

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Ketersediaan Air (*Inflow*)

Menurut BMKG, tahun normal adalah tahun pada saat curah hujan berkisar antara 85% sampai 115 % dari curah hujan rata-rata hasil pengamatan. Berdasarkan pernyataan tersebut maka tahun basah adalah tahun pada saat debit lebih besar dari 115% dan tahun kering adalah tahun pada saat debit kurang dari 85% dan debit rata-rata tahun normal berkisar pada kisaran 100%.

Berdasarkan Modul Pola Operasi Waduk (Kementerian PUPR, 2017) kondisi aliran air ke waduk terdapat 3 kondisi tahun, yaitu tahun basah (35%), tahun normal (50%), dan tahun kering (65%). Besarnya debit air yang masuk (*inflow*) ke bendungan 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 diterapkan pada bendungan atau waduk yang telah beroperasi lama. Debit lokal adalah debit tambahan yang dapat dimanfaatkan atau diperhitungkan untuk memenuhi kebutuhan air yang tidak langsung masuk ke bendungan. Debit lokal ini perlu dipertimbangkan sebagai bagian ketersediaan air selain yang dikeluarkan bendungan.

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.

2.1.1 Debit Andalan

Debit andalan merupakan debit yang tersedia yang dapat diperhitungkan guna keperluan tertentu sepanjang tahunnya. 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%. Perhitungan debit andalan disini dimasukan untuk mencari besarnya debit sesuai untuk pemanfaatan air baku dan air irigasi. Langkah awal untuk menentukan debit andalan yaitu dengan mengurutkan debit yang ada dari nilai terbesar hingga terkecil. 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 (Fachrurrozi, 2017)):

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

Dimana:

P = Probabilitas (%)

m = Nomor urut data debit

n = Jumlah data pengamatan debit

2.1.2 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, $Q_{80\%}$).

2.1.3 Perhitungan Keandalan Debit

Terdapat empat metode untuk analisa debit andalan (Montarcih, 2009 dalam(Sari et al., 2012)) antara lain:

1. Metode debit rata-rata minimum

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

2. Metode *flow characteristic*

Debit berbasis tahun normal adalah jika debit rata-rata tahunannya kurang lebih sama dengan debit rata-rata keseluruhan tahun. Debit berbasis tahun kering adalah jika debit rata-rata tahunannya lebih kecil dari debit rata-rata keseluruhan tahun dan debit berbasis tahun basah adalah jika debit rata-rata tahunannya lebih kecil dari debit rata-rata keseluruhan tahun. Metode ini cocok untuk DAS dengan fluktuasi debit maksimum dan debit minimum relatif besar dari tahun ke tahun, kebutuhan relatif tidak konstan sepanjang tahun, dan data yang tersedia cukup panjang.

3. Metode Tahun Dasar Perencanaan

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

$$R_{80} = \frac{n}{5} + 1 \text{ atau bisa digunakan rumus (2.1)} \quad (2.2)$$

Keterangan:

n = kala ulang pengamatan yang diinginkan

R_{80} = debit yang terjadi $< R_{80}$ adalah 20%.

4. Metode Bulan Dasar Perencanaan

Analisa debit andalan menggunakan metode ini hampir sama dengan Metode *Flow Characteristic* yang dianalisa untuk bulan-bulan tertentu.

Metode ini paling sering dipakai karena keandalan debit dihitung bulan Januari sampai dengan Bulan Desember, jadi lebih bisa menggambarkan keadaan pada musim kemarau dan penghujan.

2.1.4 Debit *Inflow* Bangkitan Metode Thomas-Fiering

Terdapat tiga model yang digunakan dalam perhitungan-perhitungan hidrologi yaitu model deterministik, model probabilistik, model stokastik. Model stokastik mampu mengisi kekosongan diantara kedua model tersebut, yaitu mempertahankan sifat-sifat peluang yang berhubungan dengan runtun waktu kejadiannya. Termasuk dalam model stokastik adalah proses perpanjangan runtun data. Pembangkitan data menggunakan metode Thomas Fiering dapat digunakan untuk memecahkan persoalan kurang panjangnya data hidrologi. Rumus yang digunakan dalam metode Thomas Fiering yaitu sebagai berikut (Fachrurrozi, 2017).

$$Q_{i+1j} = Q_j + b_j (Q_{ij-1} - Q_{j-1}) + t_i S_{d_j} (1 - r_j)^{\frac{1}{2}} \quad (2.3)$$

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 bulan 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_{d_j} = standar deviasi bulan j.

2.1.5 Uji Validitas Data

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

2.1.5.1 Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)

Metode ini menunjukkan seberapa baik plot nilai observasi dibandingkan dengan nilai prediksi-simulasi, dengan rentang nilai hingga satu. Dengan kata lain, semakin hasil mendekati angka satu, maka semakin baik nilai NSE. Adapun rumus yang digunakan yaitu:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (X_i - Y_i)^2}{(X_i - \bar{x}_i)^2} \quad (2.4)$$

Dimana:

X_i = data observasi (data aktual).

Y_i = hasil simulasi data.

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

N = jumlah data.

Tabel kriteria nilai dari NSE disajikan dalam Tabel 2.1 (Motovilov et al. 1999 dalam (Lufi et al., 2020)).

Tabel 2.1 Kriteria Nilai *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE)

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

2.1.5.2 Correlation Coefficient (R)

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

$$R = \frac{N \sum_{t=1}^N X_i Y_i - \sum_{t=1}^N X_i - \sum_{t=1}^N Y_i}{\sqrt{N \sum_{t=1}^N X_i - (\sum_{t=1}^N X_i)^2} \sqrt{N \sum_{t=1}^N Y_i - (\sum_{t=1}^N Y_i)^2}} \quad (2.5)$$

Dimana:

X_i = data observasi (data aktual).

Y_i = data simulasi atau data bangkitan.

N = jumlah data.

Tabel kriteria nilai dari koefisien korelasi disajikan dalam Tabel 2.2 (Sugiyono,2003 dalam (Lufi et al., 2020)).

Tabel 2.2 Kriteria Nilai Koefisien Korelasi (R)

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

2.1.5.3 Root Mean Squared Error (RMSE)

Metode ini merupakan sebuah metode pengukuran dengan mengukur perbedaan nilai dari prediksi sebuah model sebagai estimasi atas nilai yang diobservasi. *Root Mean Square Error* adalah hasil dari akar kuadrat *Mean Square Error*. Keakuratan metode estimasi kesalahan pengukuran ditandai dengan adanya nilai RMSE yang kecil. Metode estimasi yang mempunyai RMSE lebih kecil dikatakan lebih akurat dari pada metode estimasi yang mempunyai RMSE lebih besar. Adapun rumus yang digunakan dalam perhitungan nilai RMSE yaitu:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2}{N}} \quad (2.6)$$

Dimana:

X_i = data observasi (data aktual).

