)

(All "nonboxed" values will be calculated automatically)

Computed Dates for Stages:

- JPlant 289
- JDev 309
- JMid 354
- JLate 389
- JHarv 409

fw (mm) 1
 REW: 8 mm
 TEW: 17.5 mm
 initial de: 17.5 mm
 Initial fw: 1

← Evaporation Calculation →

Kcb	Height m	Kc max	Net Irrig./fw (←--from irrig.sched., prev. day)				De,i				E mm/d	DPe mm/d	De,i end mm	Kc	ETc mm/d
			(beg. of day) mm	fc	fw	few	start mm	Kr	Ke						
1.00	0.82	1.15	0.0	0.01	1.00	0.99	17.5	1.00	0.00	0.00	2.30	17.50	1.00	4.56	
1.00	0.82	1.18	0.0	0.01	1.00	0.99	15.2	0.24	0.04	0.20	0.00	15.40	1.04	4.97	
1.00	0.82	1.19	0.0	0.01	1.00	0.99	13.1	0.46	0.09	0.41	0.00	13.51	1.09	5.18	
1.00	0.82	1.15	0.0	0.01	1.00	0.99	11.2	0.66	0.10	0.45	0.00	11.67	1.10	4.85	
1.00	0.82	1.19	0.0	0.01	1.00	0.99	9.4	0.86	0.16	0.76	0.00	10.13	1.16	5.43	
1.00	0.82	1.14	0.0	0.01	1.00	0.99	7.8	1.00	0.14	0.67	0.00	8.50	1.14	5.37	
1.00	0.82	1.17	0.0	0.01	1.00	0.99	6.2	1.00	0.17	0.79	0.00	6.98	1.17	5.38	
1.00	0.82	1.16	0.0	0.01	1.00	0.99	4.7	1.00	0.16	0.76	0.00	5.45	1.16	5.50	
1.00	0.82	1.13	0.0	0.01	1.00	0.99	3.1	1.00	0.13	0.59	0.00	3.74	1.13	4.98	
1.00	0.82	1.14	0.0	0.01	1.00	0.99	1.4	1.00	0.14	0.64	0.00	2.08	1.14	5.27	

Hasil perhitungan ETC dan Kebutuhan Air Irigasi (Q) disajikan dalam Lampiran C.

4.3 Analisis Kinerja Sistem Irigasi

4.3.1 Analisis Residu

Residu debit dapat dilihat dari debit pemberian air pada waktu yang sesuai dikurangi dengan kebutuhan air di intake. Bila pengurangan bernilai positif menandakan bahwa DI Nepen mengalami surplus, jika sebaliknya menandakan defisit. Adapun debit pemberian air disajikan dalam Tabel 4.7 dan Tabel 4.8.

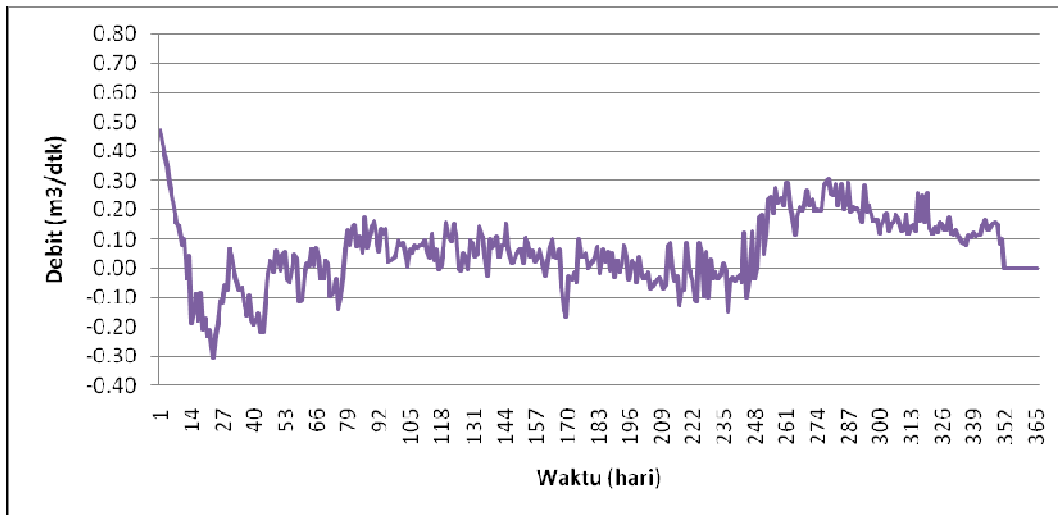
Tabel 4.7. Debit Pemberian Air Irigasi (m^3/dt) untuk Periode 1 tahun terakhir

