

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Umum

Embung merupakan bangunan yang diperuntukan untuk menampung kelebihan pada waktu tertentu agar dapat dipakai pada waktu yang diperlukan. Manajemen air (*water management*) di tampungan embung merupakan usaha untuk mengatur jumlah air yang masuk dan keluar dari tampungan embung. Pengaturan bertujuan untuk mengatur penggunaan air dengan baik agar dapat menunjang kegiatan dan kesejahteraan manusia. Air yang dikendalikan masuk ke dalam tampungan embung dari hujan maupun dari debit sungai yang masuk ke dalam embung, sehingga air dapat disediakan dalam waktu yang tepat dalam jumlah yang diperlukan

Daerah studi berada di Desa Bulung Kecamatan Klampis Kabupaten Bangkalan yang merupakan desa yang belum terjangkau kebutuhan air baku layak minum, sehingga masih ada desa tertinggal. Pada studi sebelumnya telah dilakukan perencanaan *Basic Design* Embung Bulung oleh PT. Saka Buana Yasa Selaras pada tahun perencanaan 2007. Adapun tujuannya adalah untuk merencanakan Embung Bulung sebagai suplai kebutuhan air (terutama kebutuhan akan air bersih) bagi masyarakat di sekitar lokasi embung tersebut.

#### 2.2. Konsep Dasar Neraca Air

Konsep dasar neraca air pada dasarnya menunjukkan keseimbangan antara jumlah air yang tersedia dengan jumlah air yang dimanfaatkan. Dengan demikian untuk mengetahui neraca air pada suatu daerah haruslah diketahui besarnya potensi atau jumlah air yang tersedia pada daerah tersebut dan jumlah air kebutuhan. Secara umum persamaan neraca air dirumuskan dengan:

$$I = O \pm \Delta S \quad (2-1)$$

Dengan:

I = masukan ( $m^3$ )

O = keluaran ( $m^3$ )

$\Delta S$  = perubahan tampungan

Neraca air merupakan hubungan antara *Inflow* total dan *Outflow* total yang terjadi pada suatu DAS yang dipengaruhi oleh beberapa komponen-komponen seperti debit aliran sungai, curah hujan, evaporasi, perkolasi, kelembaban tanah, dan periode waktu.

### 2.3. Kebutuhan Air

Faktor utama untuk menentukan kelebihan air penduduk di masa mendatang adalah dengan mengetahui jumlah dan pertumbuhan penduduk. Untuk mengetahui hal tersebut maka perlu dilakukan analisis untuk memperkirakan jumlah penduduk pada masa yang akan datang. Proyeksi jumlah penduduk di masa mendatang dapat dilakukan dengan menggunakan metode yang digunakan Badan Pusat Statistik. Proyeksi ini dibuat dengan metode Komponen yang berdasarkan asumsi tentang kecenderungan fertilitas, mortalitas, serta perpindahan penduduk metode ini dilakukan oleh kecenderungan yang terjadi di masa lalu dengan memperhatikan berbagai faktor yang mempengaruhi ketiga komponen laju pertumbuhan

Jika suatu daerah mempunyai suatu sistem pencatatan penduduk yang baik, jumlah penduduk pada akhir suatu periode waktu dan daerah yang bersangkutan dapat diperkirakan dengan antara lain:

1. Metode Komponen yang menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_n = P_0 + B - D + I - E \quad (2-2)$$

Dengan :

$P_n$  = jumlah penduduk pada tahun ke  $n$  (orang)

$P_0$  = jumlah penduduk pada awal tahun (orang)

$B$  = kelahiran (orang)

$D$  = kematian (orang)

$I$  = imigrasi (orang)

$E$  = emigrasi (orang)

Jika angka-angka jumlah kematian dan kelahiran tidak tersedia dan yang tersedia hanya angka jumlah pada waktu – waktu seperti di waktu sensus pertambahan penduduk dapat diperkirakan menggunakan rumus-rumus geometri dan eksponensial, yaitu :

2. Pertumbuhan Geometri (*Geometric Rate of Growth*)

Perkiraan laju pertumbuhan penduduk geometri di asumsikan mengikuti deret geomtris dengan rasio pertumbuhan adalah sama untuk setiap tahunnya. Rumus dari rasio pertumbuhan adalah

$$P_n = P_0 \cdot (1 + r)^n \quad (2-3)$$

Dengan :

$P_n$  = jumlah penduduk pada tahun ke  $n$  (orang)

$P_0$  = jumlah penduduk pada awal tahun (orang)

$r$  = angka pertumbuhan penduduk (%)

$n$  = interval waktu (tahun)

### 3. Pertumbuhan Eksponensial (*Exponential Rate of Growth*)

Perkirakan laju pertumbuhan eksponensial diasumsikan penambahan penduduk secara terus menerus setiap hari dengan angka pertumbuhan penduduk. Perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P_n = P_0 \cdot e^{r \cdot n} \quad (2-4)$$

Dengan :

$P_n$  = jumlah penduduk pada tahun ke  $n$  (orang)

$P_0$  = jumlah penduduk pada awal tahun (orang)

$r$  = angka pertumbuhan penduduk

$n$  = interval waktu (tahun)

$e$  = bilangan logaritma natural (2,718281828)

Dari ketiga rumus diatas yang signifikan untuk digunakan dalam proyek dengan jangka waktu yang panjang adalah metode komponen, karena metode mempunyai kelebihan yaitu memperhatikan perubahan tiap-tiap komponen dalam pertumbuhan penduduk yaitu fertisasi (kelahiran), mortalitas (kematian), dan migrasi. Metode tersebut merupakan metode yang diacu oleh Badan Pusat Statistik. Namun demikian untuk mengetahui komponen migrasi dalam analisis pertumbuhan penduduk pada tingkat kecamatan atau dibawahnya sangat sulit mendapatkan informasi atau data tentang hal tersebut, sehingga penelitian ini penambahan jumlah penduduk dihitung berdasarkan metode geometri dan eksponensial yang mengasumsikan rasio penambahan penduduk adalah sama untuk setiap tahunnya. Kemudian dari hasil perhitungan diuji dengan cara berdasarkan pada koefisien korelasi yang mendekati +1, dimana angka ini sebagai indikasi bahwa korelasi antara 2 variabel berarti positif atau kuat sekali.