Y_i = data simulasi atau data bangkitan.

N = jumlah data.

2.1.5.4 Relative Error (Re)

Metode ini digunakan untuk mengetahui perbandingan antara besaran satu variabel terhadap variabel lainnya yang digunakan sebagai tolak ukur untuk variabel yang sebenarnya. Kesalahan relatif (RE) adalah kesalahan standar yang dinyatakan sebagai pecahan dari perkiraan dan biasanya ditampilkan sebagai persentase. Nilai Re sama dengan kesalahan standar perkiraan survei dibagi dengan perkiraan survei kemudian dikalikan 100. Adapun rumus yang digunakan dalam perhitungan yaitu:

$$KR = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)}{Y_i} \times 100\% \quad (2.7)$$

Dimana:

X_i = data observasi (data aktual).

Y_i = data simulasi atau data bangkitan.

N = jumlah data.

2.1.6 Uji Homogenitas Data

(Usmadi, 2020) menjelaskan bahwa uji homogenitas digunakan untuk mengetahui apakah beberapa varian populasi adalah sama atau tidak. Uji 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.

2.1.6.1 T-Test

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.

2.1.6.2 F-Test

Salah satu teknik pengujian statistika yang terkenal 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:

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.

2.2 Kebutuhan Air (*Outflow*)

Outflow atau perhitungan debit keluar, dihitung berdasarkan kebutuhan air sesuai dengan fungsi bendungan. Bendungan dengan satu fungsi (*single purpose*), *outflow* dihitung hanya untuk pemenuhan suatu kebutuhan saja, namun pada bendungan *multi purpose*, *outflow* bendungan merupakan total dari seluruh kebutuhan, seperti irigasi, air baku, dan PLTA.

2.2.1 Kebutuhan Air Irigasi

(Kementerian PUPR, 2017) kebutuhan irigasi merupakan kebutuhan air sesuai dengan Rencana Tata Tanam Global (RTTG) atau Rencana Tata Tanam Detail (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 evapotranspirasi, kehilangan air, kebutuhan air untuk tanaman dengan memperhatikan jumlah air yang diberikan

oleh alam melalui hujan dan kontribusi air tanah (Suyono Sosrodarsono, 1977). 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:

$$KAI = \frac{(Etc + IR + WLR + P - Re)}{IE} \times A \quad (2.8)$$

Keterangan:

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

2.2.1.1 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.

2.2.1.2 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 2.3 dibawah ini merupakan contoh pola tanam yang dapat dipakani (Priyonugroho, 2014).

Tabel 2.3 Pola Tanam

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

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

2.2.1.3 Sistem Golongan

Debit yang tersedia diolah kembali untuk memperoleh areal tanam yang optimal dari 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 yg tersedia.

2.2.1.4 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 yang lebih ringan, laju perkolasi bisa lebih tinggi. Berdasarkan hasil penyelidikan tanah pertanian dan penyelidikan kelulusan, besarnya laju perkolasi serta tingkat kecocokan tanah untuk pengolahan tanah dapat ditetapkan dan dianjurkan pemakaiannya. Guna menentukan laju perkolasi, tinggi muka air tanah juga harus diperhitungkan. Perembesan terjadi akibat meresapnya air melalui tanggul sawah.

2.2.1.5 Evapotranspirasi

(Elsaputra & Anwar, 2017) 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.

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

Nilai evapotranspirasi dapat dihitung dengan menggunakan beberapa metode, diantaranya metode Blaney-Criddle, Persamaan empiris Thornthwaite dan metode Penman Modifikasi. Penelitian ini, digunakan metode Penman modifikasi agar hasil yang didapat lebih realistis karena menggunakan sebagian besar data klimatologi.

Tabel 2.4 Perbandingan penggunaan beberapa metode untuk perhitungan evapotranspirasi.

No	Metode	Temp	Humidity	Sun Shine	Kec. Angin	Radiant	Evaporasi
		Temp	RH	N	H	Ra	E
1	Pan Evaporasi	-	-	-	-	-	v
2	Penman	v	v	v	v	v	-
3	Thornth Walte	v	-	-	-	-	-
4	Blaney Criddle	v	-	-	-	-	-

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

$$ET_0 = C \{ W. R_n + (1 - W). f(u). (ea - ed) \} \quad (2.9)$$

Keterangan:

- ET₀ = Evapotranspirasi tanaman referensi (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 × RH
RH	= Kelembaban udara relatif (%)
Rn	= Radiasi penyinaran matahari bersih (mm/hari) (tabel Penman). Rn = Rns – Rnl
Rns	= Rs (1-α)
α	= Koefisien pemantulan = 0,75
Rs	= (0,25 + 0,5 (n/N)). Ra
Rnl	= 2,01 × 10 ⁹ . T ₄ (0,34 - 0,44 ed 0,5). (0,1 + 0,9 n/N)
f (u)	= Fungsi pengaruh angin pada E _{t0} = 0,27 × (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.

$$ET_c = K_c \times ET_0$$

Keterangan:

ET₀ = Evapotranspirasi tanaman referensi.

K_c = Koefisien tanaman.

2.2.1.6 Curah Hujan Rata-Rata

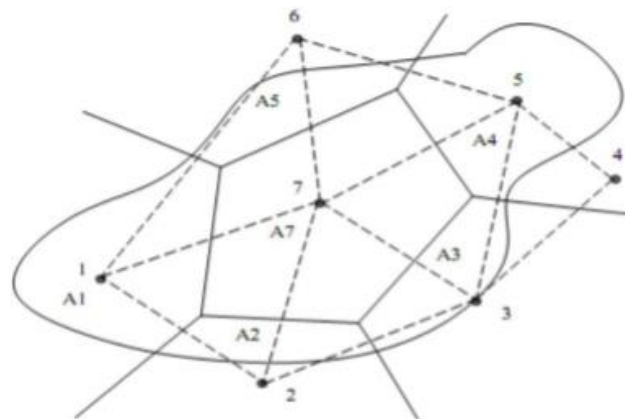
Menurut (Suyono; Sosrodarsono & Takeda, 1977) dalam (Wijaya, 1995) menyatakan bahwa curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata diseluruh daerah yang bersangkutan, curah hujan diperkirakan diambil dari beberapa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

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 (Hartini, 2017) terdapat tiga metode dalam perhitungan curah hujan rata rata yaitu:

1. Metode *Thiessen Polygon*

Pada metode ini dilakukan dengan membuat polygon yang memotong tegak lurus pada tengah tengah garis penghubung dua stasiun hujan. Penerapan metode ini disajikan dalam Gambar 2.1, (Hartini, 2017).