Tahun	Periode minggu ke-	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ag	Sep	Okt	Nov	Des
		2003	1	0.46	0.45	0.47	0.50	0.51	0.51	0.51	0.50	0.49	0.49	0.44	0.45
	2	0.46	0.45	0.47	0.50	0.50	0.51	0.51	0.49	0.49	0.48	0.45	0.55
2004	1	0.43	0.42	0.44	0.44	0.45	0.43	0.45	0.45	0.45	0.46	0.46	0.46
	2	0.43	0.42	0.44	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.46	0.46	0.46

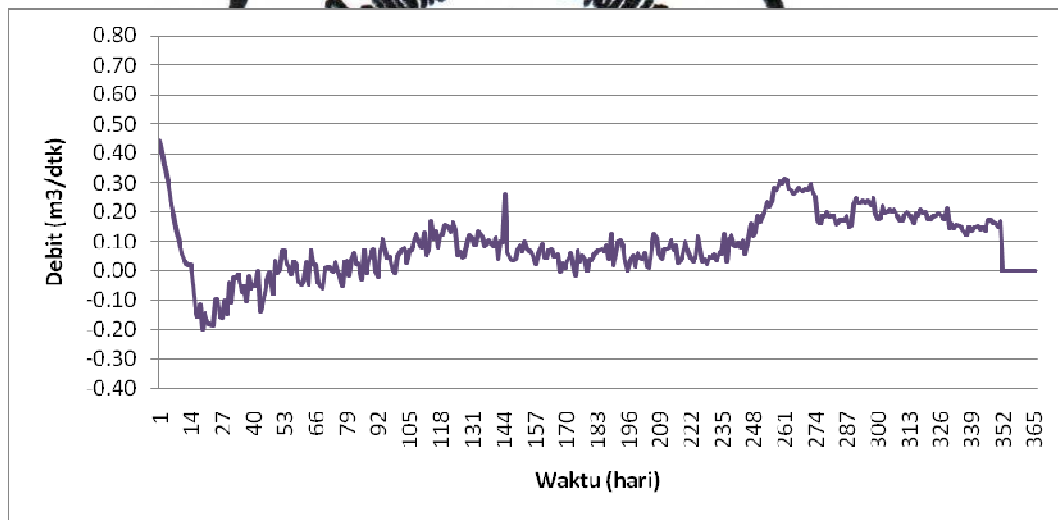
Tabel 4.8. Rata Rata Debit Pemberian Air Irigasi (m^3/dt)

	Periode minggu ke-	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
		Rata-rata	1	0.46	0.45	0.47	0.50	0.51	0.51	0.51	0.50	0.49	0.49	0.44	0.45
	2	0.46	0.45	0.47	0.50	0.50	0.51	0.51	0.49	0.49	0.48	0.45	0.55

Hasil dari residu debit digunakan untuk menghitung residu. Perhitungan residu dilakukan dengan menghitung kejadian surplus air dan kejadian defisit air yang selanjutnya dibandingkan dengan total kejadian aliran dalam waktu yang ditinjau. Hasil perhitungan disajikan dalam Grafik 4.2 sampai dengan Grafik 4.3.



