

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Umum

Waduk adalah tampungan untuk menyimpan air pada waktu kelebihan agar dapat dipakai pada waktu diperlukan (Soedibyo, 2003:7) Manajemen air (*water management*) di waduk merupakan usaha untuk mengatur dan mengendalikan jumlah air yang masuk dan keluar dari waduk. Pengaturan bertujuan agar penggunaan air untuk berbagai kepentingan manusia dapat diatur dengan baik, dan menunjang kesejahteraan manusia. Air yang dikendalikan adalah air hasil tampungan waduk dari air hujan maupun sungai yang memasok debit ke dalam waduk, sehingga air dapat disediakan dalam waktu atau tempat yang tepat dalam jumlah yang diperlukan.

Pembangunan waduk perlu memperhatikan analisa tentang produksi dan kapasitas. Produksi adalah jumlah air yang dapat disediakan oleh waduk dalam jangka waktu tertentu. Perencanaan produksi waduk menetapkan seberapa besar kapasitas tampungan waduk yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan dengan keandalan tertentu.

#### 2.2. Karakteristik Fisik Waduk

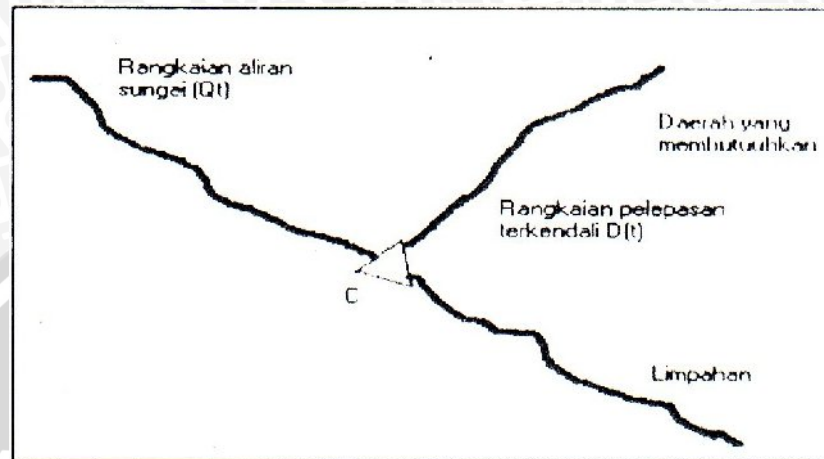
Fungsi utama dari waduk adalah menyediakan tampungan, jadi karakteristik fisik yang sangat penting adalah kapasitas tampungan. Tampungan yang dibutuhkan di sungai untuk memenuhi permintaan tertentu tergantung pada tiga faktor (Mc.Mahon and Mein, 1978:1) :

1. Variabilitas aliran sungai
2. Ukuran permintaan
3. Tingkat keandalan dari pemenuhan permintaan.

Rangkaian aliran di sungai  $Q(t)$  akan dimanfaatkan untuk memenuhi permintaan air dengan kebutuhan tertentu  $D(t)$ . Pertanyaan yang muncul dapat berupa, berapa besar kapasitas waduk yang harus disediakan bagi suatu pelepasan yang terkendali (*release*) dengan tingkat keandalan yang dapat diterima. Mungkin ada variasi lain dari pertanyaan ini, misalnya menentukan pelepasan dari kapasitas tertentu, tetapi masalah dasarnya

tetap sama yaitu hubungan antara karakteristik aliran masuk (*inflow*), kapasitas waduk, pelepasan terkendali (*release*), dan keandalan yang ditemukan.

Dalam bentuk sederhana, masalah yang ditangani dapat digambarkan sebagai berikut :



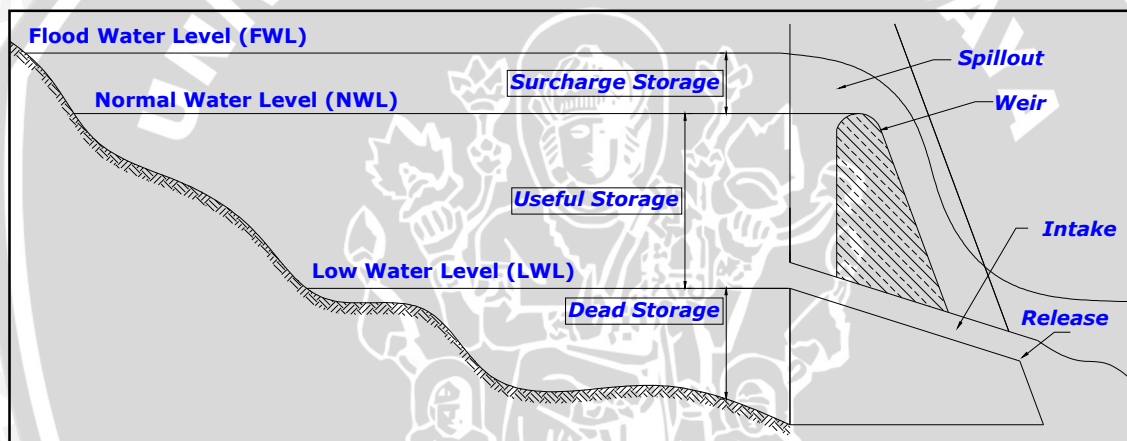
Gambar 2.1. Idealisasi Masalah Kapasitas dan Kemampuan Waduk

### 2.2.1. Ciri Fisik Waduk

Ciri fisik suatu waduk atau bagian-bagian pokok waduk adalah sebagai berikut :

1. Tampungannya efektif atau Kapasitas Berguna (*useful storage*), adalah volume tampungan di antara Muka Air Minimum (*Low Water Level / LWL*) dan Muka Air Normal (*Normally Water Level / NWL*).
2. Tampungan Banjir (*Surcharge storage*), adalah volume air di atas muka air normal selama banjir. Untuk beberapa saat debit meluap melalui pelimpah kapasitas tambahan ini umumnya tidak terkendali, dengan pengertian adanya hanya pada waktu banjir dan tidak dapat dipertahankan untuk penggunaan selanjutnya.
3. Tampungan Mati (*dead storage*) adalah volume air yang terletak di bawah muka air minimum dan air ini tidak dimanfaatkan dalam pengoperasian waduk.
4. Muka Air Normal (*Normally Water Level / NWL*) adalah elevasi maksimum yang dicapai oleh permukaan air waduk.
5. Muka Air Minimum (*Low Water Level / LWL*) adalah elevasi air terendah bila tampungan dilepaskan pada kondisi normal, permukaan ini dapat ditentukan oleh elevasi dari bangunan pelepasan yang terendah.

