

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Waduk

Waduk merupakan danau alam atau danau buatan, kolam penyimpanan atau pembendungan sungai yang berfungsi untuk menyimpan kelebihan air di musim penghujan dan mengalirkan air di musim kemarau saat diperlukan. Waduk dapat dimanfaatkan untuk mengairi jaringan irigasi ketika jaringan irigasi mengalami kekurangan air pada musim kemarau, proyek PLTA yang membutuhkan debit air yang selalu terpenuhi sepanjang tahun, serta kebutuhan air baku bagi penduduk yang memiliki kebutuhan mencapai puncak pada pagi hari (Fachrurrozi, 2017).

Berdasarkan kegunaan-kegunaan tersebut maka potensi waduk dalam menampung air (kapasitas waduk, *storage capacity*) dapat dibedakan menjadi tiga bagian (*zone*), yaitu (Nuramini, 2017) :

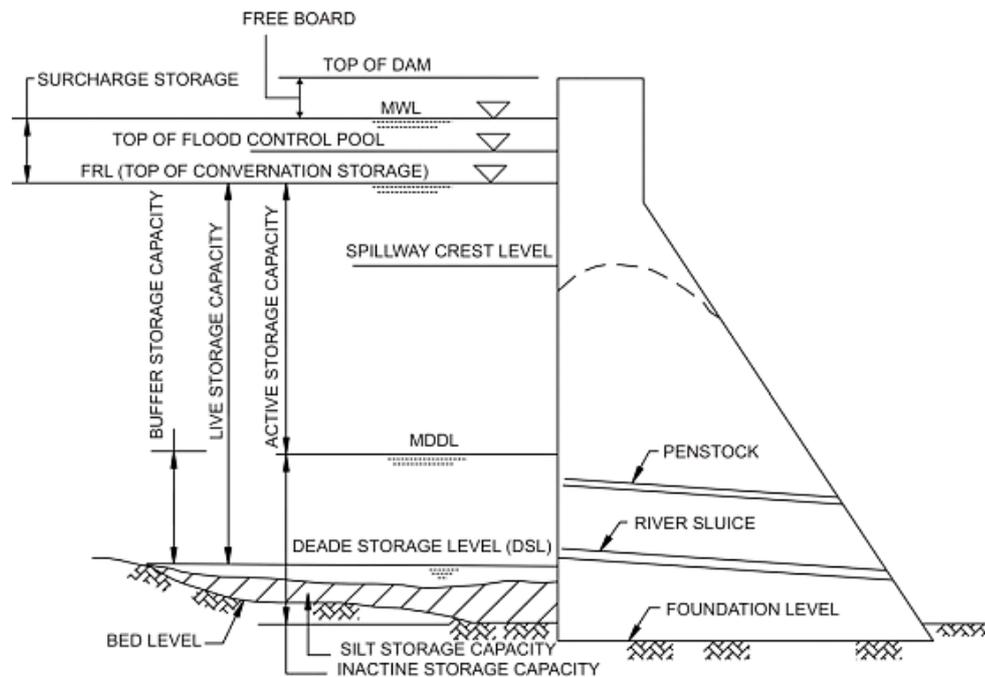
1. Kapasitas mati (*dead storage zone*) dipergunakan untuk pengumpulan sedimen.
2. Kapasitas efektif (*effective/usefull storage*) merupakan kapasitas yang dipergunakan untuk konservasi sumber air (penyediaan air baku, irigasi, dll), sehingga setiap pemanfaatan waduk dalam konservasi waduk dapat memenuhi kapasitas efektif waduk.
3. Kapasitas penahan banjir (*flood control*) merupakan kapasitas waduk yang bertujuan untuk menahan kelebihan air guna mengurangi potensi kerusakan akibat banjir.

Berdasarkan fungsinya, waduk diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu:

1. Waduk eka guna (*single purpose*). Waduk eka guna adalah waduk yang dioperasikan untuk memenuhi satu kebutuhan saja, misalnya untuk kebutuhan air irigasi, air baku atau PLTA saja. Pengoperasian waduk eka guna lebih mudah dibandingkan dengan waduk multi guna dikarenakan tidak adanya konflik kepentingan di dalam. Pada waduk eka guna pengoperasian yang dilakukan mempertimbangkan pemenuhan satu kebutuhan.

- Waduk multi guna (*multi purpose*). Waduk multi guna adalah waduk yang berfungsi untuk memenuhi berbagai kebutuhan, misalnya waduk untuk memenuhi kebutuhan air, irigasi, air baku dan PLTA. Kombinasi dari berbagai kebutuhan ini dimaksudkan untuk dapat mengoptimalkan fungsi waduk dan meningkatkan kelayakan pembangunan suatu waduk.

Kapasitas Waduk adalah jumlah daya tampung waduk sampai ke elevasi muka air normal atau elevasi operasi normal (Departemen Pekerjaan Umum, 2004). Kapasitas tampungan dalam waduk dibagi menjadi tiga atau empat bagian yang dibedakan oleh beberapa elevasi. Berikut diagram zona tampungan pada waduk (IIT Kharagpur, 2013).



Gambar 2.1 Diagram Zona Tampungan

2.2 Ketersediaan Air (*Inflow*)

Ketersediaan air adalah jumlah air (debit) yang diperkirakan terus-menerus ada di suatu lokasi (bendung atau bangunan air lainnya) disungai dengan jumlah tertentu dan dalam jangka waktu (periode) tertentu (Anonim, 1986).

Berdasarkan pernyataan tersebut maka tahun basah adalah tahun pada saat debit lebih besar dari 115%, tahun kering adalah tahun pada saat debit kurang dari 85% dan debit rata-rata tahun normal berkisar pada kisaran 100% (Kementerian PUPR, 2017).

Berdasarkan Modul Pola Operasi Waduk (Kementerian PUPR, 2017) untuk menetapkan pola operasi waduk didasarkan pada debit dengan tingkat keandalan tertentu. Bila debit rata-rata tahun normal yang berkisar 100% maka, tahun basah (35%), tahun normal 50%, dan tahun kering 65%. Data besarnya debit air yang masuk (*inflow*) ke waduk dapat diperoleh melalui dua cara yaitu pencatatan debit dan transformasi data curah hujan. Panjang data debit yang digunakan minimal merupakan data sepuluh (10) tahun terakhir :

1. Pencatatan Debit

Metode ini untuk waduk yang telah beroperasi lama. Debit lokal adalah debit tambahan yang dapat dimanfaatkan atau diperhitungkan untuk memenuhi kebutuhan air yang tidak langsung masuk ke waduk. Debit lokal ini perlu dipertimbangkan sebagai bagian ketersediaan air selain yang dikeluarkan waduk.

2. Transformasi dari Data Curah Hujan

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk mentransformasi data curah hujan menjadi data aliran. Model hidrologi yang biasa digunakan yaitu Dr. Mock dan NRECA, Model Tank, SSARR, Sacramento, dan Stanford. Pada beberapa metode diperlukan proses kalibrasi untuk mendapatkan hasil keluaran debit. Data yang dibutuhkan untuk kalibrasi yaitu data debit aktual tercatat.