Gambar 2.1 Penerapan Metode *Thiessen Polygon* Pada Suatu DAS.

Adapun persamaan untuk perhitungan sebagai berikut:

$$d = \frac{A_1.d_1 + A_2.d_2 + A_3.d_3 + \dots + A_n.d_n}{\Sigma A} = \frac{\Sigma A_i.d_i}{\Sigma A} \quad (2.10)$$

Keterangan:

- A = Luas areal (km²)
- d = Tinggi curah hujan rata rata areal
- d₁, d₂, d₃, ... d_n = Tinggi curah hujan di pos 1, 2, 3, ...n
- A₁, A₂, A₃, ...A_n = Luas daerah pengaruh pos 1, 2, 3, ...n

2. Metode Rata-Rata Aljabar

Metode Rata-Rata Aljabar adalah metode yang paling praktis digunakan untuk mencari data curah hujan yang hilang. Stasiun hujan yang digunakan

dalam hitungan biasanya adalah yang berada didalam DAS, tetapi stasiun diluar DAS yang masih berdekatan juga bisa diperhitungkan.

$$\bar{R} = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \quad (2.11)$$

3. Metode Isohyet

Metode ini harus terlebih dahulu menggambarkan kontur dengan tinggi curah hujan yang sama (isohyet). Luas bagian diantara isohyet-isohyet yang berdekatan diukur dan harga rata-ratanya dihitung sebagai harga rata-rata berimbang dari nilai kontur pada persamaan berikut, dengan penerapan metode disajikan dalam Gambar 2.2, (Hartini, 2017):

$$d = \frac{\frac{d_0 + d_1}{2} A_1 + \frac{d_1 + d_2}{2} A_2 + \dots + \frac{d_{n-1} + d_n}{2} A_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2.12)$$

$$d = \frac{\sum \frac{d_{i-1} + d_i}{2} A_i}{\sum A_i}$$

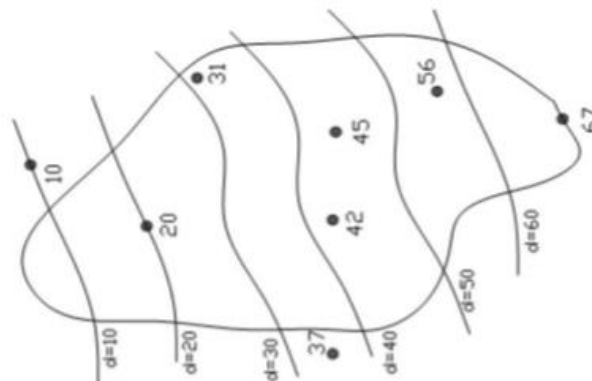
Keterangan:

A = Luas areal (km²)

d = Tinggi curah hujan rata rata areal

d₀, d₁, d₂, ... d_n = Tinggi curah hujan di pos 0, 1, 2, ... n

A₁, A₂, A₃, ... A_n = Luas bagian areal yang dibatasi oleh isohyet isohyet yang bersangkutan.



Gambar 2.2 Penerapan Metode Isohyet Pada Suatu DAS

2.2.1.7 Curah Hujan Efektif

Dijelaskan dalam (Hidayat & Empung, 2016) 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). 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%. Perhitungan besarnya curah hujan efektif berdasarkan R_{80} , dinyatakan dengan rumus sebagai berikut (Nuramini, 2017):

$$R_{80} = \left(\frac{n}{5}\right) + 1 \quad (2.13)$$

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 Jendral 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.

$$Re_{padi} = \frac{R_{80} \times 70\%}{Jumlah\ Pengamatan} \quad (2.14)$$

Keterangan:

Re_{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:

$$Re_{pal} = f_D \times (1,25 \times R_{50}^{0,824} - 2,93) \times 10^{0,00095 \times Et0} \quad (2.15)$$

Keterangan:

Re_{pal} = 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 kedalaman muka air tanah yang diperlukan pada beberapa tanaman menurut Standar Perencanaan Irigasi KP.01 disajikan dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Nilai D Pada Beberapa Tanaman

Tanaman	Dalam Akarnya (m)	Fraksi air yang tersedia	Air Tanah Tersedia yang Siap Pakani		
			(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

2.2.1.8 Kebutuhan Air Lapisan (WLR)

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 dua kali, (masing masing sebesar 50 mm dan 3,3 mm/hari selama setengah bulan) selama sebulan dan dua bulan setelah penanaman (Fachrurrozi, 2017).

2.2.1.9 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 Jendral SDA, 2013).

Tabel 2.6 Koefisien Tanaman (Kc) Padi

KOEFISIEN 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

KOEFSISIEN PADI				
Bulan	<i>Nedeco/ Prosida</i>		FAO	
	Varietas Biasa	Varietas Unggul	Varietas Biasa	Varietas Unggul
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	-

Tabel 2.7 Koefisien Tanaman (Kc) Palawija

KOEFSISIEN 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
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

2.2.1.10 Efisiensi Irigasi

Efisiensi irigasi adalah persentase 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.

1. Kehilangan air di saluran primer, Faktor koefisien 1,10.
2. Kehilangan air di saluran sekunder, Faktor Koefisien 1,15.
3. Kehilangan air di saluran tersier, Faktor koefisien 1,25.

2.2.1.11 Kebutuhan Air dan Persiapan Lahan

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

$$IR = \frac{(M \times e^k)}{(e^k - 1)} \quad (2.16)$$

$$K = \frac{M \times T}{S} \quad (2.17)$$

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 penyinaran tanah (hari)

S = Kebutuhan air untuk penjemuran ditambah dengan 50 mm

Analisis untuk petak tersier, jangka waktu yang dianjurkan untuk persiapan lahan adalah 1,5 bulan. Bila persiapan 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 persiapan lahan. Kebutuhan air untuk

penyiapan lahan termasuk kebutuhan air untuk persemaian (Direktorat Jendral SDA, 2013).

2.2.1.12 Penggunaan Konsumtif (Etc)

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

$$E_{tc} = K_c \times E_{t0} \quad (2.18)$$

Dimana:

K_c = koefisien tanaman

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

Koefisien tanaman diberikan untuk menghubungkan E_{t0} dengan E_{tc} dan dipakai dalam rumus Penman. Koefisien yang dipakai harus didasarkan pada pengalaman yang terus menerus, besarnya nilai suatu koefisien tanaman merupakan faktor yang digunakan untuk mencari besarnya air yang habis terpakai untuk tanaman periode 15 harian.