Tabel 2.1 Standar Kebutuhan Air Baku

Katagori Kota	Keterangan	Jumlah penduduk	Kebutuhan Air
		(orang)	(liter/orang/hari)
I	Kota Metropolitan	Diatas 1 jiwa	190
II	Kota Besar	500000 s.d 1 juta	170
III	Kota Sedang	100000 s.d 500000	150
IV	Kota Kecil	20000 s.d 100000	130
V	Desa	10000 s.d 20000	100
VI	Desa Kecil	3000 s.d 10000	60

Sumber: Irene Dhilan, 2008:23

Kebutuhan air baku yang perlu disediakan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q = P_n \times q \quad (2-5)$$

Dengan :

Q = kebutuhan air baku

P<sub>n</sub> = jumlah penduduk terlayani (jiwa)

q = debit keluaran individu

## 2.4. Volume Ketersedian Air

Salah satu aspek yang harus diketahui sebelum mengadakan analisis neraca air untuk suatu daerah tertentu adalah jumlah air dalam pengertian sumber daya air pada dasarnya berasal dari air hujan. Air permukaan dan air tanah. Hujan yang jauh diatas permukaan pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) atau Wilayah Sungai (WS) sebagian akan menguap kembali pada sesuai dengan iklimnya, sebagian akan mengalir melalui permukaan dan sub permukaan masuk ke dalam saluran, sungai dan sebagian lagi akan meresap jatuh ke tanah sebagai imbuhan (*Recharge*).

### 2.4.1. Curah Hujan Rerata

Ada tiga macam cara umum yang umum dipakai dalam menghitung curah hujan rata-rata daerah (Suripin, 2004:26), antara lain:

#### 1. Metode rata-rata hitung (rata-rata aljabar)

Merupakan metode yang paling sederhana dalam perhitungan hujan kawasan karena didasarkan pada asumsi bahwa semua penakar hujan mempunyai pengaruh yang setara. Cara ini cocok untuk kawasan dengan topografi rata atau datar, alat penakar tersebut merata, dan harga individual curah hujan untuk tidak terlalu jauh dari harga rata-ratanya. Curah hujan rerata daerah diperoleh dari persamaan :

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} \quad (2-6)$$

Dengan P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, ..... P<sub>n</sub> adalah curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2, ....., n dan n adalah banyaknya pos penakar hujan.

#### 2. Metode Poligon Thiessen

Metode ini dikenal juga sebagai metode rata-rata timbang (*weighted mean*). Cara ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua

pos yang satu dengan lainnya adalah linier atau bahwa sembarang pos dianggap dapat mewakili kawasan terdekat.

Hasil metode poligon Thiessen lebih akurat dibandingkan dengan metode rata-rata aljabar. Cara ini cocok untuk daerah datar dengan luas 500 – 5.000 km<sup>2</sup>, dan jumlah pos penakar hujan terbatas dibandingkan luasnya.

Prosedur penerapan metode ini meliputi langkah-langkah sebagai berikut:

1. Lokasi pos penakar hujan diplot pada peta DAS. Antar pos penakar dibuat garis lurus penghubung.
2. Tarik garis tegak lurus di tengah-tengah tiap garis penghubung sedemikian rupa, sehingga membentuk poligon Thiessen. Semua titik dalam satu poligon akan mempunyai jarak terdekat dengan pos penakar yang ada didalamnya dibandingkan dengan jarak terhadap pos lainnya. Selanjutnya, curah hujan pada pos tersebut dianggap representasi hujan kawasan dalam poligon yang bersangkutan.
3. Luas areal pada tiap-tiap poligon dapat di ukur dengan planimeter dan luas total DAS, A, dapat diketahui dengan persamaan berikut (Suripin, 2004:27) :

$$P = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + \dots + A_n P_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2-7)$$

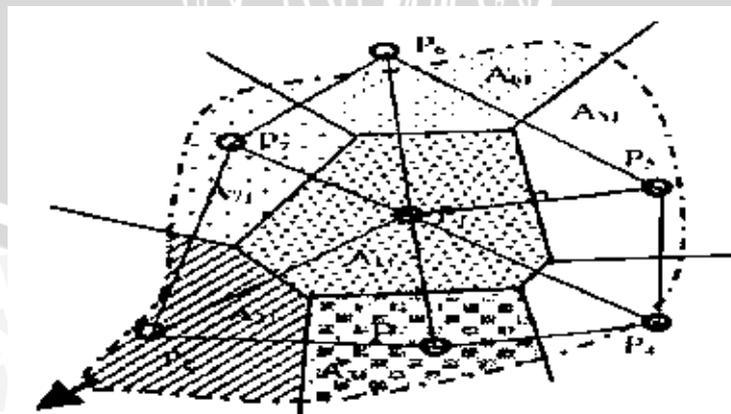
Dengan :

A = luas daerah (DAS) (km<sup>2</sup>)

P = tinggi hujan rata-rata DAS (mm)

P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, ..... P<sub>n</sub> = tinggi curah hujan di pos 1, 2, 3, ..... n (mm)

A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, ..... A<sub>n</sub> = luas daerah pengaruh pos 1, 2, 3, ..... n (km<sup>2</sup>)



Gambar 2.1 Poligon thiessen  
Sumber: Suripin, 2004:28

### 3. Metode Isohyet

Metode ini merupakan metode yang paling akurat untuk menentukan hujan rata-rata, namun diperlukan keahlian dan pengalaman. Cara ini memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap-tiap pos penakar hujan. Dengan kata lain asumsi metode Thiessen menganggap bahwa tiap-tiap pos penakar mencatat kedalaman yang sama untuk daerah sekitarnya dapat dikoreksi.

Metode Isohyet terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut:

1. Plot data kedalaman air hujan untuk tiap pos penakar hujan pada peta.
2. Gambar kontur area antara dua garis Isohyet dengan menggunakan planimeter. Kalikan masing-masing luas areal dengan rata-rata hujan antara dua Isohyet yang berdekatan.

Perhitungan hujan rata-rata DAS dengan persamaan berikut (Suripin, 2004:30) :

$$P = \frac{A_1 \frac{P_0 + P_1}{2} + A_2 \frac{P_1 + P_2}{2} + \dots + A_n \frac{P_n + P_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2-8)$$

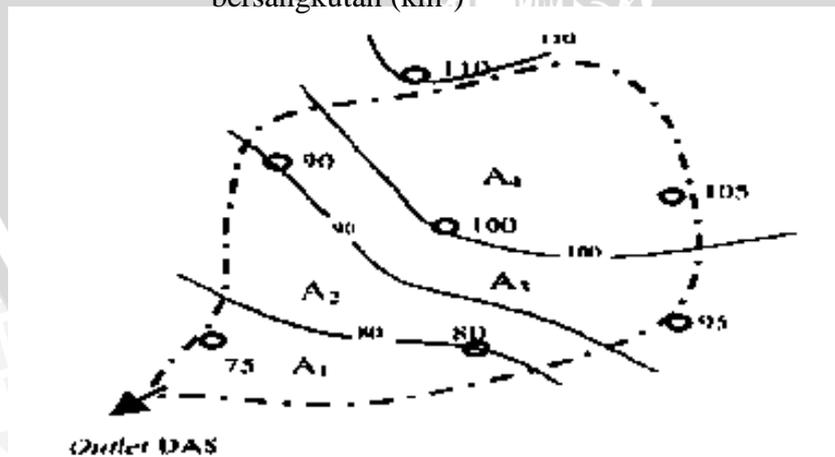
Dengan :