2.2.1 Debit Andalan

Debit andalan adalah besarnya debit yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan air dengan resiko kegagalan yang telah diperhitungkan. Analisis debit andalan bertujuan untuk menentukan debit perencanaan yang diharapkan selalu tersedia di sungai (Soemarto. 1999). Umumnya debit andalan diperhitungkan karena diperlukan pada perencanaan pengembangan air irigasi, air baku dan pembangkit listrik tenaga air, yaitu untuk menentukan persediaan air pada bangunan pengambil (*intake*) (Nuramini, 2017). . Semakin besar angka keandalan maka akan semakin kecil debit yang dihasilkan. Misal ditetapkan debit andalan 80% berarti akan dihadapi resiko adanya debit – debit yang lebih kecil dari debit andalan sebesar 20%. Langkah awal untuk menentukan debit andalan yaitu dengan mengurutkan debit yang ada dari nilai terkecil hingga terbesar. Perhitungan debit

andalan dilakukan dengan metode tahun dasar (*basic year*), yaitu dengan mengambil suatu pola debit dari tahun ke tahun tertentu pada setiap kondisi keandalan debit. Rumus yang digunakan yaitu rumus Weibull (Sosrodarsono, Suyono : 1985 dalam (Nurdiansyah et al., 2022)) :

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

Dimana :

P = Probabilitas (%).

m = Nomor urut data debit.

n = Jumlah data pengamatan debit.

2.2.2 Penetapan Keandalan Debit

Keandalan Debit adalah ketersediaan air di sungai yang melampaui atau sama dengan suatu nilai yang keberadaannya dikaitkan dengan presentase waktu atau kemungkinan terjadi. Data yang diperlukan dalam perhitungan debit andalan adalah data debit bulanan atau harian yang merupakan hasil rekaman pos duga air di lokasi terdekat. Perhitungan debit andalan dimana probabilitasnya digunakan dan disesuaikan untuk perencanaan pola operasi waduk (Kementerian PUPR, 2017).

Keandalan debit air yang masuk ke waduk diklasifikasikan dalam tiga kondisi yaitu, debit minimum sungai yang kemungkinan terpenuhi 20% (kondisi musim basah $Q_{20\%}$), 50% (kondisi normal $Q_{50\%}$), dan 80% (kondisi musim kering $Q_{80\%}$).

2.2.3 Debit Inflow Bangkitan Metode Thomas-Fiering

Pembangkitan data menggunakan metode Thomas Fiering adalah satu diantara banyak model stokastik yang dapat digunakan untuk memecahkan kurang panjangnya suatu data hidrologi. Keunggulan metode Thomas Fiering adalah dapat meramalkan data untuk beberapa tahun ke depan. Rumus yang digunakan dalam metode Thomas Fiering yaitu sebagai berikut (Fachrurrozi, 2017)

$$Q_{i+1j} = Q_j + b_j(Q_{ij-1} - Q_{j-1}) + t_i S_d_j (1 - r_j)^{\frac{1}{2}} \quad (2.2)$$

Dimana :

Q_{i+1} = Debit hasil pembangkitan untuk bulan j dan tahun ke (i+1).

$Q_{i j-1}$ = Debit pada tahun ke I, pada ulan sebelumnya (j-1).

- R_j = Korelasi antara debit bulan sebelumnya (j-1) dan bulan j.
 b_j = Koefisien regresi antara debit bulan j dan j-1.
 t_i = Bilangan random normal.
 S_{dj} = Standar deviasi bulan j.

2.2.4 Uji Validitas Data

Validasi (*validation*) adalah proses evaluasi terhadap model untuk mendapatkan gambaran tentang tingkat ketidakpastian yang dimiliki oleh suatu model dalam memprediksi proses hidrologi. Pada umumnya, validasi dilakukan dengan menggunakan data diluar periode data yang digunakan untuk kalibrasi (Arrokhman et al., 2021).

Kalibrasi debit dilakukan guna mengetahui apakah nilai debit pada debit simulasi telah mendekati kondisi sebenarnya. Data debit dianalisis validasinya dengan data debit AWLR menggunakan metode *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) (Lufi et al., 2020 dalam (Fauziah, 2022)).

2.2.4.1 *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE)

Metode ini menunjukkan seberapa baik plot nilai pengamatan (pengukuran) dibandingkan dengan nilai prediksi-simulasi, dengan rentang nilai hingga 1 (satu). Dengan kata lain, jika nilai mendekati 1, maka NSE semakin baik dengan rumus yang digunakan yaitu (Arrokhman et al., 2021) :

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (P_1 - Q_i)^2}{\sum_{t=1}^N (P_1 - \bar{P}_i)^2} \quad (2.3)$$

Dimana :

- P_1 = Data observasi (data aktual).
 Q_i = Hasil simulasi data.
 \bar{P}_i = Rata-rata data observasi.
 N = Jumlah data.

Tabel 2.1 Interpretasi nilai *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE)

Nilai NSE	Interpretasi
$NSE > 0,75$	Baik
$0,36 < NSE < 0,75$	Memenuhi
$NSE < 0,36$	Tidak Memenuhi

Sumber : (Arrokhman et al., 2021)

2.2.5 Uji Ketiadaan Trend

Uji ketiadaan trend dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui ada tidaknya trend atau variasi dalam data. Apabila ada trend maka data tidak disarankan dalam analisis hidrologi. Data yang baik adalah data yang homogen, artinya data berasal dari populasi yang sejenis.

2.2.5.1 Uji Korelasi Peringkat Metode Spearman

Trend dalam hidrologi dapat diartikan sebagai korelasi antara waktu dengan variasi dari suatu variabel. Uji korelasi peringkat dapat dilakukan dengan menggunakan metode spearman dengan menggunakan persamaan berikut (Soewarno, 1995) :

$$KP = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (dt)^2}{n^3 - n} \quad (2.4)$$

$$t = KP \left[\frac{n - 2}{1 - KP^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.5)$$

Dimana :

KP = n korelasi peringkat dari Spearman.

n = Jumlah data.

dt = $R_t - T_t$.

T_t = Peringkat dari waktu.

R_t = Peringkat variabel hidrologi.

t = Nilai distribusi t, pada derajat kebebasan (n-2) untuk derajat kepercayaan tertentu (umumnya 5%).

Uji-t digunakan untuk menentukan apakah variabel waktu dan variabel hidrologi saling tergantung atau tidak, dalam hal ini yang diuji T_t dan R_t . Untuk mengetahui variabel hidrologi tersebut saling tergantung (*dependent*) atau tidak tergantung (*independent*) digunakan Uji-t. Dengan hipotesa sebagai berikut :

- Hipotesa diterima jika nilai $t < t_c$, tidak ada trend (R_t dan T_t *independent*, tidak saling tergantung).
- Hipotesa ditolak jika $t > t_c$, ada trend.