6. Muka air pada banjir rencana adalah elevasi air selama banjir maksimum direncanakan terjadi (*Flood Water Level / FWL*).
  7. Pelepasan (*release*) adalah volume air yang dilepaskan secara terkendali dari suatu waduk selama kurun waktu tertentu.
  8. Limpahan (*Spillout*), dianggap aliran tidak terkendali dari waduk dan hanya terjadi kalau air yang ditampung dalam waduk melebihi tinggi muka air maksimum.
  9. Periode Kritis (*critical periode*) adalah periode dimana sebuah waduk berubah dari kondisi penuh ke kondisi kosong tanpa melimpah selama periode tersebut.
- Gambar zona macam tampungan waduk selengkapnya dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.2. Macam Zona Tampungan Waduk

### 2.2.2. Lengkung Kapasitas Waduk

Lengkung kapasitas waduk (*storage capacity curve of reservoir*) merupakan suatu kurva yang menggambarkan hubungan antara luas muka air (*reservoir area*), volume (*storage capacity*), dengan elevasi (*reservoir water level*). Fungsi lengkung kapasitas waduk adalah untuk mengetahui berapa besarnya tampungan pada elevasi tertentu, sehingga dapat ditentukan ketinggian muka air yang diperlukan untuk mendapatkan besarnya volume tampungan pada suatu elevasi. Kurva ini juga dipergunakan untuk menentukan besarnya kehilangan air akibat perkolasi yang dipengaruhi oleh luas muka air pada elevasi tertentu.

Dari persamaan lengkung kapasitas tinggi dapat ditentukan elevasi muka air waduk dengan persamaan (Garg, 2002:455) :

$$\Delta V = \frac{a_1 + a_2}{2} (\Delta h) \quad (2.1)$$

Dengan :

$\Delta V$  = Volume tampungan total (m<sup>3</sup>)

$a_1, a_2, \dots$  = Luas area pada kontur (m<sup>2</sup>)

$\Delta h$  = Beda tinggi antara dua kontur (m)

Lengkung kapasitas waduk yang digunakan pada studi ini berasal dari PT. Tata Guna Patria

### 2.2.3. Kehilangan Air di Waduk

#### 2.2.3.1. Akibat Evaporasi

Evaporasi adalah proses perubahan fisik yang mengubah suatu cairan atau bahan padat menjadi gas melalui proses perpindahan panas. Besarnya harga evaporasi sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan yang terkadang tidak merata di seluruh daerah. Faktor-faktor yang mempengaruhi evaporasi adalah suhu air, suhu udara (atmosfer), kelembapan, kecepatan angin, tekanan udara, dan sinar matahari yang saling berhubungan satu sama lain.

Volume kehilangan air di waduk karena evaporasi dihitung dengan rumus:

$$V_{ew} = E_v \cdot A \cdot t \quad (2.2)$$

Dengan :

$V_{ew}$  = Volume evaporasi di waduk (m<sup>3</sup>)

$E_v$  = Evaporasi rata-rata yang tercatat di alat ukur (mm/hari)

$A$  = Luas genangan waduk (km<sup>2</sup>)

$t$  = Waktu (hari)

#### 2.2.3.2. Akibat Kapasitas Aliran Filtrasi

Kapasitas aliran filtrasi adalah kapasitas rembesan air yang mengalir melalui tubuh bendungan dan pondasi bendungan. Kapasitas filtrasi suatu bendungan mempunyai batas – batas tertentu yang mana apabila kapasitas filtrasi melampaui batas tersebut, maka kehilangan air yang terjadi cukup besar.

Untuk memperkirakan besarnya filtrasi suatu bendungan dapat dilakukan dengan menggunakan jaringan trayektori aliran filtrasi atau dengan menggunakan rumus – rumus empiris. (Suyono. S : 164)

Rumus besarnya kapasitas filtrasi yang mengalir melalui tubuh bendungan yang didasarkan pada jaringan trayektori aliran filtrasi adalah sebagai berikut :

$$Q_f = \frac{N_f}{N_p} * K * H * L \quad (2-3)$$

Dimana :

- Qf = kapasitas aliran filtrasi
- Nf = angka pembagi dari garis trayektori aliran filtrasi
- Np = angka pembagi dari garis equi-potensial
- K = koefisien filtrasi
- H = tinggi tekanan air total
- L = panjang profil melintang tubuh bendungan

Untuk kapasitas rembesan yang melalui pondasi bendungan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$q = K * H * \left( \frac{T}{B+T} \right) \quad (2-4)$$

Dimana :

- q = kapasitas aliran filtrasi per unit panjang bendungan
- K = koefisien filtrasi
- T = tebal lapisan pondasi
- B = lebar profil tubuh bendungan

Data Kapasitas aliran filtrasi/rembesan yang digunakan pada studi ini berasal dari PT Tata Guna Patria.

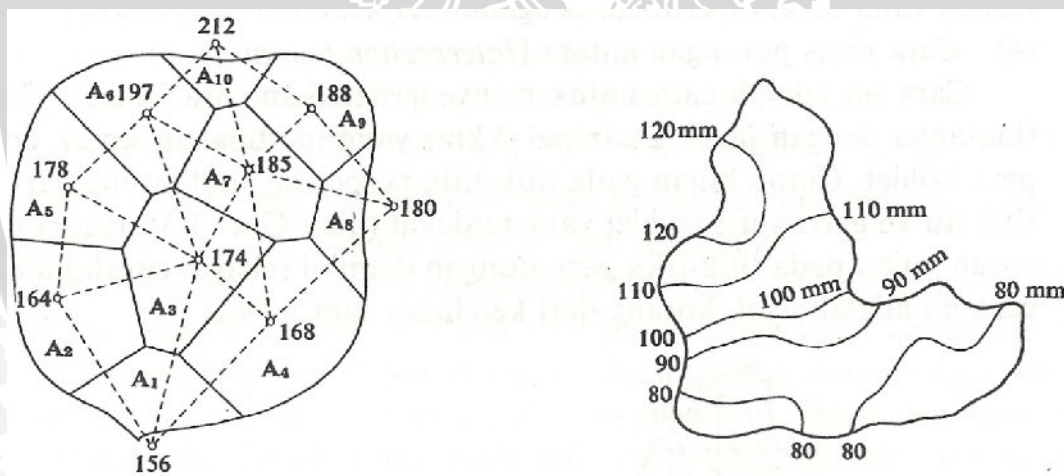
### 2.3. Analisa Curah Hujan

Analisa curah hujan dilakukan untuk menentukan besarnya curah hujan efektif guna menghitung kebutuhan air irigasi. Sebelum menghitung curah hujan efektif harus menganalisa data hujan. Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan. Ada beberapa metode untuk menghitung curah hujan dari daerah pengamatan hujan di berbagai titik pengamatan yaitu :

1. Metode Rerata Aljabar
2. Metode Thiessen
3. Metode Isohiet

Curah hujan daerah atau wilayah harus diperkirakan dari beberapa titik pengamatan stasiun hujan. Untuk menghitung curah hujan daerah dapat digunakan pendekatan sebagai berikut (Sosrodarsono, 2003:27) :

1. Daerah dengan luas 250 Ha yang mempunyai variasi topografi yang kecil, dapat diwakili oleh sebuah alat ukur curah hujan.
2. Daerah dengan luas 250 Ha sampai 50.000 Ha dengan dua atau tiga titik pengamatan hujan dapat digunakan cara Rerata Aljabar.
3. Daerah dengan luas 120.000 Ha sampai 500.000 Ha yang mempunyai titik pengamatan yang tersebar cukup merata dimana data curah hujannya tidak terlalu dipengaruhi kondisi topografi tersebar, dapat digunakan cara rerata aljabar. Jika titik pengamatan tidak merata digunakan cara Thiessen.
4. Daerah dengan luas lebih besar dari 500.000 Ha digunakan cara Isohiet.