2.2.1.13 Kebutuhan air irigasi untuk palawija

Tanaman palawija memiliki perhitungan yang cukup berbeda dengan tanaman padi mengingat kebutuhan air untuk tanaman palawija tidak sebanyak padi. Persamaan untuk kebutuhan air palawija adalah sebagai berikut:

$$NFR = E_{Tc} + P - Re \quad (2.19)$$

Dimana:

E_{tc} = *consumptive use* (mm)

P = kehilangan air akibat perkolasi (mm/hari)

Re = curah hujan efektif (mm/hari)

2.2.1.14 Kebutuhan air di sawah untuk padi

Nilai kebuthan air untuk padi berbeda dengan palawija. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$NFR = ETc + P - Re + WLR \quad (2.20)$$

Dimana:

- ETc = consumptive use (mm)
 P = kehilangan air akibat perkolasi (mm/hari)
 Re = curah hujan efektif (mm/hari)
 WLR = penggantian lapisan air (mm/hari)

2.2.1.15 Kebutuhan air di pintu pengambilan

Kebutuhan air di pintu pengambilan dapat diketahui dengan rumus:

$$DR = NFR/EI \quad (2.21)$$

Dimana:

- DR = kebutuhan air di pintu pengambilan
 NFR = kebutuhan air di sawah
 EI = efisiensi irigasi

2.2.2 Kebutuhan Air Baku

Perkiraan kebutuhan air baku tergantung dari banyaknya jumlah penduduk. Banyaknya kebutuhan air baku dapat dikelompokkan menjadi (Elsaputra & Anwar, 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 geometri:

$$P_n = P_o \cdot (1+r)^n \quad (2.22)$$

Keterangan:

- P_n = Jumlah penduduk n tahun yang akan datang.

- Po = Jumlah penduduk pada akhir tahun data.
 r = Angka pertumbuhan penduduk (%).
 n = Interval waktu (tahun).

Persamaan yang digunakan dalam menghitung jumlah kebutuhan air baku yaitu (Elsaputra & Anwar, 2017):

$$Q = Pn \times q \quad (2.23)$$

Keterangan:

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

(Peraturan Pemerintah, 2015) 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. Kebutuhan air baku juga diartikan sebagai jumlah kebutuhan air baku yang telah ditetapkan atau diijinkan mendapatkan suplai dari waduk ((Kementerian PUPR, 2017). 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.

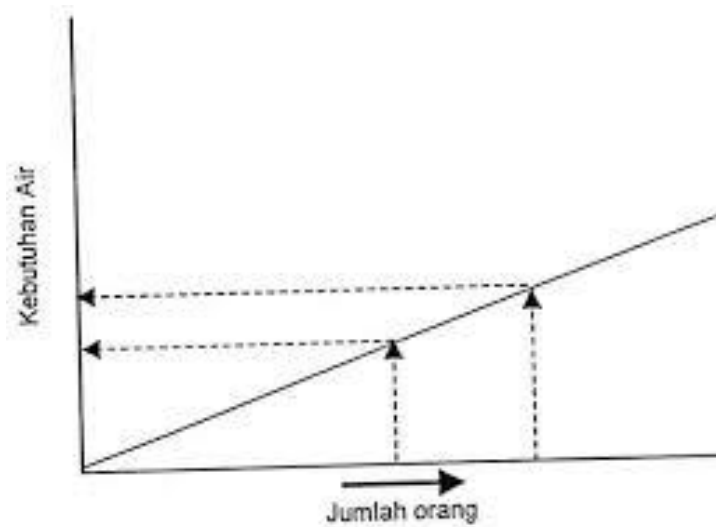
2. Kebutuhan Air Baku Air Minum

- 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. Standar kebutuhan air baku dibagi menjadi dua yaitu (PUPR, 1996):

1. Standar Penyediaan Air Domestik

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



Gambar 2.3 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 2.8 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	50 - 120	60 - 80			
2.	Konsumsi Unit Hidran (HU) (liter/org/hari)	20 - 40	20 - 40	20 - 40	20- 4-0	20 - 40			
3.	Konsumsi Unit Non Domestik	600 -900	600 -900		600				
	a. Niaga Kecil (liter/unit/hari)								
	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 -0,5
	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	50 : 50	80 :20	70 :30	70 :30			
		s d	s/d						
		80 :20	80 :20						
13.	Cakupan Pelayanan (%)	90	90	90	90	70			

2. Standar Penyediaan Air Non Domestik

Standar 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 2.2 sedangkan untuk kategori V disajikan dalam tabel 2.3 (PUPR, 1996).

Tabel 2.9 Kebutuhan Air Non Domestik Kota Kategori I, II, III, IV

Sektor	Nilai	Satuan
Sekolah	10	liter/murid/hari
Rumah Sakit	200	liter/bed/hari
Puskesmas	2000	liter/unit/hari
Masjid	3000	liter/unit/hari
Kantor	10	liter/pegawai/hari
Pasar	12000	liter/hektar/hari
Hotel	150	liter/bed/hari
Rumah Makan	100	liter/tempat duduk/hari
Komplek Militer	60	liter/orang/hari
Kawasan Industri	0,2 – 0,8	liter/detik/hektar
Kawasan Pariwisata	0,1 – 0,3	liter/detik/hektar

Tabel 2.10 Kebutuhan Air Non Domestik Kategori V (Desa)

Sektor	Nilai	Satuan
Sekolah	5	liter/murid/hari
Rumah Sakit	200	liter/bed/hari
Puskesmas	1200	liter/unit/hari
Masjid	3000	liter/unit/hari
Mushola	2000	liter/unit/hari
Pasar	12000	liter/hektar/hari
Komersial/Industri	10	liter/hari

2.2.3 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).

(Fitrah Alamsyah, Didik Notosudjono, n.d.) 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:

$$P = \rho \cdot G \cdot H_{eff} \cdot Q \cdot \eta \quad (2.24)$$

Keterangan:

P	= Daya listrik (KW)
ρ	= Massa jenis air (kg/m^3)
g	= Percepatan gravitasi (m/detik^2)
H_{eff}	= Tinggi jatuh efektif (m)
Q	= Debit (m^3/detik)
η	= Efisiensi turbin

Energi listrik dapat dirumuskan:

$$E = P \times t \quad (2.25)$$

Keterangan:

E	= Energi listrik (KWH)
t	= waktu (jam)

2.2.4 Evaporasi

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) (Triatmodjo, 2008). 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 evaporasi 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, yaitu:

1. Evaporasi dengan panci evaporasi

Pada metode ini evaporasi dihitung dari perbedaan elevasi muka air selama interval waktu pengukuran. Hasil pengukuran evaporasi dari panci harus dikalikan dengan suatu koefisien untuk mendapatkan evaporasi dari waduk atau danau.

$$E_L = K \cdot E_p \quad (2.26)$$

Keterangan:

E_L = Evaporasi dari badan air (waduk atau danau).