2.2.6 Uji Homogenitas Data

Uji homogenitas digunakan untuk mengetahui beberapa varian populasi adalah sama atau tidak. Pengujian ini dilakukan sebagai prasyarat dalam analisis

independent sample t test dan Anova. Uji kesamaan dua varian digunakan untuk menguji apakah sebaran data tersebut homogen atau tidak, yaitu dengan membandingkan kedua variannya. Jika dua kelompok data atau lebih mempunyai varian yang sama besarnya, maka uji homogenitas tidak perlu dilakukan, maka data sudah dianggap homogen. Uji homogenitas dapat dilakukan apabila kelompok data tersebut dalam distribusi normal (Usmandi, 2020).

2.2.6.1 Uji T

Dalam (Fauziah, 2022) menjelaskan bahwa uji statistik t menunjukkan seberapa jauh pengaruh satu variabel independen secara individual dalam menerangkan variasi variabel dependen. Penerimaan atau penolakan hipotesis dilakukan dengan kriteria sebagai berikut :

1. Bila nilai signifikan $t_{hitung} > t_{tabel}$ maka H_0 ditolak, artinya terdapat pengaruh yang signifikan antara satu variabel independen terhadap variabel dependen.
2. Bila nilai signifikan $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka H_0 diterima, artinya tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara satu variabel independen terhadap variabel dependen.

2.2.6.2 Uji F

Salah satu teknik pengujian statistika yang terkenal adalah uji koefisien regresi secara adalah uji koefisien regresi secara simultan serentak atau yang lebih akrab disapa dengan uji F. Uji F biasa digunakan untuk membandingkan dua atau lebih perlakuan data, yang masing-masing perlakuannya dilakukan ulangan. Uji F digunakan untuk menguji keberartian model regresi yang digunakan. Penerimaan atau penolakan hipotesis dilakukan dengan kriteria sebagai berikut (Fauziah, 2022) :

1. Bila nilai signifikan $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_0 ditolak, dan H_a artinya semua variabel bebas adalah penjelas yang signifikan terhadap variabel terkait.
2. Bila nilai signifikan $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 diterima, dan H_a artinya semua bukan variabel bebas adalah penjelas yang signifikan terhadap variabel terkait.

2.3 Kebutuhan Air (*Outflow*)

Perhitungan debit keluar dihitung berdasarkan kebutuhan air sesuai oleh fungsi dari waduk tersebut. Untuk waduk yang mempunyai manfaat tunggal,

keluaran air waduk dihitung hanya untuk pemenuhan suatu kebutuhan saja namun pada waduk yang dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan, keluaran dari waduk merupakan total dari seluruh kebutuhan seperti untuk irigasi, PLTA, air baku, dan perikanan (Kementerian PUPR, 2017).

2.3.1 Kebutuhan PLTA

Suatu pembangkit listrik tenaga hidro dapat difungsikan untuk mengubah potensi tenaga air (energi potensial dan energi kinetik) menjadi energi listrik (hidroelektrik). Besarnya energi yang dihasilkan bergantung pada debit yang tersedia dan ketinggian jatuh air (*head*) (Nuramini, 2017).

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan salah satu sumber energi listrik yang bekerja dengan cara merubah energi potensial (bisa berasal dari *dam* atau air terjun) menjadi energi mekanik (dengan bantuan turbin air) dan dari energi mekanik menjadi energi listrik (dengan bantuan generator). Daya listrik bisa didapat dengan menggunakan persamaan :

$$P = \rho \times g \times H_{\text{eff}} \times Q \times \eta \quad (2.6)$$

Keterangan :

- P = Daya listrik (KW).
 ρ = Massa jenis air (kg/m³).
 g = Percepatan gravitasi (m/detik²).
 H_{eff} = Tinggi jatuh efektif (m).
 Q = Debit (m³/detik).
 η = Efisiensi turbin.

Energi listrik dapat dirumuskan :

$$E = P \times t \quad (2.7)$$

Keterangan :

- E = Energi listrik (KWH).
 T = Waktu (jam).

2.3.2 Kebutuhan Air Baku

Perkiraan kebutuhan air baku tergantung dari banyaknya jumlah penduduk. Banyaknya kebutuhan air baku dapat dikelompokkan menjadi (Fachrurrozi, 2017)

1. Kebutuhan rumah tangga (*domestic use*).

2. Kebutuhan industri dan perdagangan (*industrial and commercial use*).
3. Pemakaian fasilitas umum (*public use*).
4. Kehilangan pada sistem, kesalahan meter, pencurian air, dll.

Perhitungan proyeksi jumlah penduduk dapat dilakukan dengan Metode Regresi Linier Sederhana (Gatiningsih & Ripa'i, 2022) :

$$Y = a + bx \quad (2.8)$$

Dimana :

- Y = Variabel yang diramalkan.
 x = Variabel prediktor.
 a = Bilangan konstanta.
 b = Koefisien prediktor.

Untuk menghitung jumlah kebutuhan air baku digunakan persamaan (Fauziah, 2022) :

$$Q = Pn \times q \quad (2.9)$$

Keterangan :

- Q = Kebutuhan air baku.
 Pn = Jumlah penduduk terlayani (jiwa).
 q = Debit keluaran individu.

Air baku adalah air yang berasal dari sumber air permukaan, air tanah, air hujan, dan air laut yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai air baku untuk minum (Peraturan Pemerintah, 2015). Dalam (Kementerian PUPR, 2017) kebutuhan air baku juga diartikan sebagai jumlah kebutuhan air baku yang telah ditetapkan/diijinkan mendapatkan suplai dari waduk. Kebutuhan air baku dibagi menjadi:

1. Kebutuhan Air Industri

- Kebutuhan air untuk industri umumnya konstan sepanjang tahun, khususnya untuk keperluan industri gula umumnya hanya pada saat giling (± 5 bulan setiap tahun).
- Data penggunaan air untuk industri dapat menggunakan data pemakaian atau rencana penggunaan air yang sudah ditetapkan.

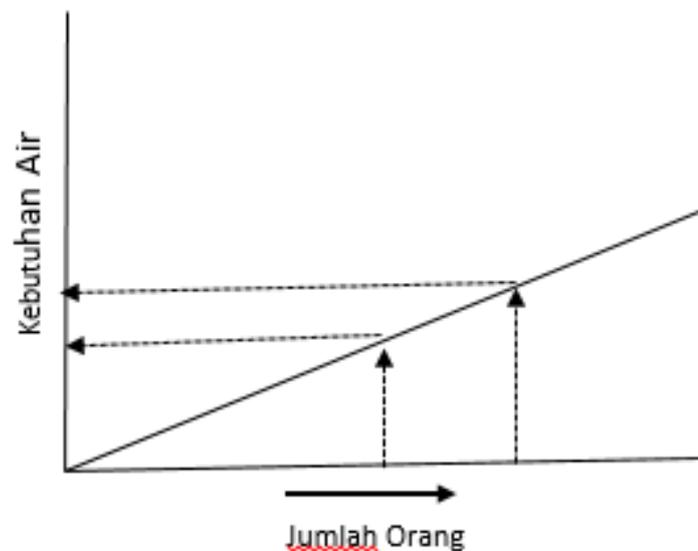
2. Kebutuhan Air Baku Air Minum

- Kebutuhan air baku umumnya konstan sepanjang tahun.
- Data penggunaan air sesuai dengan data pemakaian atas rencana penggunaan air yang telah ditetapkan.