$A_1 + A_2 + \dots + A_n$  = luas areal ( $\text{km}^2$ )

$P$  = tinggi curah hujan rata – rata DAS (mm)

$P_0, P_1, \dots, P_n$  = curah hujan pada Isohyet 0, 1, 2, ..., n (mm)

$A_1, A_2, \dots, A_n$  = luas bagian areal yang dibatasi oleh isohyet-isohyet yang bersangkutan ( $\text{km}^2$ )



Gambar 2.2 Isohyet  
Sumber: Suripin, 2004:29

Ada beberapa kelebihan dan kekurangan dari ketiga metode diatas dalam pemilihan metode yang cocok untuk menentukan curah hujan rerata daerah yang cocok dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut dengan mempertimbangkan beberapa faktor berikut :

a. Jaring-jaring pos penakar hujan

Tabel 2.2 Pemilihan Metode Penentuan Curah Hujan Berdasarkan Jumlah Pos Penakar Hujan

Jumlah Pos Penakar Hujan	Metode
Cukup	Isohyet, poligon Thiessen atau Rata-rata hitung
Terbatas	Rata-rata hitung atau poligon Thiessen
Tunggal	Hujan Titik

Sumber: Suripin, 2004:31

b. Luas DAS

Tabel 2.3 Pemilihan Metode Penentuan Curah Hujan Berdasarkan Luas DAS

Luas DAS	Metode
DAS besar (> 5000 km <sup>2</sup> )	Isohyet
DAS sedang (500 s/d 5000 km <sup>2</sup> )	Poligon Thiessen
DAS kecil (< 500 km <sup>2</sup> )	Rata-rata Hitung

Sumber: Suripin, 2004:31

c. Topografi DAS

Tabel 2.4 Pemilihan Metode Penentuan Curah Hujan Berdasarkan Topografi

Luas DAS	Metode
Pegunungan	Rata-rata Hitung
Daratan	Poligon Thiessen
Berbukit dan tidak beraturan	Isohyet

Sumber: Suripin, 2004:32

#### 2.4.1.1. Uji Konsistensi Data Curah Hujan

Metode statistik lain bila tidak tersedia data pembandingan maka digunakan Metode *RAPS (Rescaled Adjusted Partial Sums)* merupakan pengujian konsistensi dengan menggunakan data dari stasiun itu sendiri (uji homogenitas), yaitu pengujian kumulatif penyimpangan terhadap nilai rata-rata dibagi dengan akar kumulatif rerata penyimpangan kuadrat. Metode ini berdasarkan data curah hujan setempat, di mana data curah hujan yang tersedia di sekitar lokasi proyek sangat terbatas. Data yang diperoleh dari alat pencatat bisa jadi tidak konsisten karena: alat pernah rusak, alat pernah pindah tempat, lokasi alat terganggu, atau terdapat data tidak sah. (Harto, 1993:59)

Persamaan yang dipergunakan dalam metode ini adalah sebagai berikut :

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \quad \text{dengan } k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2-9)$$

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{D_y} \tag{2-10}$$

$$D_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y})^2}{n} \tag{2-11}$$

Dengan:

- $Y_i$  = data hujan ke-i
- $Y$  = data hujan rerata – i
- $D_y$  = deviasi standar
- $n$  = jumlah data

untuk uji konsistensi digunakan cara statistik:

- $Q$  = maks  $S_k^{**}$ ,  $0 \leq k \leq n$  atau
- $R$  = maks  $S_k^{**}$  - minimum  $S_k^{**}$ , dengan  $0 \leq k \leq n$

Untuk nilai kritik  $Q$  dan  $R$  ditunjukkan pada tabel 2.5

Tabel 2.5 nilai  $Q/\sqrt{n}$  dan  $R/\sqrt{n}$

N	$Q/\sqrt{n}$			$R/\sqrt{n}$		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1.05	1.14	1.129	1.21	1.28	1.38
20	1.1	1.22	1.142	1.34	1.43	1.6
30	1.12	1.24	1.46	1.4	1.5	1.7
40	1.13	1.26	1.5	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	1.5	1.62	1.86
	1.22	1.36	1.63	1.63	1.75	2

Sumber: Sri Harto, 1993:60

Dengan melihat nilai statistik di atas maka dapat di cari nilai  $Q/\sqrt{n}$  dan  $R/\sqrt{n}$ . Hasil yang di dapat dibandingkan dengan nilai  $Q/\sqrt{n}$  syarat dan  $R/\sqrt{n}$  syarat, jika lebih kecil maka data masih dalam batasan konsisten.

## 2.5. Evapotranspirasi

### 2.5.1. Evaporasi

Peristiwa berubahnya air menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air ke udara disebut evaporasi (penguapan). Peristiwa penguapan dari tanaman disebut transpirasi. Kedua-duanya bersama-sama disebut evapotranspirasi.



Besarnya faktor meteorologi yang mempengaruhi evaporasi adalah sebagai berikut (Soemarto, 1986:43) :

a. Radiasi matahari.

Evaporasi merupakan konversi air ke dalam uap air. Proses ini terjadi hampir tanpa berhenti di siang hari dan kerap kali juga di malam hari. Perubahan dari keadaan cair menjadi gas ini memerlukan input energi yang berupa panas *latent* untuk evaporasi. Proses tersebut akan sangat aktif jika ada penyinaran langsung dari matahari. Awan merupakan penghalang radiasi matahari dan akan mengurangi input energi, jadi akan menghambat proses evaporasi.

b. Angin.

Jika air menguap ke atmosfer maka lapisan batas antara tanah dengan udara menjadi jenuh oleh uap air sehingga proses evaporasi berhenti. Agar proses tersebut berjalan terus lapisan jenuh itu harus diganti dengan udara kering. Pergantian itu dapat dimungkinkan hanya kalau ada angin, jadi kecepatan angin memegang peranan dalam proses evaporasi.

c. Kelembapan relatif.

Faktor lain yang mempengaruhi evaporasi adalah kelembapan relatif udara. Jika kelembapan relatif ini naik, kemampuan untuk menyerap uap air akan berkurang sehingga laju evaporasinya akan menurun. Penggantian lapisan udara pada batas tanah dan udara dengan udara yang sama kelembapan relatifnya pada batas tanah dan udara dengan udara yang sama kelembapan relatifnya tidak akan menolong untuk memperbesar laju evaporasi. Ini hanya dimungkinkan jika diganti dengan udara yang lebih kering.

d. Suhu (temperatur).

