

2 LANDASAN TEORI

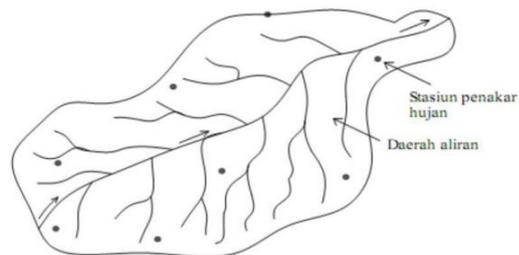
2.1 Curah Hujan Kawasan

Suyono, Sosrodarsono, & Takeda (1977) dalam (Wijaya, 1995) menyatakan bahwa curah hujan yang diperlukan guna penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata diseluruh daerah yang bersangkutan dan diperkirakan diambil dari beberapa stasiun terdekat.

Suatu daerah memiliki intensitas hujan yang berbeda-beda. Curah hujan pada suatu daerah yang memiliki titik pengamatan curah hujan lebih dari satu harus dihitung nilai curah hujan rata-ratanya. Jika titik-titik pengamatan di dalam daerah itu tidak tersebar merata, maka perhitungan dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh tiap titik pengamatan. Menurut Hartini (2017), terdapat tiga metode dalam perhitungan curah hujan rata-rata yaitu sebagai berikut:

1. Metode Aritmatika

Metode ini biasanya dipakai pada daerah datar dan memiliki banyak stasiun curah hujan dengan anggapan bahwa di daerah tersebut sifat curah hujannya adalah sama rata.



Gambar 2.1 Penerapan Metode Aritmatika pada Suatu DAS

Adapun persamaan yang digunakan untuk perhitungan sebagai berikut:

$$R = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n} = \frac{\sum R_i}{n} \quad (2.1)$$

Keterangan:

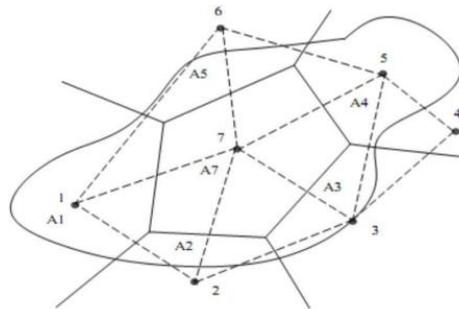
d = Rata-rata curah hujan (mm).

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ = Tinggi curah hujan di pos 1, 2, 3, ..., n.

n = Banyaknya stasiun pencatat.

2. Metode *Polygon Thiessen*

Metode ini dilakukan dengan membuat poligon yang memotong garis lurus di tengah garis yang menghubungkan kedua stasiun curah hujan. Curah hujan rata-rata diperoleh dengan cara menjumlahkan pada masing-masing penakar yang mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar.



Gambar 2.2 Penerapan Metode *Polygon Thiessen* pada Suatu DAS

Adapun persamaan yang digunakan untuk perhitungan sebagai berikut:

$$R = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + A_3 R_3 + \dots + A_n R_n}{\sum A} = \frac{\sum A_i R_i}{\sum A} \quad (2.2)$$

Keterangan:

A = Luas areal (km^2).

R = Tinggi curah hujan rata-rata areal.

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ = Tinggi curah hujan di pos 1, 2, 3, ..., n.

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ = Luas daerah pengaruh pos 1, 2, 3, ..., n.

3. Metode Isohyet

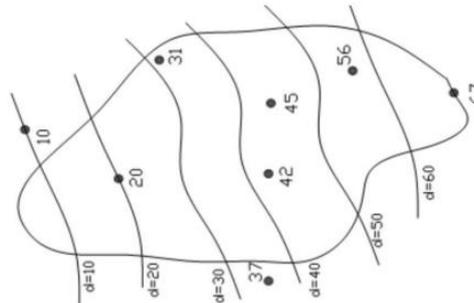
Metode ini harus memerlukan penggambaran garis kontur pada ketinggian curah hujan yang sama (isohyet). Luas bagian diantara isohyet-isohyet yang berdekatan diukur dan harga rata-ratanya dihitung sebagai harga rata-rata berimbang dari nilai kontur seperti pada rumus berikut ini:

$$R = \frac{\frac{R_0 + R_1 A}{2} A \frac{R_1 + R_2 A}{2} A \frac{R_{n-1} + R_n A}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.3)$$

$$R = \frac{\sum \frac{R_{i-1} + R_i}{2} A_i}{\sum A_i} \quad (2.4)$$

Keterangan:

- A = Luas areal (km²).
R = Tinggi curah hujan rata-rata areal.
R₀, R₁, R₂, ..., R_n = Tinggi curah hujan di pos 0, 1, 2, ..., n.
A₁, A₂, A₃, ..., A_n = Luas bagian areal yang dibatasi oleh isohyet-isohyet yang bersangkutan.



Gambar 2.3 Penerapan Metode Isohyet pada Suatu DAS

2.2 Analisis Klimatologi

Iklm memiliki pengaruh yang kuat dalam perencanaan kebutuhan air irigasi suatu wilayah, analisis terhadap klimatologi diperlukan untuk daerah sekitar irigasi.

2.2.1 Klasifikasi Iklm Oldeman

Klasifikasi iklim Oldeman merupakan cara yang tepat untuk diterapkan di bidang pertanian. Klasifikasi iklim yang dilakukan oleh Oldeman didasarkan pada jumlah kebutuhan air tanaman, terutama pada tanaman padi dan palawija (Dwiyono dalam (Sasminto et al., 2014)). Klasifikasi dengan cara ini mengacu pada bulan basah ($CH > 200$ mm) berturut-turut untuk penentuan zona iklim serta pada bulan kering ($CH < 100$ mm) berturut-turut untuk menentukan sub-divisinya. Berikut merupakan data-data yang berkaitan dengan klasifikasi iklim Oldeman.

Tabel 2.1 Tipe Utama Klasifikasi Iklim Oldeman

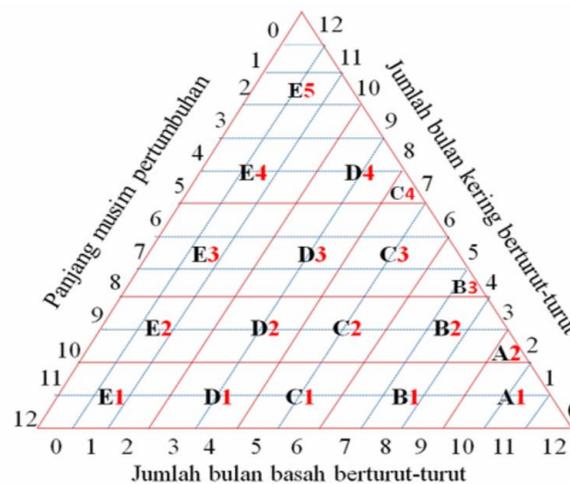
Tipe Utama	Bulan Basah Berturut-turut
A	> 9
B	7 – 9
C	5 – 6
D	3 – 4
E	< 3

Sumber: Handoko, 1995 dalam Nurdiansyah, 2022.

Tabel 2.2 Sub Divisi Klasifikasi Iklim Oldeman

Tipe Utama	Bulan Kering Berturut-turut
1	> 9
2	7 – 9
3	5 – 6
4	3 – 4

Sumber: Handoko, 1995 dalam Nurdiansyah, 2022.