Gambar 2.3. Pembagian Daerah Metode Thiessen dan Cara Isohiet

Berdasarkan data curah hujan selama 14 tahun pada 1 stasiun hujan yang terletak di sekitar DAS Cileuweung, dilakukan analisa data curah hujan yang diamati pada pos stasiun curah hujan menjadi curah hujan wilayah dengan metode rerata aljabar sebagai berikut (Sosrodarsono, 2003:27) :

$$R = \frac{R_1 + R_2 + R_3 \dots + R_n}{n} \quad (2.5)$$

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{n} \quad (2.6)$$

Dimana :

$R$  = Curah hujan daerah (mm)

$R_1 + R_2 + R_3 \dots + R_n$  = Curah hujan di tiap titik pengamatan (mm)

$n$  = Jumlah titik pengamatan

### 2.3.1. Uji Konsistensi Data

Uji konsistensi data yaitu uji kesesuaian data pada stasiun curah hujan yang akan dipergunakan. Dalam studi ini tidak akan dilakukan uji konsistensi data karena hanya menggunakan satu stasiun hujan. Metode uji kurva massa ganda melalui hubungan kumulatif rerata dari stasiun yang akan diuji (dikoreksi) terhadap stasiun pengamatan lainnya dengan tolak ukur koefisien determinasi, jika koefisien determinasi nilainya mendekati 100 % maka data dianggap konsisten.

### 2.3.2. Curah Hujan Efektif

Curah hujan yang mencapai permukaan tanah tidak selalu dapat digunakan tanaman untuk pertumbuhannya. Hal tersebut perlu dibedakan antara curah hujan nyata dan curah hujan efektif sebagai berikut :

- Curah hujan nyata adalah sejumlah curah hujan yang jatuh pada suatu daerah pada kurun waktu tertentu
- Curah hujan efektif adalah sejumlah curah hujan yang jatuh pada suatu daerah dan digunakan tanaman untuk pertumbuhannya.

Dasar perhitungan kebutuhan tanaman, perkolasi, dan lain-lain berdasarkan curah hujan efektif, sedangkan jumlah hujan yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman tergantung dari jenis tanaman dan jenis tanah.

Beberapa proyek irigasi di Indonesia menentukan curah hujan efektif untuk perencanaan kebutuhan air irigasi, dengan menggunakan persamaan kemungkinan ulangan terjadinya curah hujan tertentu. Berdasarkan curah hujan 15 harian dari tahun perencanaan, maka curah hujan efektif dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$R = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (2.7)$$

Dimana :

R = Curah hujan dengan probabilitas terjadi (%)

m = Nomor urut (ranking)

n = Jumlah data curah hujan

### 2.3.2.1. Curah Hujan Efektif Untuk Tanaman Padi

Besarnya curah hujan efektif untuk tanaman padi ditentukan dengan berdasarkan 70% dari curah hujan andalan 80% dengan peluang kegagalan 20%. Curah hujan efektif diperoleh dari 70% dikali  $R_{80}$  per periode pengamatan sehingga persamaan sebagai berikut (Anonim, 1986:10) :

$$\text{Re padi} = \frac{0,7 \times R_{80}}{\text{hari}} \quad (2.8)$$

Dimana :

$\text{Re}_{\text{padi}}$  = Curah hujan efektif untuk padi sawah (mm/hr)

$R_{80}$  = Curah hujan rancangan probabilitas 80% (mm)

hari = Jumlah hari setiap periode

### 2.3.2.2. Curah Hujan Efektif Untuk Tanaman Palawija

Curah hujan efektif untuk tanaman palawija adalah berdasarkan probabilitas 50%, persamaannya adalah :

$$\text{Re plw} = \frac{R_{50}}{\text{hari}} \quad (2.9)$$

Dimana :

$R_{50}$  = Curah hujan efektif dengan probabilitas 50%

hari = Jumlah hari setiap periode

## 2.4. Debit Andalan

Debit andalan diartikan sebagai debit yang tersedia untuk keperluan tertentu (seperti irigasi, PLTA, air baku, dan lain-lain) sepanjang tahun, dengan resiko kegagalan yang telah diperhitungkan. Menurut pengamatan, besarnya debit andalan untuk berbagai keperluan adalah :



Tabel 2.1 Besarnya Keandalan Debit Untuk Berbagai Keperluan

Kegunaan	Keandalan
1. Penyediaan air minum	99%
2. Penyediaan air industri	95 - 98%
3. Penyediaan air irigasi untuk :	
- Daerah iklim setengah lembap	75 - 85%
- Daerah iklim kering	80 - 95%
4. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA)	85 - 90%

Sumber : Montarcih , 2009:91

Debit andalan dapat ditentukan dengan berbagai metode, masing-masing cara mempunyai ciri khas sendiri-sendiri. Pemilihan metode yang sesuai umumnya didasarkan atas pertimbangan data yang tersedia, jenis kepentingan, dan pengalaman. Metode-metode untuk analisis debit andalan tersebut antara lain sebagai berikut :

a. Metode karakteristik aliran (*flow characteristic*)

Perhitungan debit andalan dengan metode ini memakai data yang didapatkan berdasarkan karakteristik alirannya. Metode ini dipakai untuk :

1. Daerah Pengaliran Sungai (DPS) dengan fluktuasi maksimum dan minimumnya relatif besar dari tahun ke tahun
2. Kebutuhan yang relatif tidak konstan sepanjang tahun
3. Data yang tersedia cukup panjang.