Seperti disebutkan diatas input energi sangat diperlukan agar evaporasi berjalan terus. Jika suhu udara dan tanah rendah, karena adanya energi panas yang tersedia. Karena kemampuan udara untuk menyerap uap air yang akan naik jika suhunya naik, maka suhu udara mempunyai efek ganda terhadap besarnya evaporasi, sedangkan suhu tanah dan air hanya mempunyai efek tunggal.

### 2.5.2. Transpirasi

Transpirasi adalah proses pengangkutan air yang berasal dari daerah perakaran (*root zone*) suatu tanaman, melalui jaringan perakaran air tersebut diangkut sampai daun dengan membawa sedikit Karbondioksida ( $CO_2$ ) dan menguap kembali ke atmosfer. Pada siang hari bagian stomata daun akan terbuka sehingga udara dapat masuk kedalam

stomata tersebut, dengan membawa Karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan akan memperoleh karbohidrat yang kemudian hasil proses itu akan bermanfaat untuk pertumbuhan tanaman tersebut. Pada saat stomata terbuka dan udara masuk ke atmosfer, maka pada saat proses ini umumnya disebut dengan transpirasi

Semua jenis tanaman memerlukan air untuk kelangsungan hidupnya, dan masing-masing tanaman berbeda-beda kebutuhannya. Hanya sebagian kecil air yang tertinggal di dalam tubuh tumbuhan, sebagian besar daripadanya setelah diserap lewat akar-akar dan dahan-dahan akan di-transpirasikan lewat bagian tumbuh-tumbuhan yang berdaun.

### 2.5.3. Evapotranspirasi Potensial ( $ET_0$ )

Evaporasi dan transpirasi merupakan faktor dalam studi pengembangan sumberdaya air. Evaporasi adalah proses fisik yang mengubah suatu cairan zat padat menjadi suatu gas. Sedangkan transpirasi merupakan penguapan yang terjadi pada suatu tumbuhan. Jika proses dari evaporasi dan transpirasi saling berkaitan disebut evapotranspirasi. Sehingga evapotranspirasi merupakan penguapan yang berasal dari tanah (evaporasi) dan penguapan yang berasal dari tumbuhan (transpirasi).

Besarnya evapotranspirasi tergantung dari beberapa faktor yaitu, tergantung pada suhu, kelembapan relatif, radiasi, dan angin. Oleh karena itu perkiraan besarnya evaporasi yang didapat merupakan evapotranspirasi potensial. Ada beberapa rumus yang telah dikembangkan untuk menghitung besarnya evapotranspirasi potensial, yaitu diantaranya:

1. Radiasi
2. Blaney-Criddle
3. Penman

Dalam kajian studi ini yang digunakan adalah rumus Penman. Rumus Penman membutuhkan banyak data terukur, yaitu suhu udara bulanan rerata, kelembapan relatif bulanan, kecerahan matahari bulanan, kecepatan angin bulanan rerata, dan letak lintang daerah yang ditinjau.

Untuk perhitungan pada daerah di Indonesia rumus yang digunakan sebagai berikut (Suhardjono, 1994:54) :

$$ET_0 = c \cdot ET_0^* \quad (2-12)$$

$$ET_0^* = w (0,75.R_s - R_{n-1}) + (1 - w) f(u) (e_a - e_d) \quad (2-13)$$

dengan :

$$ET_0 = \text{evapotranspirasi rujukan (mm/hari)}$$

$$c = \text{angka koreksi Penman yang memasukkan harga perbedaan kondisi cuaca}$$

$ET_0^*$  = besaran evapotranspirasi potensial sebelum dikoreksi (mm.hari)

$W$  = faktor yang berhubungan dengan temperature ( $t$ ) dan elevasi daerah

Untuk daerah Indonesia dengan elevasi antara 0 – 500 m, hubungan  $t$  dan  $w$  seperti pada tabel 2.7

$$R_s = \text{radiasi gelombang pendek dalam suatu evaporasi (mm/hari)} \\ = (0,25 + 0,54 n/N) R_a \quad (2-14)$$

$R_a$  = radiasi gelombang pendek yang memenuhi batas luar atmosfer (angka angot) yang dipengaruhi oleh letak lintang daerah. (mm/hari). Harga  $R_a$  seperti pada tabel 2.6

$$R_{n-l} = \text{radiasi bersih gelombang panjang (mm/hari)} \\ = f(t) \cdot f(ed) \cdot f(n/N) \quad (2-15)$$

$$f(t) = \text{fungsi suhu} \quad (2-16)$$

$$f(ed) = \text{fungsi tekanan uap} \\ = 0,34 - (0,044 \cdot ed^{0,5}) \quad (2-17)$$

$$f(n/N) = \text{fungsi kecerahan} \\ = 0,1 + (0,9 \cdot n/N) \quad (2-18)$$

$N$  = jumlah jam yang sebenarnya dalam 1 hari matahari bersinar terang (jam)

$$f(u) = \text{fungsi dari kecepatan angin pada ketinggian 2 m dalam satuan (m/dt)} \\ = 0,27 (1 + 0,864 u) \quad (2-19)$$

$u$  = kecepatan angin (m/dt)

$(ea-ed)$  = perbedaan tekanan uap jenuh dengan tekanan uap yang sebenarnya

$ed$  =  $ea - Rh(2-21)$

$Rh$  = kelembaban relatif (%)

$ea$  = tekanan uap jenuh (mbar)

$ed$  = tekanan uap sebenarnya (mbar)

Tabel 2.6 Nilai ( $R_a$  Radiasi ) Ekstrateretrial (Angot) Setara Penguapan (mm/hari)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
<b>Lintang Utara</b>												
10	13,2	14,2	15,3	15,7	15,5	15,3	15,3	15,5	15,3	14,7	13,6	12,9
8	13,6	14,5	15,3	15,6	15,3	15,0	15,1	15,4	15,3	14,8	13,9	13,3
6	13,9	14,8	15,4	15,4	15,1	14,7	14,9	15,2	15,3	15,0	14,2	13,7
4	14,3	15,0	15,5	15,5	14,9	14,4	14,6	15,1	15,3	15,1	14,5	14,1
2	14,7	15,3	15,6	15,3	14,6	14,2	14,3	14,9	15,3	15,3	14,8	14,4
0	15,0	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8

Lanjutan Tabel 2.6

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
<b>Lintang Selatan</b>												
0	15,0	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8
2	15,3	15,7	15,7	15,1	14,1	13,5	13,7	14,5	15,2	15,5	15,3	15,1
4	15,5	15,8	15,6	14,9	13,8	13,2	13,4	14,3	15,1	15,6	15,5	15,4
6	15,8	16,0	15,6	14,7	13,4	12,8	13,1	14,0	15,0	15,7	15,8	15,7
8	16,1	16,1	15,5	14,4	13,1	12,4	12,7	13,7	14,9	15,8	16,0	16,0
10	16,4	16,3	15,5	14,2	13,8	12,0	12,4	13,5	14,8	15,9	16,2	16,2