Gambar 2.4 Segitiga Oldeman

Sumber: Oldeman et al, 1980 dalam Nasution & Nuh, 2018

Berikut penjabaran dari segitiga klasifikasi iklim Oldeman:

Tabel 2.3 Penjabaran Daerah Agroklimat Oldeman

Tipe Iklim	Keterangan
A1, A2	Iklim yang sesuai untuk ditanami padi terus menerus tetapi intensitas radiasinya rendah sepanjang tahun, akibatnya produksi kurang.
B1	Sesuai untuk ditanami padi terus menerus dan produksi akan tinggi ketika panen di musim kemarau.

Tipe Iklim	Keterangan
B2, B3	Kondisi ini memungkinkan padi ditanam dua kali dalam setahun dengan varietas umur pendek dan musim kering yang pendek cukup untuk tanaman palawija.
C1	Tanaman padi dapat sekali dan palawija dua kali setahun.
C2, C3, C4	Satu tahun hanya dapat satu kali tanaman padi dan penanaman palawija kedua, namun harus berhati-hati jangan sampai jatuh pada bulan kering.
D1	Tanaman padi umur pendek satu kali dan biasanya produksi bias tinggi karena kerapatan fluks radiasi tinggi. Waktu tanam palawija cukup.
D2, D3, D4	Dapat ditanami hanya dengan satu kali padi atau satu kali palawija, tergantung pada persediaan air irigasi.
E	Daerah ini pada umumnya terlalu kering hanya memungkinkan ditanami palawija satu kali dalam setahun, itupun tergantung dengan ada atau tidaknya hujan

Sumber: Dwiyono dalam Sasminto et al., 2014.

2.2.2 Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah penguapan (evaporasi) yang terjadi pada permukaan lahan tempat ditumbuhi tanaman. Menurut Triatmodjo (2008), evapotranspirasi adalah besarnya penguapan yang terjadi di permukaan lahan yang meliputi permukaan lahan dan tanaman yang tumbuh di permukaan lahan tersebut dan biasanya dinyatakan dalam mm/hari atau mm/bulan.

Evapotranspirasi merupakan gabungan dari evaporasi dan transpirasi yang terjadi secara bersamaan. Evaporasi merupakan peristiwa berubahnya air dari bentuk cair menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah atau permukaan air menuju ke udara. Transpirasi merupakan proses penguapan yang terjadi melalui tumbuhan.

Beberapa metode dalam menentukan evapotranspirasi seperti metode Blaney-Criddle, persamaan empiris Thornwaite, dan metode Penman Modifikasi. Penelitian ini, menggunakan metode Penman Modifikasi yang dimaksudkan agar hasil yang didapat lebih realistis karena sebagian besar menggunakan data klimatologi.

Perhitungan evapotranspirasi dengan menggunakan metode Penman Modifikasi menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$ET_o = c[W.R_n + (1 - w).f(u).(e_a - e_d)] \quad (2.5)$$

$$e_d = e_a \times RH \quad (2.6)$$

$$f(ed) = 0,34 - 0,44\sqrt{ed} \quad (2.7)$$

$$f\left(\frac{n}{N}\right) = 0,1 + 0,9\left(\frac{n}{N}\right) \quad (2.8)$$

$$f(u) = 0,27\left(1 + \frac{U_2}{100}\right) \quad (2.9)$$

$$R_{nl} = f(T) \times f(ed) \times f\left(\frac{n}{N}\right) \quad (2.10)$$

$$R_s = \left(0,25 + 0,54\left(\frac{n}{N}\right)\right) \times R_a \quad (2.11)$$

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s \quad (2.12)$$

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (2.13)$$

Keterangan:

ET_o = Evapotranspirasi tanaman referensi (mm/hari).

C = Angka koreksi Penman untuk kompensasi efek kondisi cuaca siang dan malam hari.

W = Faktor pemberat untuk pengaruh penyinaran matahari pada Evapotranspirasi potensial.

$(1 - W)$ = Faktor pemberat untuk pengaruh kecepatan angin dan kelembaban.

$f(u)$ = Fungsi pengaruh angin pada $ET_o = 0,27 \times (1 + U_2/100)$, dimana U_2 merupakan kecepatan angin selama 24 jam dalam km/hari

pada ketinggian 2 m.

ea	= Tekanan uap air jenuh pada suhu udara rata-rata (mbar).
ed	= Tekanan uap air nyata rata-rata di udara (mbar).
u	= Kecepatan angin (km/hari atau m/detik).
f(ed)	= Fungsi tekanan uap.
f(n/N)	= Fungsi penyinaran matahari.
n	= Lamanya penyinaran matahari (jam/hari).
N	= Lamanya penyinaran matahari menurut astronomi dalam suatu hari.
f(T)	= Fungsi temperatur.
RH	= Kelembaban udara relatif (%).
Rnl	= Radiasi bersih gelombang panjang.
Rs	= Radiasi gelombang pendek.
Ra	= Radiasi ekstraterrestrial/nilai angot.
Rns	= Penyinaran matahari yang diserap oleh bumi (mm/hari).
Rn	= Penyinaran radiasi matahari (mm/hari).

Perhitungan evapotranspirasi metode Penman membutuhkan beberapa parameter. Parameter tersebut diperoleh dari perhitungan dengan cara sebagai berikut:

1. Tekanan uap jenuh (ea), faktor penimbang (W), dan fungsi suhu (f(T))

Mencari nilai-nilai di atas, dapat menggunakan tabel berikut.

Tabel 2.4 Hubungan Tekanan Uap Jenuh, Faktor Penimbang, dan Fungsi Temperatur

Temperatur (°C)	W	f(T)	ea (mbar)
22,00	0,71	15,20	26,40
24,00	0,74	15,40	28,10
25,00	0,75	15,65	29,80

Temperatur (°C)	W	f(T)	ea (mbar)
26,00	0,76	15,90	31,70
27,00	0,77	16,10	33,60
28,00	0,78	16,30	35,70
28,60	0,78	16,42	37,80
29,00	0,79	16,50	40,10

Sumber: Nurazizah dalam Nurdiansyah, 2022.

2. Radiasi ekstraterestrial (Ra)

Nilai Ra dapat diperoleh dengan interpolasi dari tabel berikut ini.

Tabel 2.5 Nilai Radiasi Ekstraterestrial Bulanan Berdasarkan Koordinat Lintang Selatan

Bulan	Koodinat Lintang Selatan (°)			
	4	6	8	10
Januari	15,30	15,50	15,80	16,10
Februari	15,70	15,80	16,00	16,10
Maret	15,70	15,60	15,60	15,50
April	15,10	14,90	14,70	14,40
Mei	14,10	13,80	13,40	13,10
Juni	13,50	13,20	12,80	12,40
Juli	13,70	13,40	13,10	12,70
Agustus	14,50	14,30	14,00	13,70
September	15,20	15,10	15,00	14,90
Oktober	15,50	15,60	15,70	15,80
November	15,30	15,50	15,80	16,00
Desember	15,10	15,40	15,70	16,00

Sumber: Limantara, 2018.

3. Angka koreksi Penman

Angka koreksi dapat diperoleh dari tabel sebagai berikut.

Tabel 2.6 Faktor Koreksi Penman

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
C	1,10	1,10	1,00	0,90	0,90	0,90	0,90	1,00	1,10	1,10	1,10	1,10

Sumber: Suroso dalam Nurdiansyah, 2022.