Gambar 4.2. Hasil Perhitungan Residu Debit Periode 1 tahun terakhir



Gambar 4.3. Hasil Perhitungan Residu Rerata Debit

4.3.2 Analisis Faktor-k

Perhitungan faktor-k dihitung dari hasil perbandingan Debit Pemberian Air Di Intake dengan Kebutuhan Air Tanaman Di Intake yang disajikan dalam Tabel 4.9 sampai dengan Tabel 4.10.

Tabel 4.9. Hasil Perhitungan Faktor k per MT

Periode perhitungan	MT-1	MT-2	MT-3
Debit 1 Oktober 2003 - 30 September 2004	92.93	96.19	99.68
Rerata Debit	94.42	99.96	100.00

Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Faktor k per 15 harian

Minggu ke-	Faktor k		Minggu ke-	Faktor k	
	Debit 1 tahun terakhir	Rerata Debit		Debit 1 tahun terakhir	Rerata Debit
1	100,00	100,00	13	100,00	100,00
2	97,35	99,15	14	94,90	100,00
3	77,00	83,66	15	93,50	100,00
4	98,35	99,20	16	93,71	100,00
5	97,35	97,37	17	100,00	100,00
6	100,00	100,00	18	100,00	100,00
7	100,00	100,00	19	100,00	100,00
8	100,00	100,00	20	100,00	100,00
9	100,00	100,00	21	100,00	100,00
10	100,00	100,00	22	100,00	100,00
11	100,00	100,00	23	100,00	100,00
12	97,52	100,00	24	100,00	100,00

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa nilai faktor k yang dijadikan dasar pengelolaan irigasi dari pola tanam yang diterapkan dalam kurun waktu satu tahun menunjukkan nilai faktor k diatas 80%. Hal ini menjelaskan bahwa terpenuhinya kebutuhan air sepanjang tahun.

4.3.3 Analisis Indeks Resiko

Sistem pemberian air untuk seluruh skenario pola tanam harus memiliki nilai indeks keandalan (I_a) > 0,80 dan indeks kelentingan (I_k) > 0,50. Bila kedua

indeks ini tidak dipenuhi, maka hal ini mengindikasikan bahwa pemberian air tidak mampu memenuhi kebutuhan air, atau dapat dikatakan bahwa operasi irigasi tidak memenuhi kaidah keberlanjutan. Perhitungan kejadian dari awal masa tanam MT-1 pada tanggal 1 Oktober dengan pola tata tanam (Padi/Palawija – Padi/Palawija – Padi/Palawija) dapat dilihat dalam Lampiran E. Hasil analisis untuk periode pengamatan satu tahun disajikan dalam Tabel 4.11 sampai dengan Tabel 4.13.

Tabel 4.11. Hasil Perhitungan Indeks Resiko per MT

Indeks	Debit 1 tahun terakhir			Rerata Debit		
	MT-1	MT-2	MT-3	MT-1	MT-2	MT-3
Keandalan	0,67	0,60	0,91	0,61	0,98	1,00
Kelentingan	0,15	0,33	0,67	0,28	1,00	1,00

Tabel 4.12. Hasil Perhitungan Indeks Resiko Periode 1 tahun terakhir

Minggu ke-	Indeks		Minggu ke-	Indeks	
	Keandalan	Kelentingan		Keandalan	Kelentingan
1	0,80	0,67	13	1,00	0,67
2	0,13	0,07	14	1,00	0,17
3	0,00	0,07	15	1,00	0,33
4	0,53	0,57	16	1,00	0,23
5	0,53	0,29	17	1,00	0,67
6	0,94	1,00	18	1,00	0,00
7	1,00	0,00	19	1,00	0,00
8	1,00	0,00	20	1,00	0,00
9	0,87	1,00	21	1,00	0,00
10	1,00	0,00	22	1,00	0,00
11	0,93	1,00	23	1,00	0,00
12	0,56	0,14	24	1,00	0,00