Sumber: Suhardjono, 1994:46

Tabel 2.7 Hubungan Suhu (t) dengan Nilai ea (mbar), w, (1-w) dan f(t)

Suhu (t)	ea (mbar)	W	1-w	f(t)	Suhu (t)	Ea (mbar)	W	1-w	f(t)
24.0	29.845	0.735	0.265	15.400	27.2	36.085	0.767	0.233	16.124
24.2	30.273	0.737	0.263	15.455	27.4	36.515	0.769	0.231	16.170
24.4	30.581	0.739	0.261	15.491	27.6	36.945	0.771	0.229	16.215
24.6	30.950	0.741	0.259	15.536	27.8	37.376	0.773	0.227	16.260
24.8	31.319	0.743	0.257	15.581	28.0	37.907	0.775	0.225	16.305
25.0	31.688	0.745	0.255	15.627	28.2	38.259	0.777	0.223	16.350
25.2	32.073	0.747	0.253	15.672	28.4	38.711	0.779	0.221	16.395
25.4	31.458	0.749	0.251	15.717	28.6	39.163	0.781	0.219	16.440
25.6	32.844	0.751	0.249	15.763	28.8	39.616	0.783	0.217	16.485
25.8	33.230	0.753	0.247	15.808	29.0	40.070	0.785	0.215	16.530
26.0	33.617	0.755	0.245	15.853	29.2	40.544	0.787	0.213	16.575
26.2	34.024	0.757	0.243	15.898	29.4	41.019	0.789	0.211	16.620
26.4	34.431	0.759	0.241	15.944	29.6	41.494	0.791	0.209	16.666
26.6	34.839	0.761	0.239	15.989	29.8	41.969	0.793	0.207	16.711
26.8	35.247	0.763	0.237	16.034	30.0	42.445	0.795	0.205	16.755
27.0	35.656	0.765	0.235	16.079					

Sumber: Suhardjono, 1994:58

Tabel 2.8 Besar Angka Koreksi (c) Bulanan

Bulan	Angka Koreksi ( c )		
	Blaney-cridel	Radiasi	Penman
Januari	0.800	0.800	1.100
Februari	0.800	0.800	1.100
Maret	0.750	0.750	1.000
April	0.750	0.750	1.000
Mei	0.700	0.700	0.950
Juni	0.700	0.700	0.950
Juli	0.750	0.750	1.000
Agustus	0.750	0.750	1.000
September	0.800	0.800	1.100
Oktober	0.800	0.800	1.100
November	0.825	0.825	1.150
Desember	0.825	0.825	1.150

Sumber: Suhardjono, 1994:64

## 2.6. Ketersediaan Aliran Sungai

### 2.6.1. Debit Aliran F.J Mock

Metode ini menganggap bahwa hujan yang jatuh pada *catchment area* sebagian akan hilang sebagai evapotranspirasi, sebagian akan langsung menjadi *direct run off* dan sebagian lagi akan masuk ke dalam tanah (infiltrasi). Infiltrasi ini pertama-tama akan menjenuhkan *top-soil* dulu baru kemudian menjadi perkolasi ke tampungan air tanah yang nantinya akan keluar ke sungai sebagai *base flow*. Dalam hal ini harus ada keseimbangan antara hujan yang jatuh dengan evapotranspirasi, *direct run off* dan infiltrasi sebagai *soil moisture* dan *water discharge*. Aliran dalam sungai adalah jumlah aliran yang langsung di permukaan tanah (*direct run off*) dan *base flow*.

Metode Mock mempunyai dua prinsip pendekatan perhitungan aliran permukaan yang terjadi di sungai, yaitu neraca air di atas permukaan tanah dan neraca air bawah tanah yang semua berdasarkan hujan, iklim dan kondisi tanah.

Adapun prosedur perhitungan FJ Mock sebagai berikut (Hadisusanto, 2010:230):

#### 1. Hujan

Nilai hujan 10 harian (P) dan Jumlah hari hujan didapat dari pencatat data hujan 10 harian (mm) dan jumlah hari hujan pada bulan yang bersangkutan.

#### 2. Evapotranspirasi Terbatas

Evapotranspirasi terbatas adalah evapotranspirasi aktual dengan mempertimbangkan kondisi vegetasi dan permukaan tanah sehingga persamaan sebagai berikut:

$$E = ET_0 \times d/30 \times m \quad (2-20)$$

dengan:

$E$  = perbedaan antara evapotranspirasi potensial dan evapotranspirasi terbatas (mm).

$ET_0^*$  = evapotranspirasi potensial (mm).

$d$  = jumlah hari kering atau hari tanpa hujan dalam 1 bulan.

$m$  = prosentase lahan yang tidak tertutup vegetasi, ditaksir dari peta tata guna lahan

Jumlah permukaan kering, dihitung dengan asumsi bahwa tanah dalam satu hari hanya mampu menahan air 12 mm dan selalu menguap sebesar 4 mm.

Berdasarkan frekuensi curah hujan di Indonesia dan sifat infiltrasi serta penguapan dari tanah permukaan, didapat hubungan:

$$d = 3/2 (18 - h) \text{ atau } d = 27 - 3/2 h \quad (2-21)$$

$h$  = jumlah hari hujan dalam sebulan

Selanjutnya substansi antara persamaan (2-20) dan (2-21) diperoleh persamaan:

$$\frac{E}{ET_0} = \left(\frac{m}{20}\right) \times (18 - h) \quad (2-22)$$

$$Et = ET_0 - E \quad (2-23)$$

$Et$  = evapotranspirasi terbatas (mm)

*Soil water surplus* adalah volume air yang akan masuk ke permukaan.

$$\text{Soil water surplus} = (P - Et) - \text{soil storage} \quad (2-24)$$

*Soil water surplus* = 0 jika defisit yaitu:  $(P - Et) > \text{soil storage}$

*Initial storage* adalah besarnya volume air pada saat permulaan mulainya perhitungan. Ditaksir sesuai dengan keadaan musim, seandainya musim hujan nilainya bisa menyamai nilai *soil moisture capacity*, tetapi pada musim kemarau nilainya akan menurun lebih kecil dari nilai *soil moisture capacity*.

### 3. Keseimbangan air di permukaan tanah

Keseimbangan air dipermukaan tanah dihitung berdasarkan besarnya curah hujan bulanan dikurangi nilai evapotranspirasi terbatas rata-rata bulanan sehingga diperoleh persamaan:

$$Ds = P - Et \quad (2-25)$$

$$WS = Ds - SMC \quad (2-26)$$

dengan:

$Ds$  = perubahan tampungan kandungan air tanah (*soil storage*)

$Ds$  nilainya positif apabila  $P - Et$ , air masuk kedalam tanah.