Besarnya air yang digunakan untuk berbagai jenis penggunaan dikenal dengan sebutan pemakaian air. Dalam (Kementerian PUPR, 1996) standard kebutuhan air baku dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Standard Penyediaan Air Domestik

Standard penyediaan air domestik ditentukan oleh jumlah konsumen domestik yang dapat diketahui dari data penduduk yang ada. Standard penyediaan kebutuhan domestik ini meliputi minum, mandi, masak, dan lain sebagainya.



Gambar 2.2 Grafik hubungan antara kebutuhan air dengan peningkatan jumlah penduduk.

Kebutuhan air domestik untuk kota dibagi dalam beberapa kategori, yaitu:

- Kota kategori I (Metropolitan)
- Kota kategori II (Kota Besar)
- Kota kategori III (Kota Sedang)
- Kota kategori IV (Kota Kecil)
- Kota Kategori V (Desa)

Tabel 2.2 Kriteria Perencanaan Air Bersih

URAIAN	KATEGORI KOTA BERDASARKAN JUMLAH PENDUDUK (JIWA)				
	> 1.000.000	500.000 s/d 1.000.000	100.000 s/d 500.000	20.000 s/d 100.000	< 20.000
	Kota Metropolitan	Kota Besar	Kota Sedang	Kota Kecil	Desa
1	2	3	4	5	6
1. Konsumsi Unit Sambungan Rumah (SR) (liter/org/hari)	> 150	150 - 120	90 - 120	80 - 120	60 – 80
2. Konsumsi Unit Hidran (HU) (liter/org/hari)	20 – 40	20 – 40	20 – 40	20 - 40	20 – 40
3. Konsumsi unit non domestik					
a. Niaga Kecil (liter/unit/hari)	600 – 900	600 – 900		600	
b. Niaga Besar (liter/unit/hari)	1000 – 5000	1000 – 5000		1500	
c. Industri Besar (liter/detik/ha)	0,2 – 0,8	0,2 – 0,8		0,2 – 0,8	
d. Pariwisata (liter/detik/ha)	0,1 - 0,3	0,1 - 0,3		0,1 - 0,3	
4. Kehilangan Air (%)	20 – 30	20 – 30	20 – 30	20 - 30	20 – 30
5. Faktor Hari Maksimum	1,15 – 1,25 * Harian	1,15 – 1,25 * Harian	1,15 – 1,25 * Harian	1,15 – 1,25 * Harian	1,15 – 1,25 * Harian
6. Faktor Jam Puncak	1,75 – 2,0 * Hari Maks	1,75 – 2,0 * Hari Maks	1,75 – 2,0 * Hari Maks	1,75 * Hari Maks	1,75 * Hari Maks
7. Jumlah Jiwa Per SR (Jiwa)	5	5	5	5	5
8. Jumlah Jiwa Per HU (Jiwa)	100	100	100	100 – 200	200
9. Sisa Tekan Di Penyediaan Distribusi (Meter)	10	10	10	10	10
10. Jam Operasi (Jam)	24	24	24	24	24
11. Volume Reservoir (% Max Day Demand)	15 - 25	15 - 25	15 – 25	15 - 25	15 – 25
12. SR : HU	50 : 50 s/d 80 : 20	50 : 50 s/d 80 : 20	80 : 20	70 : 30	70 : 30
13. Cakupan Pelayanan (%)	90	90	90	90	70

Sumber : (Ditjen Cipta Karya Dinas PU, 1996)

2. Standard Penyediaan Air Non Domestik

Standard untuk air non domestik ditentukan oleh banyaknya konsumen non domestik yang meliputi fasilitas seperti perkantoran, kesehatan, industri,

komersial, umum, dan lainnya. Konsumsi non domestik terbagi menjadi beberapa kategori yaitu :

- Umum, meliputi : tempat ibadah, rumah sakit, sekolah, terminal, kantor, dan lainnya.
- Komersil, meliputi : hotel, pasar, pertokoan, rumah makan dan sebagainya.
- Industri, meliputi : peternakan, industri, dan sebagainya.

Adapun nilai dari kebutuhan air non domestik untuk kota dengan kategori I, II, III, IV disajikan dalam Tabel 2.3 sedangkan untuk kategori V disajikan dalam tabel 2.4 (Kementerian PUPR, 1996).

Tabel 2.3 Kebutuhan Air Non Domestik Untuk Kota Kategori I. II. III. IV

No	Sektor	Nilai	Satuan
1.	Sekolah	10	liter/murid/hari
2.	Rumah Sakit	200	liter/bed/hari
3.	Puskesmas	2000	liter/unit/hari
4.	Masjid	3000	liter/unit/hari
5.	Kantor	10	liter/pegawai/hari
6.	Pasar	12000	liter/hektar/hari
7.	Hotel	150	liter/bed/hari
8.	Rumah Makan	100	liter/tempat duduk/hari
9.	Komplek Militer	60	liter/orang/hari
10.	Kawasan Industri	0.2-0.8	liter/detik/hektar
11.	Kawasan Pariwisata	0.1-0.3	liter/detik/hektar

Sumber : (Kementerian PUPR, 1996)

Tabel 2.4 Kebutuhan Air Non Domestik Untuk Kategori V (Desa)

No	Sektor	Nilai	Satuan
1.	Sekolah	5	liter/murid/hari
2.	Rumah Sakit	200	liter/bed/hari
3.	Puskesmas	1200	liter/unit/hari
4.	Masjid	3000	liter/unit/hari
5.	Mushola	2000	liter/unit/hari

No	Sektor	Nilai	Satuan
6.	Pasar	12000	liter/hektar/hari
7.	Komersial/Industri	10	liter/hari

Sumber : (Kementerian PUPR, 1996)

2.3.3 Kebutuhan Air Irigasi

Dalam (Kementerian PUPR, 2017) kebutuhan irigasi merupakan kebutuhan air sesuai dengan Rencana Tata Tanam Global (RTTG) atau Rencana Tata Tanam Deatil (RTTD) yang telah ditetapkan oleh pejabat yang berwenang untuk mendapatkan alokasi air dari waduk. Kebutuhan air irigasi adalah jumlah volume air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan evaporasi, kehilangan air, kebutuhan air untuk tanaman dengan memperhatikan jumlah air yang diberikan oleh alam melalui hujan dan kontribusi air tanah (Suyono Sosrodarsono, 1977 dalam (Fauziah, 2022)). Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi Kebutuhan Air Irigasi (KAI) seperti areal tanam, sistem golongan, evaporasi, dan lain sebagainya. KAI (Kebutuhan Air Irigasi) dapat dihitung dengan persamaan (Kurnia Hidayat et al., 2019) :

$$KAI = \frac{(Etc + WLR + P - Re)}{EI} \times A \quad (2.10)$$

Keterangan :

KAI = Kebutuhan air irigasi (lt/s).

Etc = Kebutuhan air konsumtif (mm/hari).