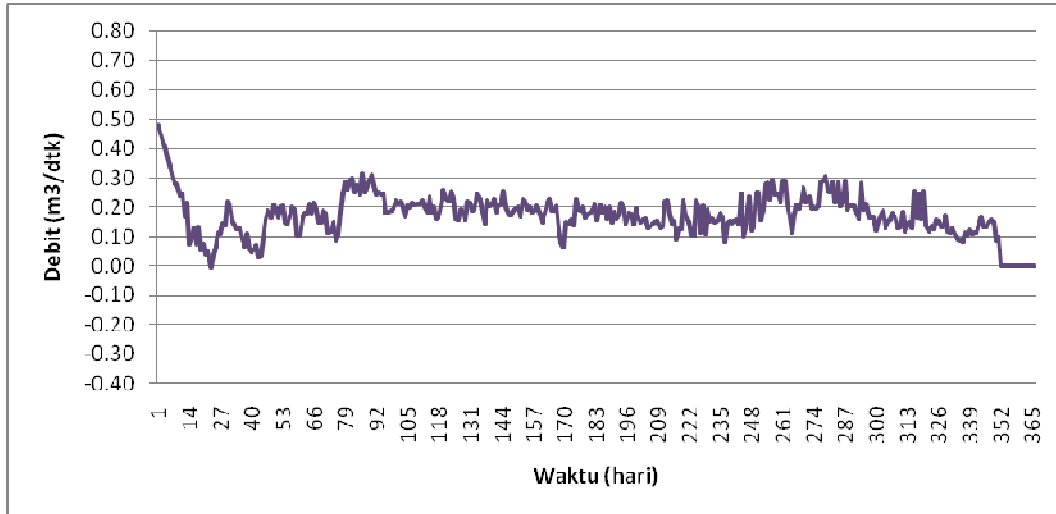
Tabel 4.13. Hasil Perhitungan Residu Debit Rerata per 15 harian

Minggu ke-	Indeks		Minggu ke-	Indeks	
	Keandalan	Kelentingan		Keandalan	Kelentingan
1	0,93	1,00	13	1,00	0,00
2	0,00	0,06	14	1,00	0,00
3	0,07	0,14	15	1,00	0,00
4	0,60	0,67	16	1,00	0,00
5	0,67	0,60	17	1,00	0,00
6	0,69	1,00	18	1,00	0,00
7	1,00	0,00	19	1,00	0,00
8	1,00	0,00	20	1,00	0,00
9	1,00	0,00	21	1,00	0,00
10	1,00	0,00	22	1,00	0,00
11	1,00	0,00	23	1,00	0,00
12	0,88	1,00	24	1,00	0,00

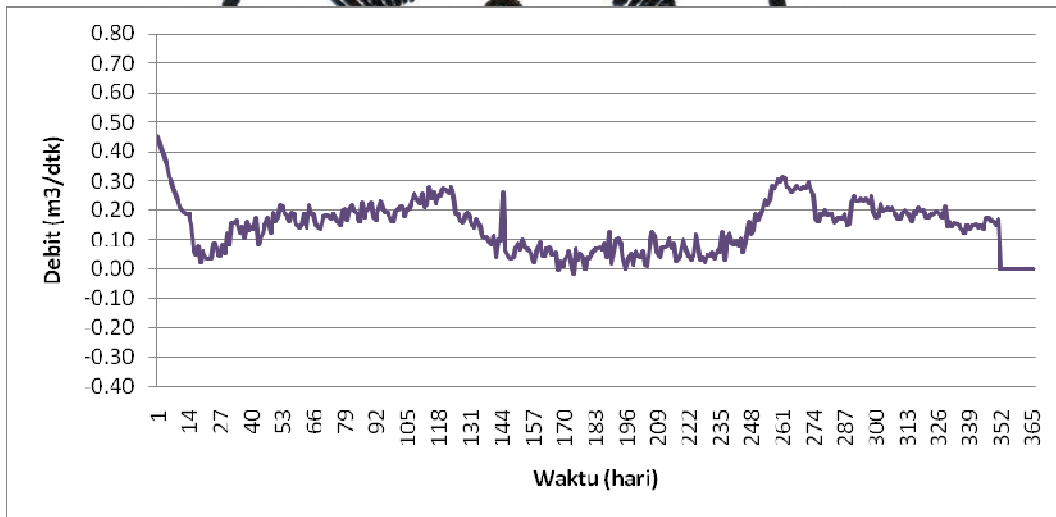
Terlihat bahwa secara keseluruhan batasan nilai tolok ukur keberlanjutan yang ditetapkan berupa indeks keandalan $> 0,8$ dan indeks kelentingan $> 0,5$ hanya terlampaui pada MT-2 dan MT-3 mulai dari Minggu ke-5, sedangkan pada MT-1 dan MT-2 mulai dari Minggu ke-2 batasan nilai tolok ukur yang ditetapkan tidak tercapai. Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa kinerja sistem irigasi dan operasi irigasi yang ditetapkan kurang baik atau tidak bersifat keberlanjutan karena tolok ukur resiko yang diterapkan tidak tercapai. Hal ini menggambarkan bahwa tidak tersedianya air/aliran sepanjang tahun.