E_p = Evaporasi dari panci.

K = Koefisien panci

Koefisien panci bervariasi menurut musim dan lokasi, yaitu berkisar antara 0,6 dan 0,8. Biasanya digunakan koefisien panci tahunan sebesar 0,7.

2. Evaporasi dengan metode transfer massa

Persamaan yang digunakan dikenal dengan hukum Dalton, dimana evaporasi sebanding dengan perbedaan antara tekanan uap jenuh dan tekanan uap karena kelembaban udara (Triatmodjo, 2008).

$$E = C f(u) (e_s - e_d) \quad (2.27)$$

Keterangan:

E = Evaporasi (mm/hari).

C = Koefisien.

$f(u)$ = Fungsi kecepatan angin.

u = kecepatan angin pada jarak 2m di atas permukaan air (m/d).

e_s = Tekanan uap jenuh (mm hg).

e_d = Tekanan uap udara (mm hg).

3. Evaporasi dengan metode Herbeck (1962)

Persamaan yang digunakan dalam metode ini sebagai berikut:

$$E = N \times u \times (e_a - e_d) \quad (2.28)$$

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

Dimana,

E = Evaporasi (cm/hari)

U = kecepatan angin pada jarak 2 m di atas permukaan air (m/detik)

e_a = tekanan uap jenuh (mbar)

e_d = tekanan uap udara (mbar)

A = luas permukaan danau (m^2)

2.3 Bendungan

Menurut Peraturan Pemerintah No 37 Tahun 2010 tentang bendungan menyebutkan, bendungan adalah bangunan yang berupa urukan tanah, urukan batu, beton, dan/atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah

tambang (*tailing*), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk. Pembangunan bendungan dan pengelolaan bendungan beserta waduknya bertujuan untuk meningkatkan kemanfaatan fungsi sumber daya air, pengawetan air, pengendalian daya rusak air, dan fungsi pengamanan tampungan limbah tambang (*tailing*) atau tampungan lumpur (Peraturan Pemerintah, 2010).

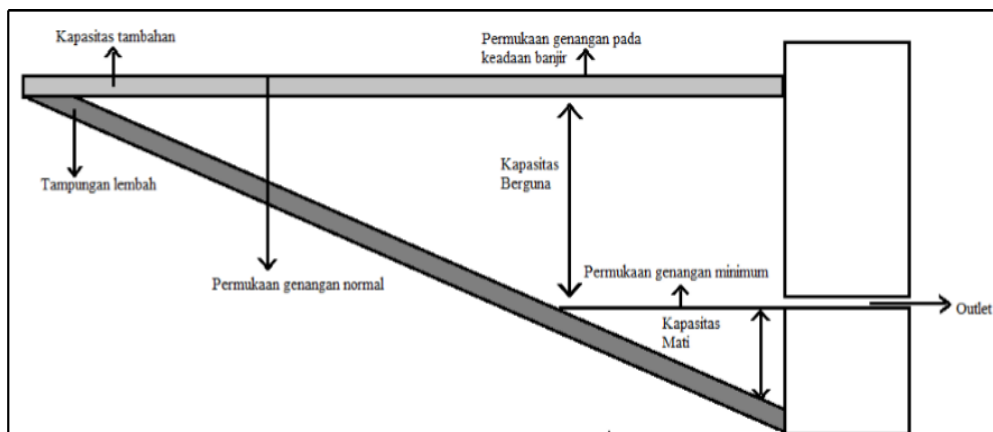
Berdasarkan tujuan pembangunannya, bendungan dibagi menjadi dua yaitu:

1. Bendungan dengan tujuan tunggal (*Single Purpose Dam*), merupakan bendungan yang dibangun untuk memenuhi satu tujuan saja, misalnya untuk pembangkit listrik saja, untuk irigasi (pengairan), atau untuk pengendalian banjir saja, dll.
2. Bendungan serbaguna (*Multi Purpose Dam*), merupakan bendungan yang dibangun untuk memenuhi beberapa tujuan, misalnya untuk pembangkit listrik (PLTA) dan irigasi (pengairan), atau untuk pengendalian banjir, air minum dan air industri, dll.

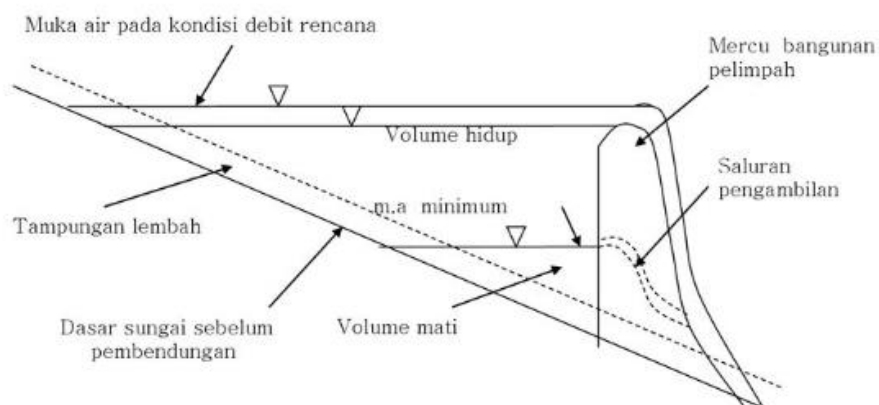
(Nuramini, 2017) menjelaskan kegunaan-kegunaan jenis bendungan tersebut, maka potensi waduk dalam menampung air (kapasitas waduk atau *storage capacity*) dapat dibedakan menjadi tiga bagian (*zone*), yaitu:

1. Kapasitas mati (*dead storage zone*), dipergunakan untuk pengumpulan sedimen.
2. Kapasitas efektif (*effective or useful 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.

Adapun bagian dari tampungan bendungan disajikan dalam Gambar 2.4 (Wijaya, 1995) dan karakteristik bendungan yang disajikan dalam Gambar 2.5 (Nuramini, 2017).