4. Koefisien pemantulan/Albedo

Koefisien ini diperoleh dari rasio antara radiasi yang dipantulkan permukaan dengan radiasi yang datang dari permukaan. Nilai-nilai koefisien Albedo disajikan dalam tabel sebagai berikut.

Tabel 2.7 Koefisien Albedo

Sifat Permukaan	R
Air Terbuka	0,06
Batu	0,12 – 0,15
Rumput	0,08 – 0,09
Tanaman Hijau	0,20

Sumber: Soemarto, 1995.

2.3 Ketersediaan Air (*Inflow*)

Ketersediaan air mengacu pada jumlah air (debit) yang diharapkan akan tetap tersedia secara berkelanjutan di suatu lokasi, seperti di bendungan atau struktur air lainnya di sungai. Jumlah air ini memiliki batas tertentu dan berlaku dalam jangka waktu tertentu (Hidayat et al., 2023). Ketersediaan air adalah jumlah debit yang dapat digunakan untuk irigasi dengan mempertimbangkan risiko kegagalan yang telah diprediksi. Kebutuhan air untuk irigasi ini juga dikenal sebagai debit andalan (Limantara dalam (Retnowati, 2018)).

2.3.1 Debit Andalan

Debit andalan (*dependable flow*) adalah debit minimum sungai dengan tingkat peluang tertentu dapat digunakan untuk penyediaan air. Perhitungan debit andalan bertujuan menentukan besarnya debit yang tersedia untuk kebutuhan irigasi dengan memperhitungkan risiko kegagalan. Debit andalan berubah-ubah

sesuai dengan kondisi musim saat itu. Perhitungan ini dilakukan dengan evaluasi ketersediaan air untuk merencanakan tata tanam. Keandalan debit yang dihitung memiliki arti yang berbeda-beda tergantung pada tujuan perhitungan tersebut.

Beberapa cara yang diketahui untuk menghitung debit andalan sesuai SNI 6738:2015 dan Kriteria Perencanaan Irigasi (KP-01) adalah akibat Weibull untuk penentuan probabilitas debit andalan, FJ Mock, dan NRECA untuk perhitungan debit andalan berdasarkan data curah hujan. Berikut ini merupakan tabel mengenai penentuan debit andalan berdasarkan kebutuhannya.

Tabel 2.8 Debit Andalan Sesuai Kebutuhan

Kebutuhan	Debit Andalan (%)
Air Minum	99
Industri	95 – 98
Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)	85 – 90
Air Irigasi:	
1. Daerah dengan Iklim Setengah Lembab	70 – 85
2. Daerah dengan Iklim Kering	80 – 95

Sumber: Limantara, 2018.

Kondisi debit andalan (Mori, 2003) dapat dibedakan menjadi empat yaitu:

1. Debit air musim kering, debit yang dilampaui oleh debit-debit selama 355 hari dalam satu tahun (97%).
2. Debit air musim rendah, debit yang dilampaui oleh debit-debit selama 275 hari dalam satu tahun (75%).
3. Debit air musim normal, debit yang dilampaui oleh debit-debit selama 185 hari dalam satu tahun (51%).
4. Debit air cukup, debit yang dilampaui oleh debit-debit selama 95 hari dalam satu tahun (26%).

Metode yang digunakan untuk perhitungan debit andalan pada penelitian ini adalah metode probabilitas Weibull. Berikut merupakan rumus untuk metode Weibull:

$$P = \frac{m}{(n + 1)} \times 100\% \quad (2.14)$$

Keterangan:

- P = Probabilitas (%).
 m = Nomor urut data debit.
 n = Jumlah data pengamatan debit.

2.3.2 Keandalan Debit

Keandalan debit mengacu pada ketersediaan air sungai yang melebihi atau sama dengan suatu nilai tertentu, yang terkait dengan persentase waktu atau probabilitas terjadinya. Data yang diperlukan untuk menghitung debit andalan adalah data debit bulanan atau harian yang diperoleh dari pencatatan di pos duga air terdekat.

Terdapat empat metode untuk menganalisis debit andalan (Montarcih, 2009 dalam (Sari et al., 2012)) sebagai berikut:

1. Metode Debit Rata-rata Minimum

Karakteristik metode ini, dalam satu tahun hanya diambil satu data (data debit rata-rata harian dalam satu tahun tersebut). Metode ini cocok untuk daerah aliran sungai dengan fluktuasi debit maksimum dan debit minimum tidak signifikan dari tahun ke tahun dan kebutuhan relatif konstan sepanjang tahun.

2. Metode *Flow Characteristic*

Debit berbasis tahun normal adalah jika debit rata-rata tahunannya kurang lebih sama dengan debit rata-rata keseluruhan tahun. Debit berbasis tahun kering adalah jika debit rata-rata tahunannya lebih kecil dari debit rata-rata keseluruhan tahun dan debit berbasis tahun basah adalah jika debit rata-rata tahunannya lebih kecil dari debit rata-rata keseluruhan tahun. Metode ini cocok untuk Daerah Aliran Sungai (DAS) dengan fluktuasi debit maksimum dan debit minimum relatif besar dari tahun ke tahun, kebutuhan relatif tidak konsisten sepanjang tahun, dan data yang tersedia dalam jangka waktu lama.

3. Metode Tahun Dasar Perencanaan

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

$$R_{80} = \frac{n}{5} + 1 \quad (2.15)$$

Keterangan:

n = Kala ulang pengamatan yang diinginkan.

R₈₀ = Debit yang terjadi < R₈₀ adalah 20%.

4. Metode Bulan Dasar Perencanaan

Analisis debit andalan dengan metode ini hampir sama dengan metode *Flow Characteristic* yang menganalisis bulan-bulan tertentu saja. Metode ini merupakan metode yang paling sering dipakai karena perhitungan keandalan debit dihitung dari bulan Januari sampai dengan bulan Desember, sehingga bisa lebih memberi gambaran kondisi pada saat musim kemarau dan penghujan.

2.3.3 Debit Bangkitan Metode Thomas-Fiering

Pembangkitan data debit bertujuan untuk mengetahui nilai di masa yang akan datang dengan cara peramalan (*forecasting*). Metode yang digunakan adalah metode Thomas-Fiering yang membangkitkan debit dari data historis, rata-rata, korelasi, dan standar deviasinya.

Tiga model yang digunakan dalam perhitungan hidrologi yaitu model deterministik, model probabilistik, model stokastik. Model stokastik mampu mengisi kekosongan diantara kedua model tersebut, yaitu mempertahankan sifat-sifat peluang sehubungan dengan runtun waktu kejadian. Model stokastik mencakup proses perpanjangan seri data. Pembangkitan data menggunakan metode Thomas Fiering dapat digunakan untuk mengatasi pemasalahan kurang panjangnya data hidrologi. Kelebihan metode Thomas Fiering adalah dapat memprediksi data untuk beberapa tahun ke depan. Rumus yang digunakan dalam metode ini yaitu sebagai berikut:

$$Q_{i+1} = \bar{Q}_{j+1} + b_j (Q_i - \bar{Q}_j) + t_i s_{j+1} \sqrt{1 - r_j^2} \quad (2.16)$$

$$b_j = r_j \frac{s_{j+1}}{s_j} \quad (2.17)$$

$$r_j = \frac{c_1}{c_2} \quad (2.18)$$

$$c_1 = \sum_i (Q_{ji} - \bar{Q}_j) (Q_{j+1,i} - \bar{Q}_{j+1}) \quad (2.19)$$

$$c_2 = \sqrt{\sum_i (Q_{ji} - \bar{Q}_j)^2 \sum_i (Q_{j+1,i} - \bar{Q}_{j+1})^2} \quad (2.20)$$

Keterangan:

- Q_{i+1} = Debit bangkitan bulan ke-(i + 1).
 Q_i = Debit bulan ke-i.
 \bar{Q}_{j+1} = Debit rata-rata bulanan bulan ke-(j + 1).
 \bar{Q}_j = Debit rata-rata bulanan bulan ke-j.
 b_j = Koefisien regresi untuk menghitung volume aliran bulan ke-(j + 1) dari bulan ke-j.
 s_{j+1} = Simpangan baku data (aliran) bulan ke-(j + 1).
 s_j = Simpangan baku data bulan ke-j.
 t_i = Bilangan random normal.