Karakteristik aliran dalam hal ini dihubungkan dengan kriteria sebagai berikut :

1. Tahun normal, jika debit rata-rata tahunnya sama dengan atau mendekati debit rata-rata dari tahun ke tahun
2. Tahun kering, jika debit rata-rata tahunannya dibawah debit rata-rata dari tahun ke tahun
3. Tahun basah, jika debit rata-rata tahunnya diatas debit rata-rata dari tahun ke tahun.

b. Metode tahun penentu (*basic year*)

Penentuan debit andalan dengan metode ini, antara lain dengan menentukan suatu tahun tertentu sebagai dasar perencanaan.

c. Metode bulan penentu (*basic month*)

Metode ini adalah menentukan bulan tertentu sebagai dasar perencanaan.

d. Metode Q rata-rata minimum

Penentuan debit andalan dengan metode ini berdasarkan pada data debit rata-rata bulanan yang minimum, biasanya dipakai untuk :

1. DPS dengan fluktuasi debit maksimum dan minimum tidak terlalu besar dari tahun ke tahun
2. Kebutuhan relatif konstan sepanjang tahun.

Dalam studi ini perhitungan debit andalan dilakukan dengan metode tahun dasar (*basic year*), yaitu mengambil suatu pola debit dari tahun tertentu. Metode *basic year* biasa digunakan untuk merencanakan atau pengelolaan irigasi.

Menurut Suyono Sosrodarsono (2003:204), terminologi debit dinyatakan sebagai berikut :

1. Debit air cukup (*affluent*), yaitu debit yang dilampaui oleh debit-debit sebanyak 95 hari dalam setahun (peluang keandalan 26,02%)
2. Debit air normal, yaitu debit yang dilampaui oleh debit-debit sebanyak 185 hari dalam setahun (peluang keandalan 50,68%)
3. Debit air rendah, yaitu debit yang dilampaui oleh debit-debit sebanyak 275 hari dalam setahun (peluang keandalan 75,34%)
4. Debit air kering, yaitu debit yang dilampaui oleh debit-debit sebanyak 355 hari dalam setahun (peluang keandalan 97,30%).

Selain empat keandalan debit tersebut, juga dihitung debit dengan keandalan 80% sesuai dengan standar perencanaan irigasi.

Analisis debit andalan menggunakan metode tahun dasar perencanaan biasanya digunakan dalam perencanaan dan pengelolaan irigasi. Umumnya di bidang irigasi dipakai debit dengan keandalan 80%, sehingga rumus untuk menentukan tahun dasar perencanaan adalah sebagai berikut (Montarcih L, 2010:102)

$$R_{80} = \frac{n}{5} + 1 \quad (2.10)$$

Dengan :

$n$  = Jumlah Data

$R_{80}$  = Debit yang terjadi  $< R_{80}$  adalah 20 %, dan  $\geq R_{80}$

Angka 5 didapat dari  $(100\%)/(100\% - 80\%) = 5$ , jadi jika akan dicari  $R_{90}$  berarti  $= [n / \{100/(100\% / 90\%)\}] + 1$

## 2.5. Irigasi

Irigasi adalah penambahan kekurangan kadar air tanah secara buatan, yaitu dengan memberikan air yang perlu untuk pertumbuhan tanaman ke tanah yang diolah dan mendistribusikannya secara sistematis. Pemberian air irigasi yang berlebihan pada tanah yang diolah dapat merusak tanaman (Sosrodarsono, 2003:216). Pada daerah yang mengalami ketersediaan air rendah, terdapat tiga alternatif agar kebutuhan air irigasi dapat terpenuhi secara maksimal :

### 1. Luas daerah irigasi dikurangi

Dengan mengurangi luas lahan maka jelas kebutuhan air akan berkurang, karena kebutuhan air irigasi merupakan perkalian kebutuhan air tanah dikalikan dengan luas lahan.

### 2. Modifikasi dalam pola tata tanam

Melakukan perubahan pemilihan pola tata tanam atau tanggal tanam dalam rangka mengurangi kebutuhan air irigasi di sawah sehingga ada kemungkinan air dapat dimanfaatkan untuk luas lahan lebih optimal lagi.

### 3. Rotasi teknis atau golongan

Pengaturan penggunaan air pada suatu daerah sehingga mengurangi kebutuhan puncak air irigasi pada suatu waktu, sehingga dapat mengurangi debit air waduk yang harus dikeluarkan untuk mengairi lahan.

### 2.5.1. Pola Tata Tanam

Pola tata tanam adalah penjadwalan dan jenis tanaman yang diterapkan pada suatu jaringan irigasi. Tujuan dilakukan tata tanam adalah mengatur waktu, tempat, jenis dan luas tanaman pada daerah irigasi supaya dapat memanfaatkan air irigasi yang tersedia seefektif dan seefisien mungkin sehingga tanaman dapat tumbuh dengan baik. Hal pokok yang mendasari perlunya tata tanam adalah persediaan air pada musim kemarau yang terbatas, sehingga dengan jumlah air yang terbatas harus dapat dimanfaatkan seoptimal mungkin. Harapannya setiap petak sawah akan mendapatkan air sesuai dengan jumlah kebutuhan.

Beberapa hal yang perlu diatur dalam tata tanam adalah :

1. Waktu

Pemilihan tanaman untuk pertanian disesuaikan dengan waktu yang diperlukan untuk tahapan dalam proses pertumbuhan tersebut, sehingga dapat dipilih waktu yang tepat antara ketersediaan air pada bulan-bulan basah atau bulan kering dengan kebutuhan air untuk tanaman.

2. Tempat

Pengaturan tempat penanaman tanaman pada petak-petak tersier tertentu supaya pelayanan irigasi dapat lebih mudah dan berhubungan pula antara ketersediaan dengan kebutuhan air.

3. Jenis tanaman

Tiap jenis tanaman mempunyai tingkat kebutuhan air, umur tanaman, dan proses penanaman yang berlainan. Maka dipilih waktu, tempat, dan jenis tanaman tertentu sehingga air irigasi yang ada dapat dimanfaatkan seefektif mungkin.

4. Luas lahan

Luas lahan mempengaruhi besarnya kebutuhan air irigasi, karena itu kebutuhan air irigasi pada waduk adalah perkalian antara luas lahan dengan kebutuhan air irigasi dengan efisiensi yang diterapkan. Bila pengaturan waktu, tempat, dan jenis tanaman sudah dilakukan tetapi kebutuhan air tetap kurang maka dapat diatur luas tanaman yang ada.

Pada satu tahun terdapat musim hujan (Oktober-Maret) dan musim kemarau (April-September). Waktu tersebut menjadi pembatas dalam menentukan awal penanaman padi (pada musim hujan) dan jenis tanaman lain (pada musim berikutnya). Awal tanam juga sangat dipengaruhi awal musim hujan pada suatu daerah, sehingga ada kemungkinan awal tanam suatu daerah berbeda dengan daerah lain. Dalam studi ini menetapkan awal musim tanam pada bulan Januari.