Gambar 2.4 Bagian Bagian Tampungan Bendungan



Gambar 2.5 Karakteristik Waduk

(McMahon et al., 2007) menjelaskan bahwa untuk menganalisis dan menentukan kelayakan dari perhitungan hubungan antara kapasitas tampung waduk atau volume yang dibutuhkan dengan kelayakan pemenuhan kebutuhannya dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu, Ripple (1883), sequent peak algoritma (Keneth, 2007), pengembangan analisis defisit (numerik), empiris log normal (Vogel and Stedinger, 1999), dan empiris Gamma (Phien, 1993). Metode Ripple dan Sequent Peak Algoritma sering digunakan untuk menentukan berapa kapasitas tampung suatu waduk yang direncanakan dengan mensimulasikan hubungan antara besarnya ketersediaan air dan kebutuhan air.

Perhitungan kapasitas tampung tersebut seringkali dihadapkan kepada kesalahan karena permasalahan tidak akuratnya perhitungan ketersediaan air yang sangat tergantung pada variabilitas dari kondisi iklim dan durasi data yang

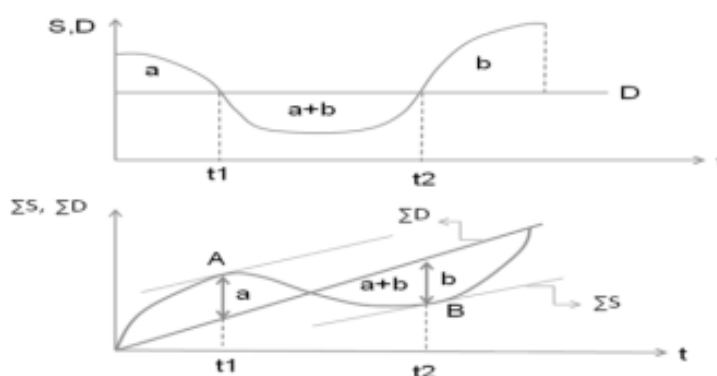
digunakan. Guna mengurangi kesalahan karena variabilitas kondisi iklim tersebut besarnya debit yang digunakan sebagai dasar dalam perhitungan ketersediaan air perlu diperpanjang dengan pendekatan stokastik, sehingga variabilitas dari data ketersediaan air dapat diketahui (Bagiawan, 2013).

2.3.1 Grafis (*Ripple Method*)

Dengan memplot kumulatif besarnya *inflow* dan *outflow*. Selisih terbesar, antara kedua kurva tersebut merupakan kapasitas yang dibutuhkan.

1. Memplot Kumulatif dari *inflow* yang masuk ke waduk.
2. Kemiringan dari kurva masa memberikan nilai dari *inflow* (S) pada suatu waktu.
3. Kemiringan dari kurva kebutuhan memberikan besaran laju kebutuhan (D).
4. Perbedaan antara garis tangen ($a+b$) ke garis kebutuhan (ΣD) pada titik puncak (A) dan titik terendah (B) dari kurva masa (ΣS) memberikan laju yang harus dikeluarkan dari waduk selama perioda kritis.

Maksimum kumulatif antara tangen adalah merupakan tampungan (*storage*) aktif yang diperlukan.



Gambar 2.6 Diagram Kurva Massa (Ripple, 1883)

2.3.2 Analitis (*Numeric Method*)

Metode ini dilakukan dengan melakukan analisis ketersediaan air (*inflow*) pada lokasi penelitian dan menganalisis besarnya kebutuhan air (*outflow*). Besarnya kapasitas tampung yang dibutuhkan ditentukan dari selisih antara volume *outflow*

dikurangi *inflow* dimana maksimum volumenya merupakan kapasitas yang dibutuhkan. Persamaan kapasitas tampung ditentukan dengan persamaan:

$$\text{Max } S_{t+1} = S_t + O_t - I_t \quad (2.29)$$

Keterangan:

S_{t+1} : storage pada saat t+1 (m^3)

S_t : storage pada saat t (m^3)

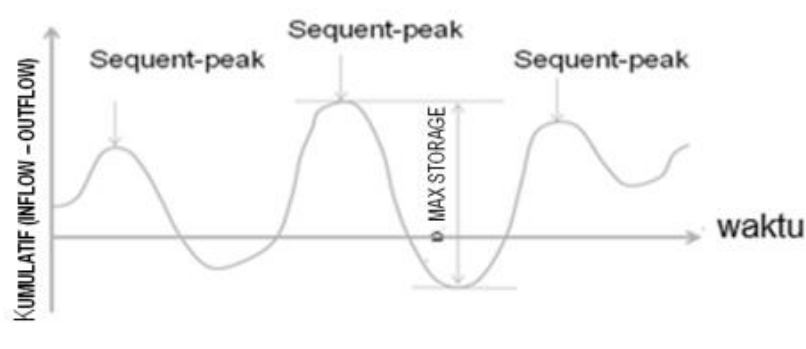
O_t : total kebutuhan air (m^3)

I_t : total ketersediaan air (m^3)

Perhitungan kapasitas tampung ini dilakukan dalam dua siklus ketersediaan air dan kebutuhan air, bilamana dari hasil perhitungan tersebut terlihat besarnya nilai S_{t+1} negatif, maka diasumsikan $S_{t+1} = 0$ dan perhitungan dilanjutkan untuk waktu berikutnya hingga dua siklus. Besarnya nilai S_{t+1} max dari perhitungan tersebut merupakan kapasitas tampung yang diperlukan.

2.3.3 Analitis (*sequence depth method*)

Pada metode ini dilakukan dengan menghitung selisih antara *inflow* dan *outflow*, serta menghitung besarnya kumulatif dari selisih tersebut. Dilanjutkan dengan memilih nilai maksimum dan minimum *flow* dari besarnya kumulatif (*inflow - outflow*) dan menentukan selisihnya dapat ditentukan besarnya kapasitas tampung yang diperlukan. *Sequent peak* algoritma adalah modifikasi dari analisis kurva masa dan digunakan untuk seri data yang panjang.



Gambar 2.7 Analisis *Sequent Peak* Algoritma

Langkah - langkah dalam melakukan analisis tersebut yaitu:

1. Pemilihan puncak awal dan puncak selanjutnya.
2. Perhitungan kapasitas tampung yang dibutuhkan yang merupakan perbedaan antara volume puncak (S_{max}) dan volume terendah (S_{min}).
3. Ulangi proses perhitungan untuk semua kondisi puncak yang berurutan.
4. Menentukan nilai terbesar dari kapasitas tampung.