4.4 Upaya Untuk Meningkatkan Kinerja Daerah Irigasi

Salah satu cara untuk memperbaiki operasi irigasi tersebut adalah dengan mengurangi luas lahan yang ditanami. Skenario ini dipilih berdasarkan hasil perhitungan tolok ukur resiko dengan perhitungan indeks keandalan dan indeks kelentingan pada MT-1 yang tidak tercapai. Skenario pola tanam antara lain: Padi/Palawija – Padi/Palawija – Padi/Palawija dengan luas tanam MT-1 sebesar 272,5 ha, MT-2 sebesar 410 ha, dan MT-3 sebesar 410 ha. Skenario ini dipilih berdasarkan keinginan petani untuk tidak mengubah pola tanam. Hasil perhitungan residu disajikan dalam Grafik 4.4 dan Grafik 4.5.



Gambar 4.4. Hasil Perhitungan Residu Debit Periode 1 tahun terakhir



Gambar 4.5. Hasil Perhitungan Residu Rerata Debit

Hasil perhitungan faktor-k dan indeks resiko disajikan dalam Tabel 4.14 sampai Tabel 4.18.

Tabel 4.14. Hasil Perhitungan Faktor k Skenario Luas Lahan per MT

Periode perhitungan	MT-1	MT-2	MT-3
Debit 1 tahun terakhir	99,99	100,00	100,00
Rerata Debit	100,00	99,96	99,68

Tabel 4.15. Hasil Perhitungan Faktor k Skenario Luas Lahan per 15 harian

Minggu ke-	Faktor k		Minggu ke-	Faktor k	
	Debit 1 tahun terakhir	Rerata Debit		Debit 1 tahun terakhir	Rerata Debit
1	100,00	100,00	13	100,00	100,00
2	100,00	100,00	14	100,00	100,00
3	100,00	100,00	15	100,00	100,00
4	100,00	100,00	16	100,00	100,00
5	100,00	100,00	17	100,00	100,00
6	100,00	100,00	18	100,00	100,00
7	100,00	100,00	19	100,00	100,00
8	100,00	100,00	20	100,00	100,00
9	100,00	100,00	21	100,00	100,00
10	100,00	100,00	22	100,00	100,00
11	100,00	100,00	23	100,00	100,00
12	100,00	100,00	24	100,00	100,00

Tabel 4.16. Hasil Perhitungan Indeks Resiko Skenario Luas Lahan per MT

Indeks	Debit 1 tahun terakhir			Rerata Debit		
	MT-1	MT-2	MT-3	MT-1	MT-2	MT-3
Keandalan	0,99	1,00	1,00	1,00	0,98	1,00
Kelentingan	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabel 4.17. Hasil Perhitungan Indeks Resiko Periode 1 tahun terakhir Skenario Luas Lahan per 15 harian