### 2.5.2. Kebutuhan Air Tanaman

Kebutuhan air tanaman adalah jumlah air yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman, yaitu untuk mengganti air yang hilang akibat penguapan. Proses penguapan dibedakan menjadi evapotranspirasi dan transpirasi. Evaporasi adalah proses penguapan air bebas yang dipengaruhi faktor iklim. Transpirasi adalah proses air di dalam tumbuhan

dilimpahkan ke dalam atmosfer sebagai uap air yang dipengaruhi oleh jenis dan varietas tanaman. Evapotranspirasi adalah gabungan dari proses penguapan air bebas (evaporasi) dan penguapan air melalui tanaman (transpirasi) (Suhardjono, 1994:11). Evapotranspirasi merupakan faktor dasar untuk menentukan kebutuhan air dalam rencana irigasi dan merupakan proses yang penting dalam siklus hidrologi.

Kebutuhan air untuk tanaman tergantung dari besarnya evapotranspirasi dikalikan dengan faktor koefisien tanaman, dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Suhardjono, 1994:12) :

$$E_t = k \cdot E_{to} \quad (2.11)$$

Dengan :

$E_t$  = Kebutuhan air untuk tanaman (mm/hari)

$E_{to}$  = Evapotranspirasi potensial (mm/hari)

$k$  = Koefisien tanaman (mm/hari)

Dalam kondisi lapangan tidaklah mungkin untuk membedakan antara evaporasi dan transpirasi jika tanahnya tertutup tumbuh-tumbuhan. Kedua proses tersebut (evaporasi dan transpirasi) saling berkaitan sehingga dinamakan evapotranspirasi. Proses transpirasi berjalan terus hampir sepanjang hari di bawah pengaruh sinar matahari (Soemarto, 1986:44).

Jumlah kadar air yang hilang dari tanah oleh evapotranspirasi tergantung pada :

1. Faktor iklim seperti suhu, kelembapan, kecepatan angin, dan kecerahan matahari
2. Jenis, varietas, dan umur tanaman.

Menghitung besar evapotranspirasi dapat menggunakan beberapa rumus empiris seperti Penmann, Thornthwaite, Blaney-Criddle, Ture-Langbein-Wunt, dan lain-lain.

Dalam penyelesaian studi ini untuk menghitung besarnya evapotranspirasi digunakan rumus Penmann Modifikasi. Metode Penmann dipilih karena memiliki data iklim terukur yang lebih banyak, sehingga hasil perhitungan lebih teliti. Untuk perhitungan pada daerah-daerah di Indonesia (Suhardjono, 1994:54) rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$ET_0 = c \cdot ET^* \quad (2.12)$$

Dimana :

$$ET^* = w (0,75 R_s - R_{n1}) + (1 - w) f(u) (e_a - e_d) \quad (2.13)$$

Dengan :

- $w$  = Faktor yang berhubungan dengan temperatur ( $T$ ) dan elevasi daerah. Untuk daerah Indonesia dengan elevasi antara 0 - 500 m, hubungan harga  $T$  dan  $w$
- $R_s$  = Radiasi gelombang pendek dalam satuan evaporasi (mm/hari)  
 $= (0,25 + 0,54 n/N) R_a$
- $R_a$  = Radiasi gelombang pendek yang memenuhi batas luar atmosfer (angka angot) yang dipengaruhi oleh letak lintang daerah
- $R_{nl}$  = Radiasi bersih gelombang panjang (mm/hari)  
 $= f(t) \cdot f(e_d) \cdot f(n/N)$
- $f(t)$  = Fungsi suhu
- $f(e_d)$  = Fungsi tekanan uap  
 $= 0,34 - 0,44 \cdot \sqrt{e_d}$
- $f(n/N)$  = Fungsi kecerahan  
 $= 0,1 + 0,9 n/N$
- $f(u)$  = Fungsi dari kecepatan angin pada ketinggian 2 m dalam satuan (m/dt)  
 $= 0,27 (1 + 0,864 u)$
- $U$  = Kecepatan angin (m/dt)
- $(e_a - e_d)$  = Perbedaan tekanan uap jenuh dengan tekanan uap yang sebenarnya
- $e_d$  =  $e_a \cdot R_h$
- $R_H$  = Kelembapan udara relatif (%)
- $e_a$  = Tekanan uap jenuh (mbar)
- $e_d$  = Tekanan uap sebenarnya (mbar)
- $c$  = Angka koreksi Penmann yang memasukkan harga perbedaan kondisi cuaca siang dan malam.

Prosedur perhitungan  $E_{t0}$  berdasarkan rumus Penmann Modifikasi adalah sebagai berikut :

1. Mencari data suhu rerata bulanan ( $t$ )
2. Berdasarkan nilai ( $t$ ) cari nilai ( $e_a$ ), ( $W$ ), ( $1-W$ ), dan  $f(t)$
3. Cari data kelembapan relatif ( $R_h$ )
4. Berdasarkan nilai ( $e_a$ ) dan ( $R_h$ ) cari ( $e_d$ )

5. Berdasarkan nilai (ed) cari nilai f(ed)
6. Cari letak lintang daerah yang ditinjau
7. Berdasarkan letak lintang cari nilai (Ra)
8. Cari data kecerahan matahari (n/N)
9. Berdasarkan nilai (Ra) dan (n/N) cari besaran (Rs)
10. Berdasarkan nilai (n/N) cari nilai f(n/N)
11. Cari data kecepatan angin rerata bulanan (u)
12. Berdasarkan nilai (u) cari besaran f(u)
13. Hitung besar  $Rn1 = f(t) \cdot f(ed) \cdot f(n/N)$
14. Cari besarnya angka koreksi (c)
15. Hitung  $ET^* = W \cdot (0,75 Rs - Rn1) + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (ea - ed)$
16. Hitung  $ETo = c \cdot ET^*$

### 2.5.3. Koefisien Tanaman

Koefisien tanaman digunakan sebagai suatu faktor pengali untuk merubah dari evapotranspirasi potensial (ETo) menjadi evapotranspirasi sesungguhnya. Besarnya koefisien tanaman untuk setiap jenis tanaman berbeda-beda tergantung dari jenis tanaman, varietas tanaman, dan umur pertumbuhan tanaman. Selama setengah bulan terakhir pemberian air irigasi dihentikan, nilai koefisien tanaman = 0 dan padi akan masak dari air yang tersedia (kelembapan tanah) di petak sawah.

Dalam studi ini koefisien tanaman yang digunakan berdasarkan rekomendasi dari *Nedesco - Porosida*. Karena memiliki nilai yang sesuai dengan keadaan di Indonesia.

### 2.5.4. Perkolasi

Perkolasi adalah perjalanan air ke bawah dari daerah tidak jenuh (antara permukaan tanah sampai ke permukaan air tanah) ke dalam daerah jenuh (daerah di bawah permukaan tanah) (Soemarto, 1986:80).