Solusi dari *Sequent Peak* Algoritma (SPA) sangat mudah diselesaikan dengan komputer. Persamaan yang digunakan:

$$S_t = O_t - I_t + S_{t-1} \text{ jika positif}$$

$$S_t = 0 \text{ jika negatif}$$

Keterangan:

- S_t : Kebutuhan kapasitas tampung pada akhir perioda t.
 S_{t-1} : Kebutuhan kapasitas tampung pada akhir perioda t-1.
 O_t : *Outflow* selama perioda waktu t. release during period t.
 I_t : *inflow* selama perioda waktu t.
 ds : Perubahan kapasitas tampung untuk perioda waktu dt.

Diasumsikan bahwa tampungan (*reservoir*) mencukupi bila *reservoir* dapat mensuplai semua kebutuhan dengan kemungkinan adanya evapotranspirasi dan evaporasi.

2.4 Pola Operasional Bendungan

Perhitungan simulasi keseimbangan air untuk menetapkan pola operasi waduk didasarkan pada debit dengan tingkat keandalan tertentu. Menurut Puslitbang dalam (Kementerian PUPR, 2017) 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 % (PUPR, 1996).

2.4.1 Neraca Air

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

$$I - O = \frac{ds}{dt} \quad (2.30)$$

Keterangan:

I = Debit masuk (m³/detik).

O = Debit keluar (m³/detik).

$\frac{ds}{dt}$ = ΔS = adalah perubahan tampungan (m³/detik).

Adapun persamaan yang lebih rinci yaitu:

$$S_{t+1} = S_t + R_t - E_t - L_t - O_t - O_s \quad (2.31)$$

Keterangan:

S_{t+1} = Tampungan bendungan pada periode t+1.

S_t = Tampungan bendungan pada periode t.

R_t = Hujan yang jatuh di atas permukaan bendungan, pada periode t.

E_t = Kehilangan air akibat evaporasi pada periode t.

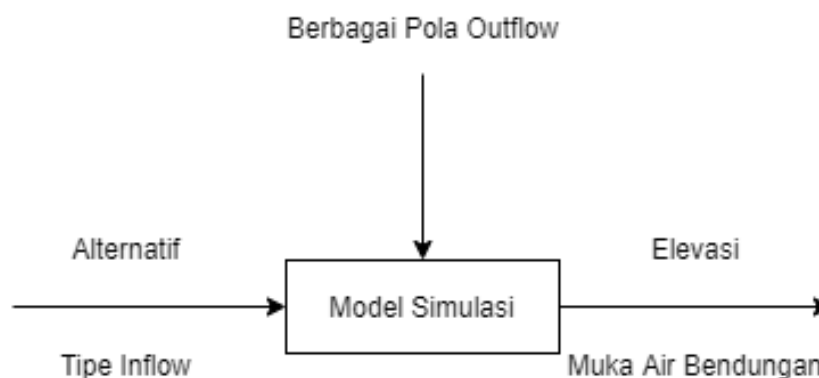
L_t = Kehilangan air akibat rembesan dan bocoran.

O_t = Total kebutuhan air

O_{st} = Keluaran dari pelimpah

2.4.2 Pola Perhitungan

Pola perhitungan yang akan dipakai yaitu dengan menggunakan metode simulasi. Dalam metode ini muka air bendungan disimulasikan dengan berbagai kondisi tipe masukan (*inflow*) dan karakteristik bendungan, seperti pada kondisi bulan basah, bulan normal dan bulan kering sehingga akan didapatkan kurva atau ambang pola pengoperasian, adapun skema model simulasi disajikan dalam Gambar 2.8, (Kementerian PUPR, 2017).



Gambar 2.8 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 bendungan dapat dikendalikan agar bendungan tidak dalam kondisi yang sangat kritis pada akhir operasi dan penuh kembali pada saat masuk pada tahun pengoperasian selanjutnya (Freddy Barus, n.d.).

2.4.3 Peluang Kegagalan dan Keandalan Bendungan

Simulasi tahanan bendungan menghasilkan peluang kegagalan dan keandalan bendungan. Persamaan peluang kegagalan yang paling umum dipakai adalah perbandingan jumlah satuan bendungan pada waktu bendungan kosong dengan jumlah satuan total yang digunakan dalam proses analisis (Nuramini, 2017).

$$Pe = \frac{P}{N} \quad (2.32)$$

Definisi keandalan yang berhubungan yaitu:

$$Re = 1 - Pe$$

Keterangan:

Pe = Peluang kegagalan.

P = Jumlah satuan waktu pada saat bendungan kosong.

N = Jumlah periode simulasi.

Re = Peluang keandalan

Keandalan bendungan dinyatakan dengan Re %, dengan jumlah kegagalan yang diijinkan sebanyak Pe %. Kegagalan bendungan ditentukan dengan persentase jumlah kegagalan dari total periode simulasi, sedangkan keandalan bendungan ditentukan dengan persentase jumlah keberhasilan dari total periode simulasi.

(Hesham Alrayess, Utku Zeybekoglu, n.d.) menjelaskan bahwa volume waduk yang dapat memenuhi kebutuhan air tergantung pada besarnya dan variabilitas aliran, jumlah kebutuhan, tingkat keandalan dalam memenuhi kebutuhan dan cara pengoperasian (Bayazit, 1997). McMahon & Mein (1978) telah mengklasifikasikan sejumlah besar prosedur desain yang berbeda menjadi tiga kelompok besar. Kelompok pertama disebut "teknik periode kritis" yang mengandalkan analisis peristiwa-peristiwa ketika hasil melebihi permintaan. Pola ini merupakan metode yang umum digunakan pada tahap desain awal, yaitu metode yang digunakan untuk menambahkan aliran air (diagram Ripple) serta perbedaan tambahan, aliran minimum dan puncak yang berurutan. Namun, tidak mungkin untuk menentukan risiko yang dibutuhkan oleh volume waduk yang diprediksi dalam metode ini. Metode-metode seperti Dinçer, dan Gould Gamma di mana ketepatan distribusi tertentu diprediksi dan risiko dapat diekspresikan ditemukan menjadi area aplikasi yang tersebar luas terutama ketika risiko ingin didefinisikan (McMahon & Mein, 1986).

2.4.3.1 McMahon's Empirical Method

Alexander (1962) mengatakan dalam (McMahon et al., 2007) baik kurva massa maupun pendekatan aliran minimum maupun jangkauan memberikan perkiraan kemungkinan kegagalan penyimpanan. Kemudian Alexander memperluas pendekatan sebelumnya dengan mengembangkan serangkaian kurva kekeringan untuk probabilitas kejadian yang berbeda dan digeneralisasikan kurva penyimpanan - regulasi - probabilitas.