$Ds$  nilainya negatif apabila  $P - Et$ , sebagian air masuk kedalam tanah akan keluar sehingga terjadi defisit

$SMC$  = kelembapan tanah (mm)

$WS$  = kelebihan air (mm)

### 4. Simpanan air tanah (*ground water storage*)

Nilai *run off* dan *ground water* besarnya tergantung dari keseimbangan air dan kondisi tanahnya. Data yang diperlukan adalah:

Koefisien infiltrasi =  $I$  diambil 0,2 – 0,5

Faktor resesi aliran air tanah =  $k$  diambil 0,4 – 0,7

Persamaan

$$I_n = WS \times I \quad (2-27)$$

$$V_n = k \cdot V_{(n-1)} + 0,5 (1 + k) I_n \quad (2-28)$$

$$DV_n = V_n - V_{(n-1)} \quad (2-29)$$

dengan:

$I_n$  = infiltrasi volume air yang masuk ke dalam tanah

$V_n$  = Volume air tanah

$A$  = volume tampungan per bulan

$DV_n$  = perubahan volume air tanah bulan ke-n

$V_{(n-1)}$  = volume air tanah bulan ke (n-1)

$I$  = koefisien infiltrasi

### 5. Aliran Sungai

Aliran dasar = infiltrasi – volume air tanah ( $m^3/10\text{hari}$ ) (2-30)

Aliran Langsung = *water surplus* – infiltrasi ( $m^3/10\text{hari}$ ) (2-31)

Aliran = aliran dasar + aliran langsung (2-32)

Debit aliran = *aliran sungai dinyatakan dalam*  $m^3/10\text{hari}$  (2-33)

#### 2.6.1.1. Parameter Karakteristik DAS

Pada model FJ. Mock ada lima parameter yang menggambarkan karakteristik DAS yang besar pengaruhnya terhadap keluaran system, yaitu:

##### 1. Singkapan lahan

Singkapan lahan disesuaikan dengan penggunaan tata guna lahan. Prosentase singkapan lahan ini berpengaruh terhadap evapotranspirasi.

Tabel 2.9 Singkapan Lahan Sesuai Tata Guna Lahan

No	Jenis Penggunaan Lahan	m (%)
1	Hutan lebat	0
2	Lahan yang terisolasi	10 – 40
3	Lahan pertanian yang diolah	30 – 50

Sumber: Hadisusanto, 2010:231

##### 2. Koefisien Infiltrasi

Koefisien infiltrasi ditentukan berdasarkan porositas tanah, kemiringan daerah pengaliran dan keadaan geologi. Dalam simulasi FJ Mock, infiltrasi tinggi pada permulaan hujan dan mengecil setelah kandungan air pada tanah meningkat pada satu kejadian hujan. infiltrasi yang diperhitungkan adalah dari beberapa kejadian hujan dalam satu bulan.

Tabel 2.10 Koefisien Infiltrasi Berdasarkan Jenis Batuan (Ci)

No	Jenis Batuan	Ci
1	Vulkanik muda	0,30 – 0,50
2	Vulkanik tua, muda dan sedimen	0,15 – 0,25
3	Batu pasir	0,15
4	Sedimen lanau, batu cukup kedap	0,15
5	Batu gamping	0,30 – 0,50

Sumber: Kurniawan, 2009:14

### 3. Kapasitas kelembaban tanah (SMC)

Kapasitas kelembaban tanah adalah banyaknya air yang dapat dikandung oleh tanah (Sosrodarsono, 1987:72). Besarnya kapasitas ditentukan berdasarkan kondisi porositas lapisan tanah per 1 m<sup>2</sup>. Pada simulasi Mock besarnya kapasitas kelembaban ditentukan berdasarkan kelembaban tanah tersebut. Misalnya untuk tanah dengan kelembaban tanah maksimum 25% maka kapasitas tanah tersebut 25 cm air pada tanah seluas 1 m<sup>2</sup>. Biasanya kelembaban tanah ditaksir berkisar antara 50 sampai 250 mm per m<sup>2</sup>.

Tabel 2.11 Angka Kedalaman Kelembaban Tanah (diadaptasi dari Shaw, 1985)

No	Tipe Vegetasi	SMC (mm)
1	Padang Rumput	75
2	Umbi akar (a.i Kentang)	100
3	Tanaman padi gandum dan sejenisnya	140
4	Tegalan	200

Sumber: Asdak, 2004:139

### 4. Initial Storage

*Initial Storage* adalah besarnya volume air pada saat awal perhitungan

### 5. Faktor Resesi Air Tanah

Dalam perhitungan kandungan air tanah terdapat factor resesi air tanah (k), yakni perbandingan air tanah pada suatu bulan dengan aliran air tanah pada awal bulan

### 2.6.2. Analisa Korelasi Sederhana

Hubungan antara 2 variabel acak (*random variable*)  $x_i$  dan  $y_i$  disebut sebagai Hubungan Korelatif Sederhana (*Simple Correlative Association*). Hubungan ini dapat

bersifat linier ataupun non-linier. Rumus produk-momen untuk koefisien korelasi = r adalah sebagai berikut (Montarcih. L dan Soetopo. W, 2009:51):

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] * \left[ n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} \quad (2-34)$$

Dengan:

- r = koefisien korelasi
- X = Curah hujan tahunan (mm)
- Y = Debit tahunan (m<sup>3</sup>)
- n = Banyak data

Nilai r besarnya berkisar antara -1 dan 1. Hipotesanya adalah H<sub>0</sub> tidak ada korelasi antara x dan y. Untuk menguji hipotesa tersebut, maka dari sampel pasangan dari curah hujan tahunan dan debit tahunan dihitung nilai t menggunakan rumus berikut:

$$t = \frac{|r| \cdot \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2-35)$$

Dengan:

- r = koefisien korelasi
- n = Banyak data

Kemudian dibandingkan dengan harga kritis t<sub>cr</sub> dari tabel 2.12 untuk derajat bebas n = n-2 dan α (*Level of Significant*). Apabila t < t<sub>cr</sub>, maka H<sub>0</sub> diterima, dan jika sebaliknya H<sub>0</sub> ditolak.