2.3.4 Validitas Debit Bangkitan

Kalibrasi debit dilakukan guna mengetahui nilai debit pada debit simulasi telah mendekati kondisi sebenarnya. Berdasarkan (Lufi et al., 2020) data debit dianalisis validasinya dengan data debit AWLR menggunakan metode *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE), Koefisien Korelasi (R), *Root Mean Squared Error* (RMSE), dan Kesalahan Relatif (RE).

2.3.4.1 Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)

Metode ini menunjukkan seberapa baik plot nilai yang diamati dibandingkan dengan nilai prediksi yang disimulasikan, dengan rentang nilai dari negatif tak hingga hingga satu. Hasil NSE yang semakin mendekati angka satu, maka semakin baik nilai NSE yang berarti data hasil pembangkitan dapat teruji kebenarannya karena mendekati data observasi. Berikut merupakan rumus perhitungan:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (X_i - Y_i)^2}{\sum_{t=1}^N (X_i - \bar{X}_i)^2} \quad (2.21)$$

Keterangan:

X_i = Data observasi (data aktual).

Y_i = Hasil simulasi data.

\bar{X}_i = Rata-rata data observasi.

N = Jumlah data.

Tabel kriteria nilai dari NSE disajikan untuk validasi hasil bangkitan data disajikan pada Tabel 2.9 sebagai berikut.

Tabel 2.9 Kriteria Nilai *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE)

<i>NSE Value</i>	<i>Interpretation</i>
$NSE > 0,75$	<i>Good</i>
$0,36 < NSE < 0,75$	<i>Qualified</i>
$NSE < 0,36$	<i>Not Qualified</i>

Sumber: Motovilov.et al. dalam Lufi et al., 2020.

2.3.4.2 Koefisien Korelasi (R)

Tujuan analisis ini adalah untuk mengetahui pola dan kedekatan hubungan antara dua variabel atau lebih. Adapun rumus yang digunakan dalam perhitungan koefisien korelasi (R) yaitu sebagai berikut:

$$R = \frac{N \sum_{t=1}^N X_i Y_i - \sum_{t=1}^N X_i - \sum_{t=1}^N Y_i}{N \sqrt{\sum_{t=1}^N X_i - (\sum_{t=1}^N X_i)^2} \sqrt{\sum_{t=1}^N Y_i - (\sum_{t=1}^N Y_i)^2}} \quad (2.22)$$

Keterangan:

X_i = Data observasi (data aktual).

Y_i = Hasil simulasi data.

N = Jumlah data.

Kriteria nilai dari koefisien korelasi disajikan pada Tabel 2.10 sebagai berikut.

Tabel 2.10 Kriteria Nilai Koefisien Korelasi (R)

<i>R Value</i>	<i>Interpretation</i>
0,00 – 0,19	<i>Very Low</i>
0,20 – 0,39	<i>Low</i>
0,40 – 0,59	<i>Moderate</i>
0,60 – 0,79	<i>Strong</i>
0,80 – 1,00	<i>Very Strong</i>

Sumber: Motovilov.et al. dalam Lufi et al., 2020

2.3.4.3 Root Mean Squared Error (RMSE)

Metode ini merupakan sebuah metode pengukuran dengan mengukur perbedaan nilai dari prediksi sebuah model sebagai estimasi atas nilai yang diobservasi. *Root Mean Square Error* adalah hasil dari persamaan kuadrat *Mean Square Error*. Keakuratan metode estimasi kesalahan pengukuran ditunjukkan dengan adanya nilai RMSE yang kecil. Metode estimasi dengan RMSE lebih rendah dianggap lebih akurat dibandingkan metode estimasi dengan RMSE yang lebih tinggi. Untuk melihat tingkat kesalahan hasil prediksi dengan menggunakan RSME, dimana semakin kecil (mendekati 0) nilai RSME semakin akurat nilai prediksi (Hamdanah & Fitriana, 2021). Adapun rumus yang digunakan dalam perhitungan nilai RMSE yaitu sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N (X_i - Y_i)^2}{N}} \quad (2.23)$$

Keterangan:

X_i = Data observasi (data aktual).

Y_i = Hasil simulasi data.

N = Jumlah data.

2.3.4.4 Kesalahan Relatif (RE)

Metode ini digunakan untuk mengetahui perbandingan antara besaran satu variabel dengan variabel lain yang dijadikan sebagai tolak ukur untuk variabel yang sebenarnya. Kesalahan relatif (RE) adalah kesalahan standar yang dinyatakan sebagai pecahan dari estimasi dan biasanya ditampilkan sebagai persentase. Nilai RE sama dengan kesalahan standar estimasi survei dibagi dengan estimasi survei kemudian dikalikan 100. Kesalahan relatif keseluruhan berada dibawah 10%, atau tidak lebih besar dari 25% hasilnya dianggap memenuhi (Ilham et al., 2022). Adapun rumus yang digunakan untuk perhitungan yaitu sebagai berikut:

$$KR = \frac{\sum_{t=1}^N (X_i - Y_i)}{Y_i} \times 100\% \quad (2.24)$$

Keterangan:

X_i = Data observasi (data aktual).

Y_i = Hasil simulasi data.

N = Jumlah data.

2.3.5 Uji Konsistensi

Konsistensi suatu data debit dalam suatu data runtut waktu perlu diuji kepengangannya. Uji kepengangan atau uji konsistensi ini perlu dilakukan untuk mengetahui kualitas data yang digunakan. Beberapa metode yang digunakan untuk uji konsistensi data diantaranya ialah metode kurva massa ganda dan metode *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS). Metode RAPS memiliki tahapan pengujian data sebagai berikut:

1. Mengurutkan data debit berdasarkan urutan tahun lalu hitung reratanya.
2. Menghitung nilai kumulatif penyimpangan terhadap nilai rata-rata (Sk^*).

$$Sk^* = \sum_{i=1}^k (Q_i - \bar{Q}), \text{ dengan } k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.25)$$

Keterangan:

Sk^* = Nilai kumulatif penyimpangan terhadap rata-rata.

3. Menghitung nilai D_y .

$$D_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n}} \quad (2.26)$$

Keterangan:

D_y = Simpangan baku dari data Y.

4. Menghitung nilai RAPS (Sk^{**})

$$Sk^{**} = \frac{Sk^*}{D_y} \quad (2.27)$$

Keterangan:

Sk^{**} = *Rescaled Adjusted Partial Sums*.