Faktor-faktor yang mempengaruhi perkolasi diantaranya yaitu :

- Tekstur tanah, makin kasar makin besar angka perkolasinya
- Permeabilitas tanah
- Tebal lapisan tanah

- Letak permukaan air tanah, makin tinggi kedudukan air tanahnya makin rendah angka perkolasinya.

Harga perkolasi dari berbagai jenis tanah dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.2 Harga Perkolasi Dari Berbagai Jenis Tanah

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

Sumber : Fukuda dan Hikaru Tsutsui, Rice Irrigation In Japan, 1973:22

Jenis tanah di daerah studi adalah *Loam*, sehingga harga perkolasinya adalah 2 (mm/hari).

#### 2.5.5. Kebutuhan Air Untuk Pengolahan Lahan

Besar kebutuhan air untuk pengolahan tanah bergantung besarnya penjumlahan tanah, lama pengolahan, evaporasi, dan perkolasi. Kebutuhan air untuk pengolahan tanah pada tanaman padi direkomendasikan seperti berikut (Anonim, 1986:159) :

- Angka penjumlahan 200 mm → sawah tanpa bero
- Angka penjumlahan 250 mm → sawah bero lebih 2,5 bulan

Penyiapan lahan merupakan pekerjaan pengolahan tanah secara basah mulai dari pemberian air yang pertama, membersihkan jerami, dan sebagainya sampai siap ditanami. Tanah permukaan dibajak atau dicangkul sedalam 20 – 30 cm dengan tujuan untuk melunakkan dan membalikkan permukaan, kemudian dilumpurkan, dan diratakan. Pengolahan lahan dilakukan sebelum masa tanam padi selama 30 – 45 hari. Tetapi dengan tersedianya peralatan yang mesin seperti traktor, maka lama pengolahan lahan dianggap hanya 30 hari.

Kebutuhan air untuk pengolahan tanah pada pertanaman palawija merupakan kebutuhan untuk penjumlahan saja karena tidak dituntut adanya penggenangan. Untuk palawija, kebutuhan air untuk penjumlahan rata-rata sebesar 50 mm.

Untuk penyiapan lahan digunakan rumus empiris Van De Goor dan Zijlstra (Anonim, 1986:160).



$$IR = \frac{M \cdot e^k}{(e^k - 1)} \quad (2.14)$$

Dengan :

IR = Kebutuhan air irigasi di sawah saat pengolahan lahan (mm/hari)

M = Kebutuhan air untuk penggantian kehilangan akibat evaporasi dan perkolasi (mm)

=  $E_o + P$

$E_o$  = Evaporasi air terbuka, diambil 1,1  $E_{to}$  selama penyiapan lahan (mm/hari)

K = MT/S

T = Jangka waktu penyiapan lahan (hari)

S = Kebutuhan air untuk penjemuran ditambah dengan lapisan air (200+50) mm

e = Bilangan dasar dalam logaritma 2,7183

### 2.5.6. Penggantian Lapisan Air (WLR)

Penggantian lapisan air (WLR) sangat erat hubungannya dengan kesuburan tanah. Beberapa saat setelah penanaman, air yang digunakan pada permukaan sawah menjadi kotor dan biasanya mengandung zat-zat yang tidak diperlukan tanaman bahkan dapat merusak tanaman. Penggantian lapisan air digunakan untuk mengganti air genangan yang terbuang itu. Penggantian lapisan air hanya diperlukan untuk tanaman padi sedang pada palawija proses ini tidak diperlukan.

Ketentuan penggantian lapisan air (WLR) adalah sebagai berikut :

- WLR diperlukan saat terjadi pemupukan atau penyiangan
- Besarnya WLR adalah 50 mm
- Jangka waktu WLR adalah 1 bulan (selama 1 bulan air yang digunakan untuk WLR sebesar 50 mm)

Besarnya WLR diperkirakan 50 mm (Anonim, 1986:11). Bila digunakan periode 10 harian maka WLR sebesar 50 mm dibagi 30 hari = 1,67 mm/hari.

### 2.5.7. Kebutuhan Air di Sawah

Tanaman membutuhkan air agar dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik. Air tersebut dapat berasal dari air hujan maupun dari air irigasi. Air irigasi adalah sejumlah air yang umumnya diambil dari sungai atau waduk dan dialirkan melalui sistem jaringan irigasi guna menjaga keseimbangan jumlah air di lahan pertanian, sehingga sesuai dengan kebutuhan tanaman.

Besarnya kebutuhan air di sawah dipengaruhi oleh berbagai faktor sebagai berikut :

- Penyiapan lahan
- Penggunaan konsumtif
- Perkolasi
- Penggantian lapisan air
- Curah hujan efektif

Pendugaan kebutuhan di sawah dilakukan berdasarkan jenis tanaman, persamaan *netto* kebutuhan air (*Net Field Requirement* = NFR) dengan metode Standar Perencanaan Irigasi PU adalah sebagai berikut (Anonim, 1986:5) :

$$\text{NFR}_{\text{padi}} = \text{Et}_c + \text{WLR} + \text{P} - \text{Re}_{\text{padi}} \quad (2.15)$$

$$\text{NFR}_{\text{plw}} = \text{Et} + \text{P} - \text{Re}_{\text{plw}} \quad (2.16)$$

Dengan :

$\text{NFR}_{\text{padi}}$  = *Netto* kebutuhan air padi sawah (mm/hari)

$\text{NFR}_{\text{plw}}$  = *Netto* kebutuhan air palawija (mm/hari)

$\text{Et}_c$  = Kebutuhan air tanaman (mm/hari)

WLR = Kebutuhan air untuk penggantian lapisan air (mm/hari)

P = Perkolasi (mm/hari)

$\text{Re}_{\text{padi}}$  = Curah hujan efektif untuk padi sawah (mm/hari)

$\text{Re}_{\text{plw}}$  = Curah hujan efektif untuk palawija (mm/hari)

### 2.5.8. Efisiensi Irigasi

Efisiensi irigasi adalah perbandingan antara debit air yang sampai di pintu tersier lahan pertanian dengan debit air irigasi yang keluar dari pintu pengambilan. Perbedaan debit tersebut disebabkan adanya kehilangan-kehilangan dalam saluran yang disebabkan oleh berbagai faktor antara lain adanya penguapan, kebocoran, dan rembesan.

Kehilangan air secara umum dibagi dalam 2 (dua) kategori seperti berikut:

1. Kehilangan akibat fisik, yang disebabkan rembesan air di saluran dan perkolasi di tingkat lahan usaha tani (sawah)
2. Kehilangan akibat operasional, yang disebabkan pelimpasan dan kelebihan air pembuangan dan pada waktu pengoperasian saluran dan pemborosan penggunaan air oleh petani.