WLR = Kebutuhan air untuk mengganti lapisan air (mm/hari).

P = Perkolasi (mm/hari).

Re = Hujan efektif.

EI = Efisiensi irigasi (%).

A = Luas areal irigasi (ha).

2.3.3.1 Areal Tanam

Areal tanam adalah lahan yang menjadi daerah aliran jaringan irigasi. Luas areal tanam di suatu daerah pengairan yang memiliki jaringan irigasi yang baik untuk tanaman akan mempengaruhi besarnya kebutuhan air.

2.3.3.2 Pola Tanam

Pola tanam adalah suatu pola penanaman jenis tanaman selama satu tahun yang merupakan kombinasi urutan penanaman. Rencana pola dan tata tanam dimaksudkan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air, serta menambah intensitas luas tanam.

Penentuan pola tanam merupakan hal yang perlu dipertimbangkan dalam memenuhi kebutuhan air bagi tanaman. Tabel 2.5 dibawah ini merupakan contoh pola tanam yang dapat dipakai (Sidharta, 1997).

Tabel 2.5 Pola Tanam

No	Ketersediaan Air Untuk Jaringan Irigasi	Pola Tanam Dalam Satu Tahun
1.	Tersedia air cukup banyak	Padi - Padi – Palawija
2.	Tersedia air dalam jumlah cukup	Padi - Padi – Padi
		Padi - Padi – Palawija
3.	Daerah yang cenderung kekurangan air	Padi - Palawija – Bera
		Palawija - Padi – Padi

Sumber : (Sidharta, 1997)

Untuk memenuhi kebutuhan air bagi tanaman, penentuan pola tanam merupakan hal yang perlu dipertimbangkan. Tujuan menyusun rencana tata tanam adalah untuk menyusun pola pemanfaatan air irigasi yang tersedia untuk memperoleh hasil produksi tanam yang maksimal bagi usaha pertanian.

2.3.3.3 Sistem Golongan

Untuk memperoleh areal tanam yang optimal dari debit yang tersedia diatasi dengan cara golongan, yaitu pembagian luas areal tanam pada suatu daerah irigasi dengan mulai awal tanam yang tidak bersamaan. Cara perencanaan golongan teknis yaitu dengan membagi suatu daerah irigasi dalam beberapa golongan yg mulai pengolahan tanahnya dengan selang waktu 10 atau 15 hari. Dengan pengunduran waktu memulai pengolahan tanah pada setiap golongan maka kebutuhan air dapat terpenuhi sesuai dengan debit yang tersedia.

2.3.3.4 Perkolasi

Perkolasi merupakan gerakan air mengalir ke bagian *moisture content* atas yang lebih dalam sampai air tanah. Laju perkolasi sangat tergantung kepada sifat –

sifat tanah. Pada tanah lempung berat dengan karakteristik pengolahan yang baik, laju perkolasi dapat mencapai 1 – 3 mm/hari. Pada tanah – tanah yang lebih ringan, laju perkolasi bisa lebih tinggi. Dari hasil – hasil penyelidikan tanah pertanian dan penyelidikan kelulusan, besarnya laju perkolasi serta tingkat kecocokan tanah untuk pengolahan tanah dapat ditetapkan dan dianjurkan pemakaiannya. Guna menentukan laju perkolasi, tinggi muka air tanah juga harus diperhitungkan. Perembesan terjadi akibat meresapnya air melalui tanggul sawah.

2.3.3.5 Evapotranspirasi

Evaporasi adalah iklim, sedangkan untuk transpirasi adalah iklim varietas, jenis tanaman, dan umur tanaman. Faktor iklim terdiri dari suhu udara, kelembaban, kecepatan angin, tekanan udara dan sinar matahari. 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 ((Elsaputra & Anwar, 2017) dalam (Fauziah, 2022)).

Evapotranspirasi adalah evaporasi dari permukaan lahan yang ditumbuhi tanaman. Berkaitan dengan tanaman, evapotranspirasi adalah sama dengan kebutuhan air konsumtif yang didefinisikan sebagai penguapan total dari lahan dan air yang diperlukan oleh tanaman. Dalam praktik hitungan evaporasi dan transpirasi dilakukan secara bersama-sama ((Triatmodjo, Bambang, 2008 dalam (Nuramini, 2017)).

Nilai evapotranspirasi dihitung dengan menggunakan metode Penman Modifikasi agar hasil yang didapat lebih realistis karena menggunakan sebagian besar data klimatologi.

Tabel 2.6 Perbandingan penggunaan beberapa metode untuk perhitungan evapotranspirasi

No	Metode	Temp (T)	Humidity (RH)	Sun Shine (N)	Kec. Angin (H)	Radiant (Ra)	Evaporasi (E)
1.	Pan Evaporasi	-	-	-	-	-	✓
2.	Penman	✓	✓	✓	✓	✓	-
3.	Thornth Walte	✓	-	-	-	-	-

No	Metode	Temp (T)	Humidity (RH)	Sun Shine (N)	Kec. Angin (H)	Radiant (Ra)	Evaporasi (E)
4	Blaney Criddle	✓	-	-	-	-	-

(Sumber : (Nuramini, 2017)).

Perhitungan evapotranspirasi dengan menggunakan metode Penman modifikasi menggunakan persamaan sebagai berikut (Nuramini, 2017) :

$$ET_0 = C (W. R_n + (1 - W). f(u). (ea - ed)) \quad (2.11)$$

Keterangan :

ET_0 = Evapotranspirasi tanaman acuan (mm/hari).

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

W = Faktor pemberat untuk pengaruh penyinaran matahari pada evapotranspirasi potensial (tabel Penman).

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

$(ea - ed)$ = Perbedaan tekanan uap air jenuh pada suhu udara rata-rata dengan tekanan uap air nyata rata-rata di udara ($ed = ea \times RH$).

RH = Kelembaban udara relatif (%).

R_n = Radiasi penyinaran matahari bersih (mm/hari) ($R_n = R_{ns} - R_{nl}$).

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

α = Koefisien pemantulan = 0,75.

R_s = $(0,25 + 0,5 (n/N)) \times R_a$

R_{nl} = $2,01 \times 10^9 \times T_4 (0,34 - 0,44 ed 0,5) \times (0,1 + 0,9 n/N)$

$f(u)$ = Fungsi pengaruh angin pada ET_0

= $0,27 \times (1 + U_2/100)$, dimana U_2 merupakan kecepatan angin selama 24 jam dalam km/hari pada ketinggian 2m.

Menurut (Triatmodjo, 2008) kebutuhan air konsumtif untuk suatu tanaman, ET_c , dapat dihitung dengan menggunakan metode Blaney-Criddle.

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

Keterangan :

ET_0 = Evapotranspirasi tanaman referensi.

K_c = Koefisien tanaman.

2.3.3.6 Curah Hujan Rata-rata

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata diseluruh daerah yang bersangkutan, curah hujan diperkirakan diambil dari beberapa stasiun terdekat (Suyono; Sosrodarsono & Takeda, 1977) dalam (Fauziah, 2022).