5. Menghitung nilai statistik Q dan R

$$Q = |Sk^{**}| \text{ maksimum} \quad (2.28)$$

$$R = |Sk^{**}| \text{ maksimum} - |Sk^{**}| \text{ minimum} \quad (2.29)$$

6. Selanjutnya membandingkan nilai Q_{hitung} dan R_{hitung} dengan Q_{kritis} dan R_{kritis} sebagaimana ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.11 Nilai Kritis Parameter Statistik Q dan R

JumlahData (n)	Q $\frac{Q}{\sqrt{n}}$			R $\frac{R}{\sqrt{n}}$		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1,05	1,14	1,29	1,21	1,28	1,38
20	1,10	1,22	1,42	1,34	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
>100	1,22	1,36	1,63	1,62	1,75	2,00

Sumber: Sri Harto dalam Nurdiansyah, 2022.

2.3.6 Uji Homogenitas Data

Varian (ragam) dari suatu data deret berkala (*time series*) perlu diuji kestabilannya. Uji kesamaan dua varian digunakan untuk menentukan apakah distribusi data tersebut homogen atau tidak, dengan cara membandingkan variannya. Jika dua kelompok data atau lebih memiliki varian yang sama, maka tidak perlu melakukan uji homogenitas dan data dianggap homogen. Uji homogenitas dapat dilakukan jika kelompok data tersebut memiliki distribusi normal. Jika data stabil, maka data tersebut dianggap homogen dan analisis hidrologi lanjutan dapat dilakukan. Sesuai dengan Prosedur dan Instruksi Kerja Validasi Data Hidrologi, pengujian untuk menguji kehomogenitasan suatu data ialah dengan uji konsistensi varian (uji-F), uji konsistensi rata-rata (uji-T), dan uji kesamaan jenis (uji-Z).

2.3.6.1 Uji-F

Uji-F merupakan cara untuk mengecek kestabilan varian. Uji ini dilakukan dengan membagi data menjadi dua kelompok, lalu hitung rata-rata dan standar deviasi masing-masing kelompok data. Lalu hitung nilai F dengan rumus berikut:

$$F_{\text{hit}} = \frac{\{N_1 \times (S_1^2) \times (N_2 - 1)\}}{\{N_2 \times (S_2^2) \times (N_1 - 1)\}} \quad (2.30)$$

Penerimaan atau penolakan hipotesis dilakukan dengan kriteria sebagai berikut:

1. Bila nilai signifikan $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$ maka H_0 ditolak, dan H_a artinya data dalam kondisi varian tidak stabil.
2. Bila nilai signifikan $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$ maka H_0 diterima, dan H_a artinya data dalam kondisi varian stabil.

2.3.6.2 Uji-T

Uji-T dilakukan untuk mengetahui kestabilan rata-rata dari suatu data deret berkala. Prosedur untuk melakukan uji-T tidak jauh berbeda dengan uji-F yaitu dengan membagi data menjadi dua kelompok, menghitung rata-rata dan standar deviasi untuk masing-masing kelompok lalu menghitung nilai σ dan t menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(N_1 - 1)S_1^2 + (N_2 - 1)S_2^2}{N_1 + N_2 - 2}} \quad (2.31)$$

$$t_{\text{hitung}} = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sigma \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} \quad (2.32)$$

Penerimaan atau penolakan hipotesis dilakukan dengan kriteria sebagai berikut:

1. Bila nilai signifikan $t_{\text{hitung}} > t_{\text{tabel}}$ maka H_0 ditolak, dan H_a artinya data dalam kondisi tidak konsisten.
2. Bila nilai signifikan $t_{\text{hitung}} < t_{\text{tabel}}$ maka H_0 diterima, dan H_a artinya data dalam kondisi konsisten.

2.3.6.3 Uji-Z

Langkah awal dalam pengujian ialah dengan membagi data menjadi dua lalu data tersebut diurutkan dari data terbesar ke terkecil, selanjutnya memberikan peringkat besaran data dan dilakukan perhitungan nilai U_1 , U_2 , dan nilai Z menggunakan rumus yang ada pada buku Rekayasa Hidrologi (Limantara, 2018) yaitu sebagai berikut:

$$U_1 = N_1 N_2 + \frac{N_1}{2} (N_1 + 1) - R_m \quad (2.33)$$

$$U_2 = N_1 N_2 - U_1 \quad (2.34)$$

$$Z_{\text{hitung}} = \frac{\frac{U - (N_1 N_2)}{2}}{\sqrt{\frac{1}{2} + \{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)\}}} \quad (2.35)$$

Penerimaan atau penolakan hipotesis dilakukan dengan kriteria sebagai berikut:

1. Bila nilai signifikan $Z_{\text{hitung}} > Z_{\text{tabel}}$ maka H_0 ditolak, dan H_a artinya data dalam kondisi tidak konsisten (berasal dari jenis yang berbeda).
2. Bila nilai signifikan $Z_{\text{hitung}} < Z_{\text{tabel}}$ maka H_0 diterima, dan H_a artinya data dalam kondisi konsisten (berasal dari jenis yang sama).

2.3.7 Uji Ketiadaan *Trend*

Uji ini dilakukan untuk mengetahui ada tidak adanya *trend* atau variasi dalam data. *Trend* dapat dijelaskan sebagai korelasi antara waktu dengan varian dari suatu variabel hidrologi. Jika terdapat *trend*, analisis data tidak disarankan. Data yang digunakan dalam pengujian harus menghasilkan data yang homogen, artinya data tersebut harus berasal dari jenis populasi yang sama. Dalam penelitian ini dilakukan Uji Peringkat Korelasi Spearman. Ada tidaknya *trend* pada suatu data deret berkala didasarkan pada koefisien korelasinya, salah satu caranya yaitu dengan korelasi peringkat dengan metode korelasi Spearman. Tahapan yang dilakukan pada pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan taraf signifikansi.
2. Uji statistik.

$$KP = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (dt)^2}{n^3 - n} \quad (2.36)$$

$$t = KP \left[\frac{n - 2}{1 - KP^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.37)$$

Keterangan:

- KP = Koefisien korelasi peringkat *Spearman*.
- n = Jumlah data.
- dt = Selisih R_t dengan T_t .
- T_t = Peringkat dari waktu.
- R_t = Peringkat dari variabel hidrologi dalam data deret berkala.
- t = Nilai hitung uji t.

3. Menentukan nilai t kritis yang diperoleh dari tabel uji t dengan taraf signifikansi tertentu. Pengujian dilakukan pada dua sisi.
4. Pengambilan keputusan
Apabila $t_{hitung} > t_{-\alpha}$ atau $t_{hitung} < t_{+\alpha}$, maka H_0 diterima.

Apabila $t_{hitung} < t_{-\alpha}$ atau $t_{hitung} > t_{+\alpha}$, maka H_0 diterima

2.4 Kebutuhan Air (*Outflow*)

Kebutuhan air yaitu banyaknya air yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan air dalam kegiatan sehari-hari. Sumber air bersih untuk kebutuhan hidup sehari-hari secara umum harus memenuhi standar kuantitas dan kualitas.

2.4.1 Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi adalah jumlah total air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan penguapan, kehilangan air, dan kebutuhan air tanaman, dengan memperhitungkan jumlah air yang disediakan oleh alam melalui curah hujan dan kontribusi air. Kebutuhan Air Irigasi (KAI) dapat dihitung dengan persamaan:

$$KAI = \frac{(Etc + IR + WLR + P - Re)}{EI} \times A \quad (2.38)$$

Keterangan:

- KAI = Kebutuhan air irigasi di sawah (lt/s).
- IR = Kebutuhan air untuk penyiapan lahan (mm/hari).
- Etc = Kebutuhan air konsumtif (mm/hari).
- WLR = Kebutuhan air untuk mengganti lapisan air (mm/hari).
- P = Perkolasi (mm/hari).
- Re = Hujan efektif (mm/hari).
- EI = Efisiensi irigasi (%).
- A = Luas areal irigasi (ha).