Kehilangan air akibat fisik, relatif lebih mudah untuk diperkirakan dan dikendalikan secara teliti. Sedangkan kehilangan akibat operasional lebih sulit diperkirakan dan dikendalikan secara teliti. Karena tergantung pada faktor yang sulit diketahui sejak awal seperti datangnya hujan. Sikap tanggap petugas operasi dan tingkat keterlibatannya.

Berdasarkan Kriteria Perencanaan Irigasi besarnya efisiensi irigasi pada saluran adalah sebagai berikut (Anonim, 1986:10) :

- Efisiensi saluran primer sebesar 90%
- Efisiensi saluran sekunder sebesar 90%
- Efisiensi saluran tersier sebesar 80%

Jadi besarnya efisiensi secara keseluruhan adalah sebesar 65% atau 0,65.

### 2.5.9. Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi adalah sejumlah air yang dibutuhkan untuk keperluan bercocok tanam pada petak sawah ditambah dengan kehilangan air pada jaringan irigasi. Untuk menghitung kebutuhan air irigasi menurut rencana pola tanam, ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan antara lain :

- a. Pola tanam yang direncanakan
- b. Luas areal yang akan ditanami
- c. Kebutuhan air pada petak sawah
- d. Efisiensi irigasi.

Kebutuhan air irigasi yang perlu disediakan pada pintu pengambilan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Dr = \frac{Wr \cdot T}{Eff} \times A \quad (2.17)$$

Dimana :

$D_r$  = Kebutuhan akan air irigasi ada pintu pengambilan (liter/detik/ha)

$W_r$  = Kebutuhan air irigasi pada lahan pertanian (mm/hari)

$T$  = Waktu (24 jam\*3600 detik)

$A$  = Luas areal yang akan diairi (ha)

$Eff$  = Efisiensi saluran irigasi

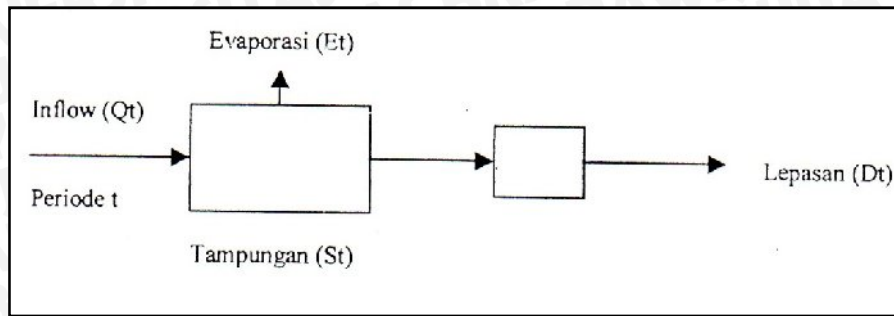
## 2.6. Operasi dan Pola Operasi Waduk

Operasi waduk (*reservoir operation*) adalah penampungan aliran air sungai ke dalam sebuah waduk (*reservoir*) dan pelepasan daripada air yang telah ditampung tersebut untuk berbagai tujuan tertentu. (Soetopo W,2010:2) Sedangkan Pola operasi adalah patokan operasional periode suati waduk dimana debit air yang dikeluarkan oleh waduk harus mengikuti ketentuan agar elevasinya terjaga sesuai dengan rancangan. Ini direncanakan dengan cara menganalisa perilaku operasi waduk yang bertujuan membuat keseimbangan antara volume tampungan, debit masukan (*inflow*) dan keluaran (*outflow*). Dalam studi ini akan menggunakan analisa perilaku operasi waduk dengan model simulasi

### 2.6.1. Simulasi

Lingkup waktu dari simulasi mencakup 1 tahun operasi atau lebih tergantung dari kebutuhannya. Salah satu operasi dibagi-bagi menjadi sejumlah periode, misalnya bulanan, 15 harian, 10 harian, mingguan, maupun harian. Persamaan umum simulasi operasi waduk adalah Neraca Keseimbangan Air (*water balance*).

Dalam situasi atau analisa perilaku operasi waduk bertujuan untuk mengetahui perubahan kapasitas tampungan waduk. Persamaan yang digunakan adalah kontinuitas tampungan (*mass storage equation*) yang memberi hubungan antara masukan, keluaran, dan perubahan tampungan.



Gambar 2.4. Model Simulasi

Persamaan secara matematika dinyatakan sebagai berikut (Mc.Mahon and Mein, 1978:24) :

$$S_{t+1} = S_t + Q_t - D_t - E_t - L_t \quad (2.18)$$

Dengan kendala  $0 \leq S_{t+1} \leq C$

Dengan :

$S_{t+1}$  = Tampungan waktu pada akhir interval waktu

$t$  = Interval waktu yang digunakan

$S_t$  = Tampungan waduk pada awal interval waktu

$Q_t$  = Aliran masuk selama interval waktu  $t$

$D_t$  = Lepasan air selama interval waktu  $t$

$E_t$  = Evaporasi selama interval waktu  $t$

$L_t$  = Kehilangan-kehilangan air lain dari waduk selama interval waktu  $t$ , mempunyai harga yang kecil dan dapat diabaikan

$C$  = Tampungan aktif (tampungan efektif).

Kapasitas tampungan harus dapat menjamin pasokan air dengan keandalan pemenuhan yang telah direncanakan.

Dengan mempertimbangkan luas genangan waduk yang bervariasi terhadap waktu, maka lebih lanjut persamaan ditulis sebagai berikut :

$$S_{t+1} = S_t + Q_t + R_t(A) - O_t - E_t - P_t - S P_t(A) \quad (2.19)$$

Dengan :

$R_t(A)$  = Hujan yang jatuh ke waduk pada interval waktu  $t$ , sebagai fungsi luas permukaan air waduk

$O_t$  = Pengambilan air waduk selama interval dari  $t$

$E_t(A)$  = Evaporasi selama interval waktu  $t$ , sebagai fungsi luas permukaan di waduk

$P_t$  = Limpahan yang melewati bangunan pelimpah selama interval waktu  $t$

$S_{Pt}(A)$  = Rembesan keluar dari waduk selama interval waktu, sebagai fungsi luas permukaan air waduk mempunyai harga yang kecil dan dapat diabaikan.

Aturan umum dalam simulasi waduk adalah :

1. Air waduk tidak boleh turun di bawah tampungan aktif. Dalam banyak keadaan, maka batas bawah tampungan aktif ini ditentukan oleh tingginya lubang *outlet* waduk.
2. Air waduk tidak dapat melebihi batas atas tampungan aktif. Dalam banyak keadaan maka batas atas tampungan aktif ini ditentukan oleh puncak *spillway*. Apabila terjadi kelebihan air, maka kelebihan ini akan melimpah (*spillout*).
3. Ada beberapa waduk (waduk multiguna) yang memiliki batasan debit yang dikeluarkan (*outflow*), baik debit maksimum atau debit minimum.