Tabel 2.12 Derajat Bebas

V	$t_{0.995}$	$t_{0.99}$	$t_{0.975}$	$t_{0.95}$	$t_{0.90}$	$t_{0.80}$	$t_{0.75}$	$t_{0.70}$	$t_{0.60}$	$t_{0.55}$
1	63,66	31,82	12,71	6,31	3,08	1,376	1,000	0,727	0,325	0,158
2	9,92	6,96	4,30	2,92	1,89	1,061	0,816	0,617	0,289	0,142
3	5,84	4,54	3,18	2,35	1,64	0,978	0,765	0,584	0,277	0,137
4	4,60	3,75	2,78	2,13	1,53	0,941	0,741	0,569	0,271	0,134
5	4,03	3,36	2,57	2,02	1,48	0,920	0,727	0,559	0,267	0,132
6	3,71	3,14	2,45	1,94	1,44	0,906	0,718	0,553	0,255	0,131
7	3,50	3,00	2,36	1,90	1,42	0,896	0,711	0,519	0,263	0,130
8	3,36	2,90	2,31	1,86	1,40	0,889	0,706	0,546	0,202	0,130
9	3,25	2,82	2,26	1,83	1,38	0,883	0,703	0,543	0,261	0,129
10	3,17	2,76	2,23	1,81	1,37	0,879	0,700	0,542	0,260	0,129
11	3,11	2,72	2,20	1,80	1,36	0,876	0,697	0,540	0,260	0,129
12	3,06	2,68	2,18	1,78	1,36	0,873	0,695	0,539	0,259	0,128
13	3,01	2,66	2,16	1,77	1,35	0,870	0,694	0,538	0,259	0,128
14	2,98	2,62	2,14	1,76	1,34	0,868	0,692	0,537	0,258	0,128
15	2,95	2,60	2,13	1,75	1,34	0,866	0,691	0,536	0,258	0,128
16	2,92	2,58	2,12	1,75	1,34	0,865	0,690	0,535	0,258	0,128
17	2,90	2,57	2,11	1,74	1,33	0,863	0,689	0,534	0,257	0,128
18	2,88	2,55	2,10	1,73	1,33	0,862	0,688	0,534	0,257	0,127
19	2,86	2,54	2,09	1,73	1,33	0,861	0,688	0,533	0,257	0,127
20	2,84	2,53	2,09	1,72	1,32	0,860	0,687	0,533	0,257	0,127
21	2,83	2,52	2,08	1,72	1,32	0,859	0,686	0,532	0,257	0,127
22	2,82	2,51	2,07	1,72	1,32	0,858	0,686	0,532	0,256	0,127
23	2,81	2,50	2,07	1,71	1,32	0,858	0,685	0,532	0,256	0,127
24	2,80	2,49	2,06	1,71	1,32	0,857	0,685	0,531	0,256	0,127
25	2,79	2,48	2,06	1,71	1,32	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127
26	2,78	2,48	2,06	1,71	1,32	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127
27	2,77	2,47	2,05	1,70	1,31	0,855	0,684	0,531	0,256	0,127
28	2,76	2,47	2,05	1,70	1,31	0,855	0,683	0,530	0,256	0,127
29	2,76	2,46	2,04	1,70	1,31	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127
30	2,75	2,46	2,04	1,70	1,31	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127
40	2,70	2,42	2,02	1,68	1,30	0,851	0,681	0,529	0,255	0,126
60	2,66	2,39	2,00	1,67	1,30	0,848	0,679	0,527	0,254	0,126
120	2,62	2,36	1,98	1,66	1,29	0,845	0,677	0,526	0,254	0,126
∞	2,58	2,33	1,86	1,645	1,28	0,842	0,674	0,524	0,253	0,126

Sumber: Montarich. L dan Soetopo. W, 2009:8

### 2.6.3. Analisa Debit Andalan

Debit andalan adalah besarnya debit yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan air dengan resiko kegagalan yang telah diperhitungkan. Dalam perencanaan proyek-proyek penyediaan air terlebih dahulu harus dicari debit andalan (*dependable discharge*), yang tujuannya adalah untuk menentukan debit perencanaan yang diharapkan selalu tersedia di sungai (Soemarto, 1986:213).

Debit tersebut digunakan sebagai patokan ketersediaan debit yang masuk ke embung pada saat pengoperasiannya.

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

Tabel 2.13 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	70 – 85 %
• Daerah iklim kering	80 – 95 %
4. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA)	85 – 90 %

Sumber: Soemarto, 1986:214

Debit andalan dapat ditentukan dengan berbagai metode, masing-masing cara mempunyai ciri khas masing-masing. Metode yang sesuai didasarkan oleh pertimbangan data yang tersedia, jenis kepentingan, dan pengalaman. 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 Aliran Sungai (DAS) dengan fluktuasi maksimumnya 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 tahunannya di atas debit rata-rata dari tahun ke tahun.

b. Metode Tahun penentu (*basic year*)

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

c. Metode bulan penentu (*basic month*)

Penentuan debit andalan dengan metode bulan penentu, antara lain dengan menentukan suatu bulan 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. DAS dengan fluktuasi debit maksimum dan minimumnya tidak terlalu besar dari tahun ke tahunnya.
2. Kebutuhan relatif konstan sepanjang tahun.

Dalam Studi ini perhitungan debit andalan dilakukan dengan metode tahun dasar (*basic year*), yaitu dengan mengambil suatu pola debit dari tahun ke tahun tertentu.

Prosedur perhitungan debit andalan sebagai berikut:

1. Menghitung debit rata-rata tahunan untuk tahun rencana
2. Merangking data mulai yang terbesar sampai yang terkecil
3. Menghitung probabilitas untuk masing-masing data

Menurut Suyono Sosrodarsono (2003:204), keandalan berdasar kondisi debit dibedakan menjadi 4, antara lain:

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%)

Peluang kejadian debit dihitung dengan rumus probabilitas dari persamaan *Weibull*. Cara menghitung rerata debit dalam satu tahun untuk tiap tahun data yang diketahui adalah:

1. Mengurutkan data dari yang terbesar ke yang terkecil.
2. Menghitung probabilitas untuk masing-masing data dengan menggunakan persamaan *Weibull* :

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (2-36)$$

dengan:

P = Probabilitas (%)

m = Nomor urut data debit

n = Jumlah data pengamatan debit

## 2.7. Analisa Pola Operasi Embung

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, 2010:2). Pola operasi embung bertujuan untuk menentukan pelepasan air dari tampungan dengan memperhatikan *inflow* dan *outflow*. Pola operasi embung dilakukan dengan mengacu pada hasil simulasi tampungan. Untuk mendapatkan pola operasi yang diharapkan, perlu diperhatikan jumlah penduduk yang terpenuhi dalam menggunakan air baku.

### 2.7.1. Simulasi Tampungan Embung

Tampungan embung tergantung dari kebutuhannya, maka lingkup waktu dari simulasi mencakup 1 tahun operasi atau lebih. Salah satu operasi dibagi menjadi beberapa periode, misalnya bulanan, 15 harian, 10 harian, mingguan, maupun harian. Persamaan umum simulasi operasi embung adalah Neraca keseimbangan Air (*water balance*).

- Air embung tidak boleh turun di bawah tampungan aktif. Dalam banyak keadaan, maka batas bawah tampungan aktif ini ditentukan oleh tingginya lubang outlet embung.
- Air embung tidak dapat melebihi batas tampungan aktif. Dalam banyak keadaan, maka batas atas tampungan aktif ini ditentukan oleh puncak *spillway*.
- Ada beberapa embung (embung multiguna) yang memiliki batasan debit yang dikeluarkan (*outflow*), baik debit maksimum atau debit minimum.