Kebutuhan air irigasi secara keseluruhan perlu diketahui karena merupakan salah satu tahap penting yang diperlukan dalam perencanaan dan pengelolaan sistem irigasi. Kebutuhan air sawah untuk padi ditentukan oleh faktor-faktor seperti penyiapan lahan, penggunaan konsumtif, perkolasi dan rembesan, penggantian lapisan air serta curah hujan efektif.

Perhitungan kebutuhan air irigasi padi didasarkan pada Kriteria Perencanaan Sistem Irigasi (KP-01) yang mengacu pada ketetapan Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2013. Perkiraan banyaknya air untuk irigasi didasarkan pada faktor-faktor seperti penyiapan lahan, penggunaan konsumtif, perkolasi dan rembesan, penggantian lapisan air serta curah hujan efektif (Kementerian PUPR, 2013).

2.4.1.1 Kebutuhan Air dan Persiapan Lahan

Kebutuhan air untuk persiapan lahan merupakan sejumlah air yang dibutuhkan selama tahap persiapan lahan sebelum nantinya akan ditanami tanaman. Menurut Triatmodjo (2008), besarnya air yang dibutuhkan untuk persiapan lahan dipengaruhi oleh waktu (T) dan lapisan air (S) yang diperlukan. Menurut Direktorat Jenderal Sumber Daya Air (1986), jangka waktu untuk persiapan lahan adalah 1,5 bulan, jika menggunakan bantuan mesin maka waktu satu bulan bisa diperhitungkan. Tebal lapisan air yang diperlukan digunakan 200 mm. Digunakan metode yang dikembangkan oleh Van de Goor dan Zijlstra (1968). Metode tersebut didasarkan pada laju air konstan dalam liter/detik selama periode penyiapan lahan dan menghasilkan rumus berikut:

$$IR = \frac{M e^k}{e^k - 1} \quad (2.39)$$

$$M = E_0 + P \quad (2.40)$$

$$K = \frac{M \cdot T}{S} \quad (2.41)$$

Keterangan:

- IR = Kebutuhan air selama penyiapan lahan (mm/hari).
M = Kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air akibat evaporasi dan perkolasi di sawah yang sudah dijenuhkan.
E₀ = Evaporasi air terbuka yang diambil (1,1 ET₀) selama penyiapan lahan (mm/hari).
P = Perkolasi (mm/hari).
T = Jangka waktu penyiapan lahan (hari).

S = Kebutuhan air untuk penjemuran ditambah dengan lapisan air 50 mm.

e = Bilangan euler/natural/napier (=2,718).

Kriteria Perencanaan Irigasi 01 memberikan pedoman untuk besaran kebutuhan air irigasi selama masa penyiapan lahan. Berikut tabel pedoman yang diberikan selama masa penyiapan lahan.

Tabel 2.12 Kebutuhan Air Irigasi Selama Penyiapan Lahan

M = Eo + P mm/hari	T = 30 hari		T = 45 hari	
	S = 250 mm	S = 300 mm	S = 250 mm	S = 300 mm
5,00	11,10	12,70	8,40	9,50
5,50	11,40	13,00	8,80	9,80
6,00	11,70	13,30	9,10	10,10
6,50	12,00	13,60	9,40	10,40
7,00	12,30	13,90	9,80	10,80
7,50	12,60	14,20	10,10	11,10
8,00	13,00	14,50	10,50	11,40
8,50	13,30	14,80	10,80	11,80
9,00	13,60	15,20	11,20	12,10
9,50	14,00	15,50	11,60	12,50
10,00	14,30	15,80	12,00	12,90
10,50	14,70	16,20	12,40	13,20
11,00	15,00	16,50	12,80	13,60

Sumber: KP-01, 2013.

2.4.1.2 Penggunaan Konsumtif

Penggunaan air konsumtif tanaman merupakan besar kebutuhan air yang hilang akibat evapotranspirasi untuk tanaman. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung penggunaan air konsumtif tanaman:

$$E_{tc} = K_c \times E_{to} \quad (2.42)$$

Keterangan:

Etc = Kebutuhan air tanaman (mm/hari).

Kc = Keofisien tanaman.

Eto = Evapotranspirasi (mm/hari).

Pemberian air untuk tanaman juga tergantung pada varietas yang digunakan untuk menanam selama masa tanam. Penetapan pola tanam merupakan kegiatan mengendalikan jenis varietas dan umur pertumbuhan tanaman. Pengaruh dari penetapan pola tanam adalah koefisien tanaman, yang nantinya akan digunakan untuk menghitung kebutuhan air tanaman.

2.4.1.3 Perkolasi

Perkolasi adalah pergerakan air ke bawah dari zona tak jenuh, yang tertekan di antara permukaan tanah sampai ke permukaan air tanah (zona jenuh). Daya perkolasi (P) adalah laju perkolasi maksimum yang dimungkinkan, yang kadarnya dipengaruhi oleh kondisi tanah dalam zona tak jenuh yang terletak antara permukaan tanah dan muka air tanah. Pada tanah lempung berat dengan karakteristik pengolahan yang baik, laju perkolasi dapat mencapai 1 – 3 mm/hari, sedangkan pada tanah yang lebih ringan, laju perkolasi bisa lebih tinggi.

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah pertanian dan penyelidikan kelulusan, besarnya laju perkolasi serta tingkat kecocokan tanah untuk pengolahan tanah dapat ditetapkan dan dianjurkan pemakaiannya. Menentukan laju perkolasi, tinggi muka air tanah juga harus diperhitungkan. Perembesan terjadi akibat meresapnya air melalui tanggul sawah. Daerah miring perembesan dari sawah ke sawah dapat mengakibatkan banyak kehilangan air, sedangkan pada daerah dengan kemiringan diatas 5%, paling tidak akan terjadi kehilangan 5 mm/hari akibat perkolasi dan rembesan.

Tabel 2.13 Harga Perkolasi dari Berbagai Jenis Tanah

No.	Macam Tanah	Perkolasi (mm/hari)
1	<i>Sandy Loam</i>	3 – 6
2	<i>Loam</i>	2 – 3
3	<i>Clay</i>	1 - 2

Sumber: Soemarto dalam Priyonugroho, 2014.

2.4.1.4 Pergantian Lapisan Air

Penggantian lapisan air diperlukan untuk mengurangi efek reduksi pada tanah dan pertumbuhan tanaman. Berdasarkan KP-01, besarnya kebutuhan air untuk pergantian lapisan air adalah 50 mm/bulan (atau 3,3 mm/hari selama ½ bulan) selama sebulan dan dua bulan setelah transplantasi.

2.4.1.5 Curah Hujan Efektif

Kebutuhan air irigasi dihitung berdasarkan curah hujan efektifnya. Curah hujan efektif atau curah hujan andalan adalah besaran curah hujan yang langsung dimanfaatkan tanaman pada masa pertumbuhannya (Hidayat & Empung, 2016). Curah hujan efektif adalah jumlah curah hujan yang jatuh di suatu daerah dan tersedia bagi tanaman untuk pertumbuhan guna memenuhi kehilangan air akibat evapotranspirasi tanaman, perkolasi, dan lain-lain (Elsaputra, 2018). Jumlah hujan yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman tergantung pada jenis tanaman. Curah hujan yang turun tidak semuanya dapat digunakan untuk tanaman dalam pertumbuhannya, maka perlu dicari curah hujan efektifnya.