Suatu daerah memiliki intensitas curah hujan yang berbeda beda. Jika titik-titik pengamatan pada suatu daerah tidak tersebar merata, maka perhitungan dilakukan dengan cara memperhitungkan daerah-daerah pengaruh pada tiap titik pengamatan. Menurut buku mengenal dasar-dasar hidrologi halaman 190-191 oleh Ir. Joyce Martha dan Ir. Wanny Adidarma, Dipl.HE. ada beberapa metode yang dapat digunakan, salah satunya yaitu *Inversed Square Distance*.

Metode *Inversed Square Distance* adalah salah satu metode yang digunakan untuk mencari data yang hilang. Pada metode ini variabel yang digunakan adalah jarak stasiun terdekat dengan stasiun yang akan dicari data curah hujan yang hilang.

Rumus metode *Inversed Square Distance* (Prawaka et al., 2016), yaitu :

$$P_x = \frac{\frac{1}{(dXA)^2} P_A + \frac{1}{(dXB)^2} P_B + \frac{1}{(dXC)^2} P_C}{\frac{1}{(dXA)^2} + \frac{1}{(dXB)^2} + \frac{1}{(dXC)^2}} \quad (2.13)$$

Keterangan :

P_x = Tinggi hujan yang dipertanyakan (mm).

P_A, P_B, P_C = Tinggi hujan pada stasiun di sekitarnya (mm).

dXA, dXB, Dxc = Jarak stasiun X terhadap masing-masing stasiun A, B, C (km).

2.3.3.7 Curah Hujan Efektif

Dijelaskan dalam (Hidayat & Empung, 2016) menyebutkan bahwa curah hujan efektif merupakan besaran curah hujan yang langsung dapat dimanfaatkan tanaman pada masa pertumbuhannya. Besaran curah hujan yang terjadi berpengaruh terhadap areal pertanian, kapasitas drainase, dan bangunan air di kedua daerah tersebut. Besaran curah hujan efektif yang terukur dan terhitung dengan baik akan berdampak pada pengoptimalan hasil panen terutama pada saat pembagian air

pada areal irigasi. Pada drainase dan bangunan air, besaran curah hujan akan sangat membantu dalam menentukan dimensi saluran dan elevasi mercu bangunan air.

Curah hujan efektif merupakan curah hujan yang jatuh pada suatu daerah dan dapat digunakan tanaman untuk pertumbuhannya untuk memenuhi kehilangan air akibat evapotranspirasi tanaman, perkolasi dan lain-lain ((Elsaputra & Anwar, 2017) dalam (Fauziah, 2022)). 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 efektif.

Dijelaskan dalam (Elsaputra & Anwar, 2017) curah hujan efektif (R_{eff}) ditentukan berdasarkan besarnya R_{80} yang merupakan curah hujan yang besarnya dapat dilampaui sebanyak 80% atau dengan kata lain dilampauinya delapan kali kejadian dari sepuluh kali kejadian. Maka, jika besar curah hujan yang terjadi lebih kecil dari R_{80} mempunyai kemungkinan hanya 20%. Untuk menghitung besarnya curah hujan efektif berdasarkan R_{80} , dinyatakan dengan rumus sebagai berikut (Nuramini, 2017) :

$$R_{80} = \left(\frac{n}{5} \right) + 1 \quad (2.14)$$

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.

Berdasarkan Standar Perencanaan Irigasi KP-01 (Direktorat Jenderal SDA, 2013), perhitungan curah hujan efektif untuk beberapa jenis tanaman adalah sebagai berikut:

1. Curah Hujan Efektif 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 memanfaatkan data curah hujan harian sekurang-kurangnya 10 tahun.

$$R_{\text{padi}} = R_{80} \times 70\% \quad (2.15)$$

Keterangan :

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

R_{80} = Curah hujan efektif (mm/hari).

2. Curah Hujan Efektif Palawija

Curah hujan efektif palawija berbeda dengan padi. Dalam perhitungan curah hujan efektif palawija dibutuhkan kedalaman muka air tanah, dengan rumusan sebagai berikut :

$$R_{\text{palawija}} = f_D \times (1,25 \times R_{50}^{0,824} - 2,93) \times 10^{0,00095 \times E_{t0}} \quad (2.16)$$

Keterangan :

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

f_D = Faktor kedalaman muka air tanah yang diperlukan.

$$= 0,53 + (0,00016 \times 10^{-5} \times D^2) + (2,32 \times 10^{-7} - D^3)$$

D = Kedalaman muka air tanah yang diperlukan.

Adapun nilai D pada beberapa tanaman menurut Standar Perencanaan Irigasi KP-01 disajikan dalam Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Nilai D Pada Beberapa Tanaman

Tanaman	Dalam Akarnya (m)	Fraksi air yang tersedia	Air Tanah Tersedia yang Siap Pakai		
			(mm)		
			Halus	Sedang	Kasar
Kedelai	0,6-1,3	0,50	100	75	35
Jagung	1,0-1,7	0,60	120	80	40
Kacang Tanah	0,5-1,0	0,40	80	55	25
Bawang	0,3-0,5	0,25	50	35	15
Buncis	0,5-0,7	0,45	90	65	30
Kapas	1,0-1,7	0,65	130	90	40
Tebu	1,2-2,0	0,65	130	90	40

2.3.3.8 Kebutuhan Air Lapisan (WLR)

Dijelaskan dalam (Fachrurrozi, 2017) penggantian lapisan air diperlukan untuk mengurangi efek reduksi pada tanah dan pertumbuhan tanaman. Penggantian

lapisan air diberikan menurut kebutuhan dan dilakukan setelah pemupukan atau sesuai jadwal. Jika tidak ada penjadwalan, maka dilakukan penggantian sebanyak 2 (dua) kali, (masing masing sebesar 50 mm dan 3.3 mm/hari selama setengah bulan) selama sebulan dan dua bulan setelah penanaman.

2.3.3.9 Koefisien Tanaman

Umur dan jenis tanaman yang ada mempengaruhi besar 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 (Direktorat Jenderal SDA, 2013).

Tabel 2.8 Koefisien Tanaman (Kc) Untuk Tanaman Padi

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

Sumber : (Direktorat Jenderal SDA, 2013)

Tabel 2.9 Koefisien Tanaman (Kc) Untuk Tanaman Palawija

Koefisien Tanaman Palawija						
Setengah bulan ke-	Koefisien Tanaman					
	Kedelai	Jagung	Kacang Tanah	Bawang	Buncis	Kapas
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

Koefisien Tanaman Palawija						
Setengah bulan ke-	Koefisien Tanaman					
	Kedelai	Jagung	Kacang Tanah	Bawang	Buncis	Kapas
5	0,82	1,02	0,95	0,95	0,88	0,91
6	0,45	0,95	0,95	-	-	1,04
7	-	-	0,55	-	-	1,05
8	-	-	0,55	-	-	1,05
9	-	-	-	-	-	1,05
10	-	-	-	-	-	0,78
11	-	-	-	-	-	0,65
12	-	-	-	-	-	0,65
13	-	-	-	-	-	0,65

Sumber : (Direktorat Jenderal SDA, 2013)

2.3.3.10 Efisiensi Irigasi

Efisiensi irigasi adalah presentase perbandingan antara jumlah air yang dapat digunakan untuk pertumbuhan tanaman dengan jumlah air yang dikeluarkan dari pintu pengambilan. Besarnya efisiensi irigasi tergantung dari besarnya kehilangan air yang terjadi pada saluran pembawa, mulai dari embung sampai ke lahan. Kehilangan air tersebut disebabkan karena penguapan, perkolasi, dan lainnya.