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan simulasi waduk adalah kontinuitas tampungan (*mass storage equation*) yang memberi hubungan antara masukan, keluaran dan perubahan tampungan

Persamaan secara matematika simulasi kapasitas tampungan waduk dinyatakan sebagai berikut (Mc. Mahon & Mein, 1978:24)

$$S_{t+1} = S_t + Q_t - D_t - E_t - L_t \quad (2-37)$$

dengan:

- $S_{t+1}$  = Tampungan waktu pada akhir interval waktu
- $t$  = Interval waktu yang digunakan
- $S_t$  = Tampungan embung 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 dan embung selama interval waktu  $t$  mempunyai nilai yang kecil dan dapat diabaikan

$C$  = Tampungan aktif (tampungan efektif)

Keuntungan menggunakan metode ini adalah prosedurnya sangat sederhana dan dengan jelas menunjukkan perilaku air yang ditampung, selain itu cara ini dapat diterapkan pada data yang didasarkan pada segala interval waktu

### 2.7.2. Kegagalan dan Keandalan Embung

Peluang kegagalan sebuah tampungan waduk adalah perbandingan antara jumlah satuan waktu waduk kosong dengan jumlah satuan total yang digunakan dalam proses analitis (Mc. Mahon & Mein, 1978:17)

$$Pe = \frac{P}{N} \times 100\% \quad (2-38)$$

Sedangkan definisi keandalan adalah :

$$Re = 100 - Pe \quad (2-39)$$

Dengan :

$Pe$  = Peluang kegagalan (%)

$Re$  = Peluang keandalan (%)

$P$  = Jumlah kejadian gagal

$N$  = Jumlah total kejadian

Besarnya kegagalan waduk dinyatakan dalam bentuk prosentase daripada kegagalan dengan jumlah periode. Berdasarkan pertimbangan bahwa debit yang tersedia dapat dimaksimalkan, maka keandalan untuk kebutuhan air baku umumnya dipakai keandalan embung 90% karena dalam setahun akan ada periode dimana sungai mengalami kekeringan.

### 2.7.3. Pedoman Lepas Pola Operasi Embung Berdasarkan Tampungan

Pedoman operasi waduk (*rule curve*) adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara prosentase pemenuhan kebutuhan (sumbu tegak), sementara besarnya tampungan diukur dengan prosentase tampungan waduk terhadap kapasitas tampungan aktual (sumbu mendatar). Tata cara pelepasan waduk harus berdasar pada *rule curve* yang telah dihasilkan.

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.

Pada aturan operasi waduk dimana lepasan berdasarakan status tampungan waduk, maka dilakukan pembatasan terhadap lepasan apabila tampungan waduk menurun besarnya. Aturan lepasan berdasarkan status tampungan waduk ini dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut (Soetopo, 2010:34).

Parameter yang digunakan dalam penerapan pedoman operasi waduk aturan lepasan berdasarkan tampungan adalah sebagai berikut:

1. Tampungan waduk (%)

Besarnya tampungan waduk diukur dengan prosentase tampungan terhadap kapasitas tampungan aktif

2. Lepasn (%)

Besarnya pemenuhan kebutuhan diukur dengan melihat kondisi/status tampungan waduk. Artinya, apabila kondisi tampungan waduk menurun maka prosentase lepasn sesuai kebutuhan juga menurun.

Kebijaksanaan *release* waduk dalam penerapan pedoman pola operasi (Soetopo, 2010:34), adalah sebagai berikut:

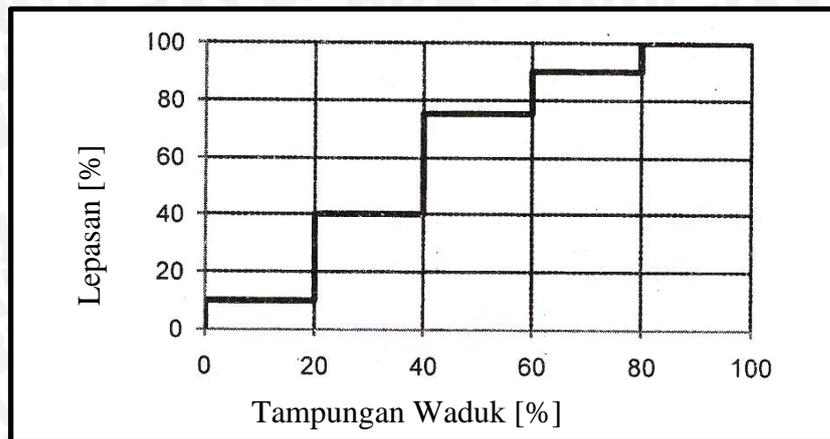
1. Untuk operasi waduk aturan lepasn berdasarkan tampungan diterapkan pembatasan minimum tampungan waduk lihat pada tabel 2.14 berikut:

Tabel 2.14 Lepasn Berdasarkan Tampungan Waduk.

No. Kisaran	Batas minimum Tampungan waduk [%]	Lepasn [%]
1	0	10
2	20	40
3	40	75
4	60	90
5	80	100

Sumber : Soetopo, 2010:34

Apabila dinyatakan dalam bentuk grafik, maka aturan lepasn berdasarkan tampungan waduk ini dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut:



Gambar 2.3 Lepasan Berdasarkan Tampungan Waduk  
Sumber : Soetopo, 2010:34

- Untuk menentukan prosentase pemenuhan kebutuhan, lepasan (%) dapat diganti dengan cara coba-coba. Dalam proses penentuan lepasan dengan coba-coba untuk mempermudah perhitungan dibuat suatu formula dalam simulasi waduk, misalnya untuk kasus pedoman pola operasi waduk (tabel 2.14) maka proses pengerjaannya sebagai berikut:

- Jika ( $S_{akhir}$ ) < 20%, maka lepasan 10%
- Jika ( $S_{akhir}$ ) < 40%, maka lepasan 40%
- Jika ( $S_{akhir}$ ) < 60%, maka lepasan 75%
- Jika ( $S_{akhir}$ ) < 80%, maka lepasan 90%
- Jika ( $S_{akhir}$ ) > 80%, maka lepasan 100%

Nilai lepasan dapat diganti-ganti (coba-coba) untuk kondisi tertentu dengan dasar pertimbangan/ketentuan sebagai berikut:

- Kondisi tampungan menurun, maka lepasan juga berkurang
- Tujuan dari pergantian nilai lepasan (coba-coba) ini adalah untuk mendapatkan kondisi yang optimal maksudnya, dari berbagai kelas nilai lepasan yang telah dicoba dalam proses simulasi waduk yang akan dipakai sebagai lepasan (%) adalah nilai lepasan dengan hasil pemenuhan kebutuhan air baku yang paling optimal dan *spillout* yang paling minimum.