Elsaputra (2018) menyatakan bahwa curah hujan efektif (R_{eff}) ditentukan berdasarkan besarnya R_{80} yang merupakan curah hujan yang besarnya dapat dilampaui sebanyak 80% artinya terlampaui sebanyak 8 (delapan) kali dari 10 (sepuluh) kali kejadian. Dengan kata lain, bahwa besarnya curah hujan yang terjadi lebih kecil dari R_{80} mempunyai kemungkinan hanya 20%. Menghitung besarnya curah hujan efektif berdasarkan R_{80} , dinyatakan dengan rumus sebagai berikut (Nuramini, 2017):

$$R_{80} = \left(\frac{n}{5}\right) + 1 \quad (2.43)$$

Keterangan:

$R_{\text{eff}} = R_{80}$ = Curah hujan efektif 80% (mm/hari).

$\left(\frac{n}{5}\right) + 1$ = Ranking curah hujan efektif dihitung dari curah hujan terkecil.

n = Jumlah data.

2.4.1.5.1 Curah Hujan Efektif Tanaman Padi

Curah hujan efektif untuk padi adalah 70% dari curah hujan tengah bulanan yang terlampaui 80% dari waktu dalam periode tersebut yang dapat dihitung melalui simulasi dengan menggunakan data curah hujan harian sekurang-kurangnya 10 tahun. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk perhitungan:

$$Re_{\text{padi}} = 0,7 \times R_{80} \quad (2.44)$$

Keterangan:

Re_{padi} = Curah hujan efektif tanaman padi (mm/hari).

2.4.1.5.2 Curah Hujan Efektif Tanaman Palawija

Curah hujan efektif palawija berbeda dengan padi mengingat kebutuhan air untuk tanaman palawija tidak sebanyak padi. Besarnya curah hujan efektif untuk palawija diambil 50% dari nilai probabilitas R_{80} . Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk perhitungan:

$$Re_{\text{pal}} = 0,5 \times R_{80} \quad (2.45)$$

Keterangan:

Re_{pal} = Curah hujan efektif palawija (mm/hari).

Tabel 2.14 Curah Hujan Efektif Rata-rata Bulanan Dikaitkan dengan Eto Tanaman Rata-rata Bulanan dan Curah Hujan Rata-rata Bulanan (USDA (SCS), 1969)

CH (mm)	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5	100	112,5	125	137,5	150	162,5	175	187,5	200
ETo																
25	8	16	24													
50	8	17	25	32	39	46										
75	9	18	27	34	41	48	56	62	69							
100	9	19	28	35	43	52	59	66	73	80	87	94	100			
125	10	20	30	37	46	54	62	70	76	85	92	98	107	116	120	
150	10	21	31	39	49	57	66	74	81	89	97	104	112	119	127	133

CH (mm)	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5	100	112,5	125	137,5	150	162,5	175	187,5	200
ETo																
175	11	2	32	42	52	61	69	78	86	95	103	111	118	126	134	141
200	11	24	33	22	54	64	73	82	91	100	109	117	125	134	142	150
225	12	25	35	47	57	68	78	87	96	106	115	124	132	141	150	159
250	13	25	38	50	61	72	84	92	100	112	121	132	140	150	158	167

Sumber: KP-01, 2013.

Tabel 2.15 Air Tanah yang Tersedia Bagi Tanaman Ladang untuk Berbagai Jenis Tanah

Tanaman	Dalamnya Akar (m)	Fraksi Air yang Tersedia	Air Tanah Tersedia yang Siap Pakai (mm)		
			Halus	Sedang	Kasar
Kedelai	0,60 – 1,30	0,50	100	75	35
Jagung	1,00 – 1,70	0,60	120	80	40
Kacang Tanah	0,50 – 1,00	0,40	80	55	25
Bawang	0,30 – 0,50	0,25	50	35	15
Buncis	0,50 – 0,70	0,45	90	65	30
Kapas	1,00 – 1,70	0,65	130	90	40
Tebu	1,20 – 2,00	0,65	130	90	40

Sumber: KP-01, 2013.

2.4.1.6 Koefisien Tanaman

Umur dan jenis tanaman berpengaruh pada besarnya nilai koefisien tanaman. Faktor koefisien tanaman digunakan untuk mencari besarnya air yang habis terpakai untuk tanaman pada masa pertumbuhannya. Koefisien tanaman (Kc) untuk tanaman padi dan palawija dapat diperoleh dari tabel Kriteria Perencanaan Irigasi KP-01.

Tabel 2.16 Koefisien Tanaman (Kc) untuk Tanaman Padi

Bulan	<i>Nedeco/Prosida</i>		FAO	
	Varietas Biasa	Varietas Unggul	Varietas Biasa	Varietas Unggul
0,50	1,20	1,20	1,10	1,10
1,00	1,20	1,27	1,10	1,10
1,50	1,32	1,33	1,10	1,05

Bulan	Nedeco/Prosida		FAO	
	Varietas Biasa	Varietas Unggul	Varietas Biasa	Varietas Unggul
2,00	1,40	1,30	1,10	1,05
2,50	1,35	1,30	1,10	0,95
3,00	1,24	0,00	1,05	0,00
3,50	1,12		0,95	
4,00	0,00		0,00	

Sumber: KP-01, 2013.

Tabel 2.17 Koefisien Tanaman (Kc) untuk Tanaman Palawija

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

Sumber: KP-01,2013.

*untuk sisanya kurang dari setengah bulan.

2.4.1.7 Efisiensi Irigasi

Kementerian PUPR (2013) menjelaskan bahwa efisiensi irigasi adalah perbandingan antara air yang digunakan dengan air yang dikeluarkan dan

biasanya dinyatakan dalam satuan (%). Efisiensi irigasi meliputi efisiensi pengaliran yang biasanya terjadi di jaringan primer dan efisiensi di jaringan sekunder. Efisiensi irigasi didasarkan pada asumsi bahwa air yang diambil dari sumber tidak sepenuhnya dimanfaatkan di sawah karena terjadi kehilangan air akibat penguapan, eksploitasi, dan rembesan. Secara umum, kehilangan air akibat penguapan dan rembesan lebih kecil dibandingkan dengan eksploitasi, sehingga jumlah air yang diambil dari sumber harus lebih besar daripada jumlah air yang dibutuhkan di petak sawah. Menurut Direktorat Jenderal Sumber Daya Air (1986), nilai efisiensi irigasi adalah 0,65-0,79 di mana kehilangan air yang terjadi di saluran primer dan sekunder adalah 5-10% serta di saluran tersier adalah 12,5-20%.

$$EI = \frac{\text{Jumlah air yang digunakan}}{\text{Jumlah air yang diberikan}} \times 100\% \quad (2.46)$$

Tabel 2.18 Efisiensi Irigasi untuk Tanaman Ladang

Saluran	Efisiensi	Efisiensi Total
Saluran Tersier 0,80	0,80	0,80
Saluran Sekunder 0,90	0,80 x 0,90	0,72
Saluran Primer 0,90a	0,80 x 0,90 x 0,90	0,65

Sumber: KP-01, 2013.