Kehilangan air di jaringan irigasi pada umumnya dapat dibagi-bagi sebagai berikut :

1. 12,5 – 20% di petak tersier, antara bangunan sadap tersier di bawah.
2. 5 – 10% di saluran sekunder.
3. 5 – 10% di saluran utama.

2.3.3.11 Kebutuhan Air dan Persiapan Lahan

Untuk perhitungan kebutuhan irigasi selama persiapan lahan, digunakan metode yang dikembangkan oleh Van de Goor Zijlsha (1968). Metode tersebut didasarkan pada laju air konstan dalam lt/dt/ha selama periode persiapan lahan dan menghasilkan rumus sebagai berikut :

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

$$K = \frac{M \times T}{S} \quad (2.18)$$

Dimana :

IR = Kebutuhan air irigasi di tingkat persawahan (mm/hari).

M = Kebutuhan evaporasi dan perkolasi = $E_0 + P$

E_0 = Evaporasi potensial (mm/hari) = $E_{t0} \times 1,10$

P = Perkolasi (mm/hari).

T = Waktu penyiapan lahan (hari).

S = Kebutuhan air untuk penjemuran ditambah dengan 50 mm.

Berdasarkan (Direktorat Jenderal SDA, 2013) untuk petak tersier, jangka waktu yang dianjurkan untuk penyiapan lahan adalah 1,5 bulan. Bila penyiapan lahan terutama dilakukan dengan peralatan mesin, jangka waktu satu bulan dapat dipertimbangkan. Kebutuhan air untuk pengolahan 10 lahan sawah (*pudding*) bisa diambil 200 mm meliputi penjemuran (*presaturation*) dan penggenangan sawah. Pada awal transplantasi akan ditambahkan lapisan air 50 mm kembali. Angka 200 mm mengandaikan bahwa tanah tersebut bertekstur berat, cocok digenangi dan lahan belum berair (tidak ditanami) selama lebih dari 2,5 bulan. Jika tanah tersebut dibiarkan berair lebih lama lagi, ambillah 250 mm sebagai air untuk penyiapan lahan. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan termasuk kebutuhan air untuk persemaian.

2.3.3.12 Penggunaan Konsumtif (Etc)

Penggunaan konsumtif adalah jumlah air yang dipakai oleh tanaman untuk proses fotosintesis dari tanaman tersebut. Penggunaan konsumtif dihitung dengan rumus berikut :

$$Etc = Kc \times E_{t0} \quad (2.19)$$

Dimana :

Kc = Koefisien tanaman.

E_{t0} = Evapotranspirasi potensial (mm/hari).

Koefisien tanaman diberikan untuk menghubungkan E_{t0} dengan ETC dan dipakai dalam rumus penman. Koefisien yang dipakai harus didasarkan pada

pengalaman yang terus menerus proyek irigasi di daerah studi. Besarnya nilai suatu koefisien tanaman ini merupakan faktor yang digunakan untuk mencari besarnya air yang habis terpakai untuk tanaman periode 15 harian.

2.3.3.13 Kebutuhan air irigasi untuk palawija

Kebutuhan air irigasi untuk palawija dapat diketahui dengan rumus :

$$\text{NFR} = \text{ETc} + \text{P} - \text{Re} \quad (2.20)$$

Dimana :

ETc = *Consumptive use* (mm).

P = Kehilangan air akibat perkolasi (mm/hari).

Re = Curah hujan efektif (mm/hari).

2.3.3.14 Kebutuhan air di sawah untuk padi

Kebutuhan air di sawah untuk padi dapat diketahui dengan rumus :

$$\text{NFR} = \text{ETc} + \text{P} - \text{Re} + \text{WLR} \quad (2.21)$$

Dimana :

ETc = *Consumptive use* (mm).

P = *Consumptive use* (mm).

Re = Curah hujan efektif (mm/hari).

WLR = Penggantian lapisan air (mm/hari).

2.3.3.15 Kebutuhan air di pintu pengambilan

Kebutuhan air di pintu pengambilan dapat diketahui dengan rumus :

$$\text{DR} = \frac{\text{NFR}}{\text{EI}} \quad (2.22)$$

Dimana :

DR = Kebutuhan air di pintu pengambilan.

NFR = Kebutuhan air di sawah.

EI = Efisiensi irigasi.

2.3.4 Evaporasi

Dalam (Triatmodjo, 2008) menjelaskan penguapan dapat dibagi menjadi dua macam yaitu evaporasi dan transpirasi. Evaporasi (E_0) adalah penguapan yang terjadi dari permukaan air (laut, danau, sungai), permukaan tanah (genangan di atas dan penguapan dari permukaan air tanah yang dekat dengan permukaan tanah), dan

permukaan tanaman (intersepsi). Evaporasi dipengaruhi oleh kondisi klimatologi yaitu :

1. Temperatur Udara

Data temperatur udara yang digunakan pada perhitungan pada umumnya adalah temperatur udara rata-rata harian atau bulanan yang didapat dari pencatatan alat ukur (*thermometer*) yang dipasang pada stasiun meteorologi.

2. Kelembaban Udara

Perhitungan kelembaban relatif dapat diukur menggunakan alat *psychrometer*.

3. Penyinaran Matahari

Perhitungan evapotranspirasi jumlah energi radiasi (penyinaran) yang sampai ke permukaan bumi per unit waktu dan luas perlu diketahui. Kualitas energi penyinaran ini disebut *Net Radiasi* (R_n).

4. Kecepatan Angin

Kecepatan angin memiliki pengaruh yang besar dalam dunia pertanian karena jika angin yang berkecepatan tinggi berhembus dapat mengakibatkan kerusakan. Selain itu, berpengaruh pada kecepatan evaporasi.

Evaporasi dinyatakan sebagai laju evaporasi yang diberikan dalam milimeter per hari (mm/hari). Pengukuran evaporasi dari permukaan air dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya yaitu Metode Herbeck. Persamaan yang digunakan dalam metode ini sebagai berikut :

$$E = N \times u \times (e_a - e_d) \quad (2.23)$$

$$N = \frac{0,0291}{A^{0,05}}$$

Dimana :

E = Evaporasi (cm/hari).

u = Kecepatan angin pada jarak 2m di atas permukaan air (m/detik).

e_a = Tekanan uap jenuh (mbar).

e_d = Tekanan uap udara (mbar).

A = Luas permukaan danau (m^2).