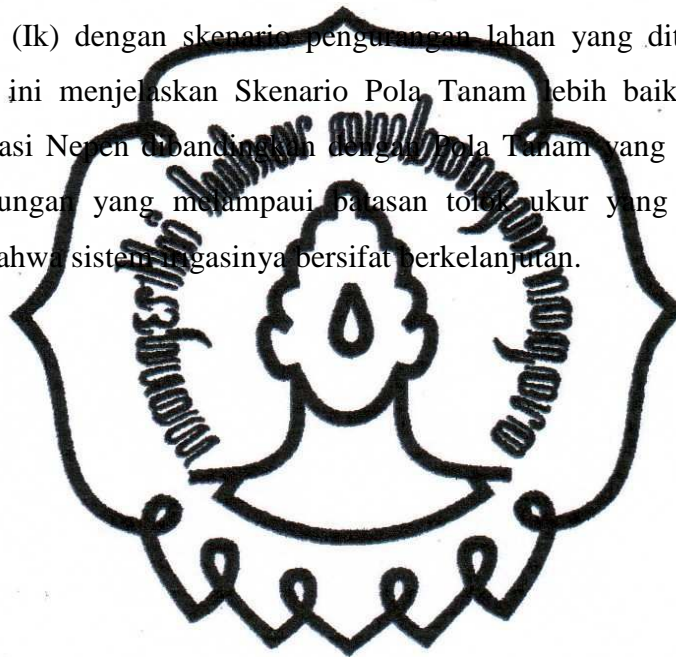
Minggu ke-	Indeks		Minggu ke-	Indeks	
	Keandalan	Kelentingan		Keandalan	Kelentingan
1	1,00	1,00	13	1,00	1,00
2	0,94	1,00	14	1,00	1,00
3	1,00	1,00	15	1,00	1,00
4	1,00	1,00	16	1,00	1,00
5	1,00	1,00	17	1,00	1,00
6	1,00	1,00	18	1,00	1,00
7	1,00	1,00	19	1,00	1,00
8	1,00	1,00	20	1,00	1,00
9	1,00	1,00	21	1,00	1,00
10	1,00	1,00	22	1,00	1,00
11	1,00	1,00	23	1,00	1,00
12	1,00	1,00	24	1,00	1,00

Tabel 4.18. Hasil Perhitungan Residu Perata Skenario Luas Lahan per 15 harian

Minggu ke-	Indeks		Minggu ke-	Indeks	
	Keandalan	Kelentingan		Keandalan	Kelentingan
1	1,00	1,00	13	1,00	1,00
2	1,00	1,00	14	1,00	1,00
3	1,00	1,00	15	1,00	1,00
4	1,00	1,00	16	1,00	1,00
5	1,00	1,00	17	1,00	1,00
6	1,00	1,00	18	1,00	1,00
7	1,00	1,00	19	1,00	1,00
8	1,00	1,00	20	1,00	1,00
9	1,00	1,00	21	1,00	1,00
10	1,00	1,00	22	1,00	1,00
11	1,00	1,00	23	1,00	1,00
12	0,88	1,00	24	1,00	1,00

Berdasarkan hasil analisis faktor k dalam Tabel 4.20 dan Tabel 4.21 terlihat bahwa pada MT-1, MT-2 dan MT-3 memiliki nilai faktor k > 80%. Hal ini menggambarkan bahwa kebutuhan air irigasi selama sepanjang tahun dapat tercapai. Sehingga operasi irigasi dan pola tanam yang diterapkan dapat dikatakan andal.