2.4.1.8 Areal Tanam

Lahan yang berperan sebagai daerah aliran sungai untuk sistem irigasi. Variasi luas tanaman di area irigasi dengan sistem yang sesuai akan memengaruhi kebutuhan air yang diperlukan.

2.4.1.9 Pola Tanam

Pola tanam dapat didefinisikan sebagai pengaturan jenis tanaman atau urutan jenis tanaman yang diusahakan pada sebidang lahan dalam kurun waktu tertentu (biasanya satu tahun). Pentingnya memperhatikan jenis tanaman, lahan, dan periode waktu tertentu dalam pola tanam. Rencana pola dan tata tanam bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dan meningkatkan intensitas luas tanam. Penentuan pola tanam perlu dipertimbangkan dalam

memenuhi kebutuhan air bagi tanaman. Berikut merupakan contoh pola tanam yang dapat dipakai.

Tabel 2.19 Pola Tanam

Ketersediaan Air untuk Jaringan Irigasi	Pola Tanam dalam Satu Tahun
Tersedia air cukup banyak	Padi - Padi - Palawija
Tersedia air dalam jumlah cukup	Padi - Padi - Bera
	Padi - Padi - Palawija
Daerah yang cenderung kekurangan air	Padi - Palawija - Bera
	Palawija - Padi - Bera

Sumber: KP-01, 2013.

Pertimbangan harus diberikan dalam menentukan pola tanam untuk memenuhi kebutuhan air tanaman. Tujuan membuat rencana penanaman adalah untuk menyusun pola penggunaan air irigasi yang tersedia untuk mencapai hasil penanaman yang maksimal di lahan pertanian.

2.4.1.10 Jadwal Tanam

Penjadwalan tanam ini bertujuan untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi penggunaan air, termasuk pemanfaatan air hujan secara optimal. Pengaturan jadwal didasarkan pada pelaksanaan pola tanam dan dapat disesuaikan untuk mengurangi kebutuhan air irigasi.

2.4.1.11 Kebutuhan Air di Sawah untuk Tanaman Padi

Kebutuhan air untuk padi tentunya akan berbeda dengan palawija. Berikut merupakan persamaan yang dipakai untuk perhitungan kebutuhan air sawah untuk padi:

$$\text{NFR} = \text{ETc} + \text{P} + \text{WLR} - \text{Re} \quad (2.47)$$

Keterangan:

NFR = *Netto Field Requirement*, kebutuhan bersih air di sawah (mm/hari).

ETc = Evapotranspirasi tanaman (mm/hari).

P = Perkolasi (mm/hari).

WLR = *Water Layer Requirement*, penggantian lapisan air (mm/hari).

Re = Curah hujan efektif (mm/hari).

2.4.1.12 Kebutuhan Air Irigasi untuk Tanaman Palawija

Mengingat jumlah kebutuhan air untuk tanaman palawija tidak sebanyak tanaman padi, maka perhitungan yang sangat berbeda untuk tanaman palawija dibandingkan dengan tanaman padi. Berikut merupakan persamaan yang dipakai untuk perhitungan kebutuhan air irigasi untuk tanaman palawija:

$$\text{NFR} = \text{ETc} + \text{P} - \text{Re} \quad (2.48)$$

Keterangan:

NFR = *Netto Field Requirement*, kebutuhan bersih air di sawah (mm/hari).

ETc = Evapotranspirasi tanaman (mm/hari).

P = Perkolasi (mm/hari).

Re = Curah hujan efektif (mm/hari).

2.4.1.13 Kebutuhan Air di Pintu Pengambilan (*Intake*)

Kebutuhan air pada pintu pengambilan dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{DR} = \frac{\text{NFR}}{8,64 \text{ EI}} \quad (2.49)$$

Keterangan:

DR = Kebutuhan air di *intake* (lt/detik/ha).

NFR = *Netto Field Requirement*, kebutuhan bersih air di sawah (mm/hari).

EI = Efisiensi irigasi.

2.4.1.14 Faktor K

Nilai faktor k dapat disimulasikan dengan simulasi kebutuhan air irigasi karena nilai ini sangat tergantung pada nilai kebutuhan air irigasi sedangkan nilai ketersediaan air bersifat “*given*”. Secara umum persamaan faktor k untuk tingkat *intake* sebagai berikut:

$$\text{Faktor k} = \frac{\text{Debit Andalan}}{\text{Debit Kebutuhan Irigasi}} \quad (2.50)$$

Faktor k adalah rasio antara ketersediaan air dengan kebutuhan air irigasi pada titik atau daerah yang ditinjau. Faktor k menggambarkan tingkat keberhasilan pemberian air irigasi terhadap neraca ketersediaan air. Nilai faktor k yang diizinkan dan dikatakan optimal adalah faktor $k > 0,7$, artinya memiliki kondisi optimum dan tidak perlu adanya optimalisasi pada daerah irigasi. Berdasarkan nilai faktor k, berikut merupakan nilai faktor k dalam beberapa kondisi:

1. Harga faktor $k > 1,0$

Air yang ada di bangunan utama mampu mencukupi seluruh areal sawah setiap waktu dan air dapat dialirkan secara terus menerus.

2. Harga faktor $0,7 < k < 1,0$

Aliran air pada kondisi ini dapat dipertahankan secara terus menerus, namun pemberian air harus disesuaikan sebanding dengan faktor k. Pengurangan sampai dengan 30% atau $k = 0,7$ masih memungkinkan tanaman bertahan hidup, namun debit pada setiap pintu bangunan bagi atau sadap dikurangi sesuai dengan nilai faktor k tersebut.

3. Harga faktor $0,5 < k < 0,7$

Apabila hal ini terjadi, air yang tersedia tidak mencukupi. Tindakan yang bisa dilakukan dengan pemberian air secara bergilir.

4. Harga faktor $k < 0,5$

Pertumbuhan tanaman pada kondisi ini akan mengalami kesulitan sehingga perlunya tindakan pengoptimalisasian.

2.5 Keseimbangan Air

Analisis keseimbangan air melibatkan perhitungan kebutuhan air dan ketersediaan air. Perhitungan neraca air digunakan untuk mengevaluasi apakah ketersediaan air mencukupi untuk memenuhi kebutuhan irigasi. Hasil dari analisis ini akan memiliki dampak signifikan pada perencanaan pola operasional. Perhitungan ini dilakukan berdasarkan periode mingguan atau pertengahan bulanan. Perhitungan neraca air memiliki tiga unsur pokok, yaitu:

1. Ketersediaan air.
2. Kebutuhan air.
3. Neraca Air.

Perhitungan neraca air sudah dilakukan pada tahap desain, tetapi pada tahap operasi, ketersediaan dan kebutuhan air akan selalu berubah sehingga pada tahap operasi perlu dilakukan lagi perhitungan neraca air.

Kebutuhan pengambilan yang dihasilkan untuk tata tanam atau pola tanam yang akan dipakai dibandingkan dengan debit andalan untuk tiap setengah bulan dan luas daerah akan diiri. Apabila debit sungai melimpah, maka rencana tata tanam (khususnya luas tanam dan pola tanam) yang direncanakan dapat digunakan. Luas areal yang bisa diiri sama dengan luas maksimum daerah layanan (*command area*). Bila debit sungai tidak berlimpah dan kadang-kadang terjadi kekurangan air, maka perlu disiapkan rencana upaya mengurangi kesenjangan antara ketersediaan dengan kebutuhan air.