2.4 Pola Operasi Waduk

Perhitungan simulasi keseimbangan air untuk menetapkan pola operasi waduk didasarkan pada debit dengan tingkat keandalan tertentu. Menurut Puslitbang tahun kering adalah tahun pada saat curah hujan atau aliran sungainya berkisar antara 0% sampai 33% dari jumlah curah hujan hasil pengamatan. Tahun normal adalah tahun pada saat jumlah debit aliran atau curah hujan hasil pengamatan lebih besar dari 33,33% dan kurang dari 66,67 %. Dan tahun basah adalah tahun pada saat jumlah debit aliran atau curah hujan pengamatan lebih besar dari 66,67% dan kurang dari 100 % (Kementerian PUPR, 2017).

2.4.1 Neraca Air

Perhitungan neraca air digunakan untuk mengetahui aliran air yang masuk dan air yang keluar pada suatu sistem tampungan. Perhitungan neraca air biasanya dilakukan untuk :

- a. Menghitung ketersediaan air pada suatu tampungan.
- b. Merencanakan pola penggunaan air yang tersedia.
- c. Membantu menyeimbangkan jumlah air yang lebih dan kekurangan air.
- d. Sebagai dasar pada perhitungan perencanaan optimasi pada manajemen sumber daya air.

Persamaan dasar simulasi neraca air di waduk merupakan fungsi dari masukan, keluaran, dan tampungan waduk (Kementerian PUPR, 2017).

$$I - O = \frac{ds}{dt} \quad (2.24)$$

Keterangan :

I = Debit masuk (m³/detik).

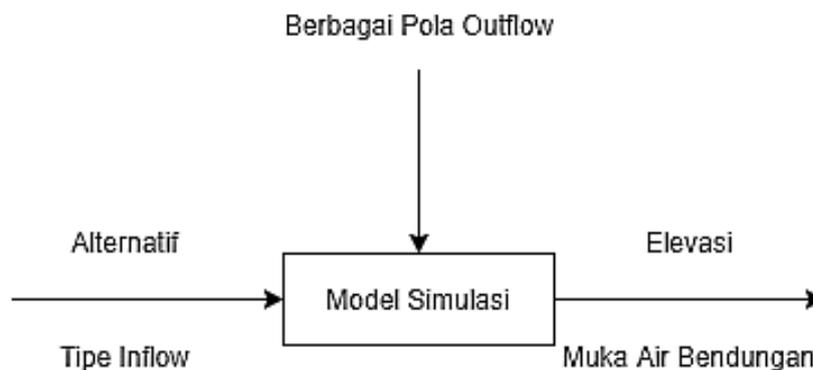
O = Debit keluar (m³/detik).

$\frac{ds}{dt} = \Delta S$ = Perubahan tampungan (m³/detik).

2.4.2 Simulasi Tampungan Waduk

Dalam (Kementerian PUPR, 2017) metode simulasi ini muka air waduk disimulasikan dengan berbagai kondisi tipe masukan (*inflow*) dan karakteristik waduk, seperti kondisi bulan basah, bulan normal, dan bulan kering sehingga akan

didapatkan kurva atau ambang pola pengoperasian. Skema model simulasi disajikan dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema Model Simulasi

Melihat dari skema model simulasi, maka akan didapatkan tiga ambang batas yaitu, hasil simulasi pada kondisi basah, normal, dan kering. Setelah didapatkan ketiga ambang batas tersebut, maka pengeluaran air dari waduk dapat dikendalikan agar waduk tidak dalam kondisi yang sangat kritis pada akhir operasi dan penuh kembali pada saat masuk tahun perngoperasian selanjutnya (Fauziah, 2022).

Dari simulasi tampungan waduk, maka didapat peluang kegagalan dan keandalan waduk. Persamaan peluang kegagalan yang paling umum dipakai adalah perbandingan jumlah satuan waktu pada waktu waduk kosong dengan jumlah satuan total yang digunakan dalam proses analisis.

$$Pe = \frac{P}{N} \quad (2.25)$$

Sedangkan definisi keandalan yang berhubungan yaitu:

$$Re = 1 - Pe \quad (2.26)$$

Keterangan :

Pe = Peluang kegagalan.

P = Jumlah satuan waktu pada saat bendungan kosong.

N = Jumlah periode simulasi.

Re = Peluang keandalan.

Sehingga keandalan waduk dinyatakan dengan Re%, dengan jumlah kegagalan yang diijinkan sebanyak Pe%. Kegagalan waduk ditentukan dengan

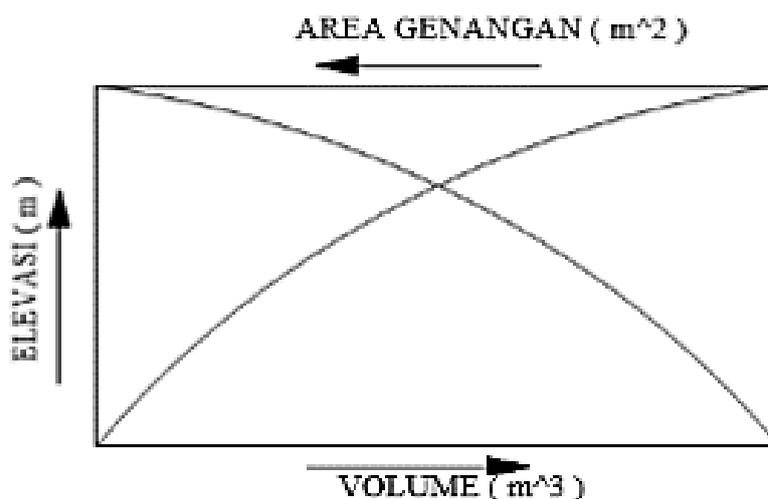
persentase jumlah kegagalan dari total periode simulasi. Sedangkan keandalan waduk ditentukan dengan persentase jumlah keberhasilan dari total periode simulasi (Nuramini, 2017).

2.4.3 Rule Curve

Rule curve adalah ilmu yang menunjukkan keadaan bendungan pada akhir periode pengoperasian yang harus dicapai pada suatu nilai *outflow* tertentu (Mc. Mahon: 1978). *Rule curve* pengoperasian bendungan adalah kurva atau grafik yang menunjukkan hubungan antara elevasi muka air bendungan, debit *outflow* dan waktu dalam satu tahun (Indrakarya: 1993 dalam (Nuramini, 2017)). *Rule Curve* digunakan sebagai pedoman pengoperasian bendungan dalam menentukan pelepasan yang diijinkan dan sebagai harapan memenuhi kebutuhan.

2.4.4 Lengkung Kapasitas Waduk

Lengkung kapasitas waduk diperlukan untuk menentukan volume total waduk berdasarkan pada data topografi yang ada. Lengkung kapasitas waduk merupakan grafik yang menghubungkan luas daerah genangan dengan volume tampungan terhadap elevasinya. Berhubung fungsi utama waduk adalah untuk menyediakan tampungan, maka ciri fisik utama yang terpenting adalah kapasitas tampungan. Hubungan antara luas genangan, volume waduk terhadap kedalamannya disajikan pada kurva lengkung kapasitas waduk seperti gambar berikut (Nuramini, 2017).



Gambar 2.4 Grafik Lengkung Kapasitas Waduk