### 2.6.2. Pendekatan Operasi Waduk

Pendekatan yang digunakan dalam operasi waduk adalah pola operasi dengan pendekatan tahunan (*one year return*) artinya waduk pada awal operasi dalam kondisi penuh dan untuk periode satu tahun operasi waduk diusahakan kembali penuh

### 2.6.3. Kegagalan dan Keandalan Waduk

Penilaian kuantitatif kegagalan waduk dapat didasarkan pada kegagalan menurut jumlah kejadian (*occurrence based probability*) maupun jumlah kekurangan air (*volume based probability*). Kegagalan yang dimaksud adalah besaran debit yang dikeluarkan waduk. Debit yang keluar dari waduk adalah hasil perencanaan.

Peluang kegagalan didefinisikan sebagai banyaknya kejadian waduk mengalami kegagalan selama operasinya dalam kurun waktu yang ditinjau. Persamaan matematisnya sebagai berikut (Mc.Mahon and Mein, 1978:17) :

$$P_e = \frac{P}{N} \quad (2.20)$$

Dimana :

$P_e$  = Peluang kegagalan

$P$  = Banyaknya waduk mengalami kekosongan

$N$  = Total satuan waktu yang ditinjau

Keandalan dari suatu waduk adalah berapa persen dari interval waktu operasi waduk berhasil memenuhi kebutuhan yang direncanakan. Dapat dinyatakan dalam persen atau fraksi 1 (satu). Dalam realitasnya tidak ada keandalan waduk 100%.

Hubungan antara keandalan dan peluang kegagalan dirumuskan sebagai berikut :

$$R = 1 - P_e \quad (2.21)$$

Dimana :

$R$  = Peluang keandalan

Besarnya kegagalan waduk dinyatakan dalam bentuk prosentase daripada rerata debit *inflow*, biasanya berkisar antara 50%-75% dan jarang diatas 90% (Soetopo, 2009:10). Berdasarkan pertimbangan bahwa debit yang tersedia dapat dimaksimalkan, maka keandalan yang direncanakan pada studi ini adalah 80%. Sedangkan kegagalan yang direncanakan sebesar 20%.

### 2.7. Pedoman Lepas Pola Operasi Waduk (*Rule Curve*)

Volume air yang dilepaskan dari waduk umumnya sama dengan volume kebutuhan air. Hal ini akan memungkinkan pada suatu saat elevasi muka air waduk menjadi sangat rendah (dibawah elevasi operasional minimum) sehingga tidak dapat melayani kebutuhan, kecuali bila ada kebijakan yang mengatur bahwa hanya sebagian kebutuhan air yang dilayani dari waduk (Mc.Mahon and Mein, 1978:16) Cara mengontrol pelepasan air ini disebut pedoman operasi waduk.

Pedoman pelepasan tersebut dibuat dengan mengadakan pembatasan pelepasan air jika muka air waduk mulai turun, untuk menghindari kegagalan akibat waduk kosong jauh sebelum datangnya musim hujan. Pembatasan-pembatasan tersebut biasanya diberikan dalam suatu diagram yang sering disebut *rule curve*. Dengan *rule curve* waduk diatur agar tidak kosong dan tetap dapat memberikan pelayanan pemberian air walau tidak secara penuh. *Rule curve* tidak dimaksudkan sebagai suatu batas yang kaku untuk setiap waktu, tetapi lebih merupakan petunjuk yang didasarkan pada analisis dari semua pencatatan terakhir untuk membantu operator waduk agar dapat mencapai efisiensi yang maksimal.

*Rule curve*, antar lain berbentuk tabel atau grafik, seperti yang digambarkan oleh para ahli atas dasar data terdahulu, mencerminkan tampungan maksimum waduk yang

dicapai pada waktu yang berbeda pada musim hujan. Seperti sebuah kurva, mencerminkan zona yang kosong yang dilewatkan di waduk pada hari atau minggu pada musim hujan.

Pihak operator waduk diharapkan untuk mengikuti *Rule Curve* ini sedekat mungkin, sementara mencoba untuk memenuhi berbagai kebutuhan di wilayah hilir dari waduk. Cara penerapan *Rule Curve* ini pada dasarnya adalah jika tampungan waduk cenderung menuju ke sebelah atas dari *Rule Curve*, maka lepasan ditambah besarnya. Sebaliknya jika tampungan waduk cenderung menuju ke sebelah bawah dari *Rule Curve*, maka lepasan dikurangi besarnya (Soetopo W, 2010:16)

## 2.8. Model Hidrologi Matematik

### 2.8.1. Umum

Dalam perencanaan bangunan air yang memerlukan data yang banyak masih sering ditemukan banyak kendala, seperti sulitnya para teknisi mengumpulkan data debit sungai berupa deret angka yang cukup panjang.

Walaupun demikian dari pencatatan curah hujan harian yang relatif mudah dapat ditentukan debit harian. Hal ini dapat ditempuh dengan cara simulasi yang menggunakan model matematik. Dengan cara tersebut kita bahkan dapat meramal kedepan dalam hal deret data debit bulanan berdasarkan deret data debit bulanan masa lampau. Peramalan debit tersebut diperlukan dalam membuat pola eksploitasi waduk untuk tahun berikutnya (Soemarto, 1986:439)

Model- model matematik dalam ilmu Hidrologi Umumnya ada 2 kelompok :

1. Deterministik
2. Stokastik

Jika ada diantara variabel-variabel acak (random) yang mempunyai distribusi dalam probabilitas maka model tersebut dinamakan model stokastik., dalam kelompok stokastik variabel-variabel hidrologi yang digunakan lebih ditekankan ketergantungan kepada waktu. Jika variabel-variabelnya bebas dari keragaman acak, sehingga tidak ada yang mempunyai distribusi dalam probabilitas, maka model tersebut dipandang sebagai model deterministik. Dibawah ini akan ditampilkan beberapa perbedaan yang mendasar mengenai model deterministik dan stokastik.



### 2.8.2 Perbedaan Model Deterministik dan Stokastik

Model Deterministik	Model Stokastik
1. Tidak bergantung pada peluang	1. Bergantung pada peluang
2. Tidak berubah karena waktu	2. Bergantung pada waktu
3. Tidak ada unsur random	3. Ada unsur random (acak)
4. Perubahan variabel (mengikuti hukum kepastian)	4. Perubahan variabel (merupakan faktor peluang)
5. Tidak mempunyai kecenderungan (trend)	5. Mempunyai kecenderungan (trend)