Hasil perhitungan indeks resiko sebagai tolok ukur keberlanjutan sistem irigasi pada Tabel 4.22 sampai dengan 4.24 mempunyai nilai $I_a > 0,8$ dan $I_k > 0,5$. Terlihat bahwa terjadi peningkatan besaran indeks keandalan (I_a) dan indeks kelentingan (I_k) dengan skenario pengalangan lahan yang ditanami padi pada MT-1. Hal ini menjelaskan Skenario Pola Tanam lebih baik diterapkan pada Daerah Irigasi Neren dibandingkan dengan Pola Tanam yang berlaku. Dengan nilai perhitungan yang melampaui pasaran tolok ukur yang ditetapkan dapat dikatakan bahwa sistem irigasinya bersifat berkelanjutan.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Keberlanjutan sistem irigasi yang ditetapkan oleh Pemerintah Daerah Kabupaten Boyolali berupa faktor k (faktor keandalan/faktor ketersediaan air). Hal ini berarti faktor keandalan/kegiatan operasi irigasi dari pola tanam yang diterapkan dalam kurun waktu satu tahun. Batasan nilai faktor k yang ditetapkan sebesar 80%. Berdasarkan hasil analisis per MT dan 15 harian pada Daerah Irigasi Nepen menunjukkan nilai faktor $k > 80\%$, dapat dikatakan terpenuhinya kebutuhan air sepanjang tahun.
2. Berdasarkan hasil penelitian terdahulu dapat diketahui bahwa indeks resiko juga dapat digunakan sebagai tolok ukur keberlanjutan. Indeks resiko yang digunakan berupa nilai indeks keandalan (I_a) dan indeks kelentingan (I_k). Adapun Batasan nilai indeks keandalan (I_a) $> 0,80$ dan indeks kelentingan (I_k) $> 0,50$. Bila kedua indeks ini tidak dipenuhi, maka hal ini mengindikasikan bahwa pemberian air tidak mampu memenuhi kebutuhan air, atau dapat dikatakan bahwa operasi irigasi tidak memenuhi kaidah keberlanjutan. Perhitungan kejadian pada MT-1 dan MT-2 mulai dari Minggu ke-2 menjelaskan bahwa nilai tolok ukur yang ditetapkan tidak tercapai/tidak terlampaui. Apabila dikaitkan dengan tolok ukur resiko yang diterapkan dalam penelitian ini, nilai tersebut menjelaskan bahwa operasi pengelolaan yang ditetapkan kurang baik sehingga perlu dilakukan upaya untuk memperbaiki operasi irigasi tersebut.
3. Upaya yang harus dilakukan agar operasi irigasi memberikan jaminan pasokan air dengan mengubah luas lahan yang ditanami dengan luas tanam

MT-1 sebesar 272,5 ha, MT-2 sebesar 410 ha, dan MT-3 sebesar 410 ha. Hasil analisis untuk skenario tersebut didapatkan nilai faktor k pada tiap mas tanam hampir mencapai 100%, sedangkan nilai sebagai indeks keandalan (I_a) dan indeks kelentingan (I_k) hampir mencapai nilai 1. Terlihat bahwa terjadi peningkatan besaran indeks keandalan (I_a) dan indeks kelentingan (I_k) dengan skenario pengurangan lahan yang ditanami padi pada MT-1. Hal ini menjelaskan Skenario Luas Tanam lebih baik diterapkan pada Daerah Irigasi Nepen dibandingkan dengan Luas Tanam yang berlaku. Dengan nilai perhitungan yang melampaui batasan tolok ukur yang ditetapkan dapat dikatakan bahwa sistem irigasinya bersifat berkelanjutan.

5.2 Saran

Beberapa saran yang berkaitan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jenis tanaman pada MT-1 dan MT-2 sebaiknya berupa tanaman yang memerlukan sedikit air.
2. Perlu dilakukan evaluasi pengamatan dengan memperpendek periode pengamatan, misalnya dengan periode pengamatan 10 atau 30 harian.
3. Perlu menambah batasan tolok ukur, misalnya indeks kerawanan.
4. Perlu dilakukan evaluasi berdasarkan data hasil produksi pertanian.
5. Mengubah pola pemberian air.