McMahon (1976) mengambil sampel 156 sungai di Australia dan menggunakan prosedur modifikasi Gould untuk memperkirakan kapasitas penyimpanan teoritis untuk empat kondisi draft (90%, 70%, 50%, dan 30% dari aliran tahunan rata-rata) dan tiga nilai probabilitas kegagalan 2,5%, 5% dan 10%).

$$\tau = C/\mu = a*C_v^b \quad (2.33)$$

Dimana:

τ = Kapasitas waduk dibagi dengan aliran tahunan rata-rata.

μ = Aliran tahunan rata-rata.

a, b = Konstanta yang diturunkan secara empiris ditabulasikan pada

Tabel 2.9

Tabel 2.11 Koefisien Persamaan Metode Empiris Mc Mahon

Draft %	Parameter	Probability of Failure %		
		2,5	5	10
90	a	7,5	5,07	3,08
	b	1,86	1,81	1,82
70	a	2,51	1,81	1,21
	b	1,83	1,79	1,74
50	a	0,98	0,75	0,51
	b	1,91	1,93	1,83
30	a	0,28	0,22	0,15
	b	1,53	1,49	1,79

Penggunaan Metode McMahan dan data aliran tahunan, nilai yang dihitung untuk kapasitas waduk disajikan pada tabel 2.12.

Tabel 2.12 Kapasitas Penyimpanan yang dibutuhkan dalam Metode Mc Mahon dan Probabilitas Kegagalan 5% dan 10%.

Draft %	Probability of failure %	Konstanta*Variasi tahunan	Dam storage	Probability of failure %	Konstanta*Variasi tahunan	Dam Storage
			(10 ⁶ m ³)			(10 ⁶ m ³)
90	5	1,69	739,2	10	1,02	446,35
70		0,61	267,12		0,42	184,07
50		0,23	101,67		0,17	73,46
30		0,09	38,95		0,05	22,14

2.4.3.2 Dincer's Method

Metode Dincer dikembangkan oleh Dincer pada tahun 1978, merupakan suatu pendekatan teoritis berdasarkan aliran tahunan terdistribusi normal untuk memperkirakan rata-rata waktu perjalanan pertama menuju kekosongan untuk kapasitas waduk, target dan draft yang diberikan.

$$P = (Z_p^2/4(1-D)^2) \times C_v^2 \quad (2.34)$$

$$\tau = C/\mu = ((Z_p^2/4(1-D)^2)-d) \times C_v^2 \quad (2.35)$$

Dimana:

- CP = Panjang periode penarikan kritis dalam tahun.
- C = Kapasitas waduk.
- Cv = Koefisien variasi tahunan.
- Zp = Variasi normal standar pada P %.
- D = Tingkat regulasi dan
- T = Penyimpanan maksimum yang diperlukan dinyatakan sebagai rasio aliran tahunan rata-rata.
- D = Faktor koreksi.

Adapun nilai kapasitas penyimpanan yang dibutuhkan dalam metode Dincer ini disajikan dalam Tabel 2.11.

Tabel 2.13 Kapasitas Penyimpanan Metode Dincer

Draft	Probability of failure %	Z _p	d	C	Critical Period (yrs)	C adjust
				(10 ⁶ m ³)		(10 ⁶ m ³)
60%	5	1,6 4	0, 6	218,39	1,2	633,32
	10	1,2 8	0, 3	133,03	0,8	312,63
80%	5	1,6 4	0, 6	436,78	5	1528,72
	10	1,2 8	0, 3	266,07	3	824,81

2.4.3.3 Gould's Gamma Method

Metode ini dapat digambarkan sebagai kombinasi dari metode Alexander dan Dincer. Metode ini menggunakan fakta bahwa, sementara parameter untuk distribusi normal mudah dihitung dan tabel probabilitasnya sudah tersedia, distribusi gamma biasanya merupakan pendekatan yang lebih baik untuk distribusi data aliran tahunan. Prosedur Gould menggunakan distribusi normal untuk perhitungan, dan kemudian menerapkan koreksi untuk mendekati distribusi gamma (McMahon & Mein, 1986 dalam (Hesham Alrayess, Utku Zeybekoglu, n.d.)). Tabel 2.12 menunjukkan faktor koreksi Gould d untuk berbagai z_p .

Tabel 2.14 Faktor Koreksi Gould's

P	Variasi Normal	Faktor Koreksi
%		
0,5	3,3	d tidak konsisten
1	2,33	1,5
2	1,05	1,1
3	1,88	0,9
4	1,75	0,8
5	1,64	0,6
7,5	1,44	0,4
10,5	1,28	0,3

Adapun rumus yang digunakan dalam metode ini yaitu:

$$\tau = C/\mu = ((Z_p^2/4(1-D))-d) \times C_v^2 \quad (2.36)$$

Dimana:

- CP = Panjang periode penarikan kritis dalam tahun.
- C = Kapasitas waduk.
- C_v = Koefisien variasi tahunan.
- Z_p = Variasi normal standar pada P %.
- D = Tingkat regulasi dan
- T = Penyimpanan maksimum yang diperlukan dinyatakan sebagai rasio aliran tahunan rata-rata.

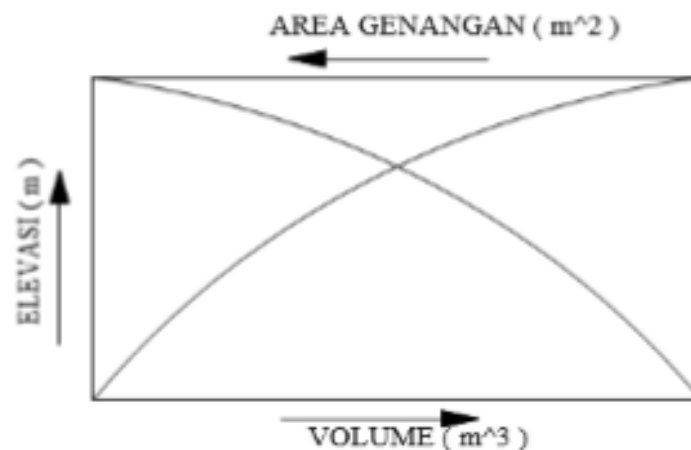
D = Faktor koreksi.

2.4.4 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) dalam (Nuramini, 2017). *Rule curve* pengoperasian bendungan adalah kurva atau grafik yang menunjukkan hubungan antara elevasi muka air bendungan, debit *outflow* dan waktu dalam satu tahun (Indrakanrya: 1993 dalam (Nuramini, 2017)). *Rule Curve* digunakan sebagai pedoman pengoperasian bendungan dalam menentukan pelepasan yang diijinkan dan sebagai harapan memenuhi kebutuhan.

2.4.5 Lengkung Kapasitas Bendungan

Lengkung kapasitas bendungan merupakan grafik yang menghubungkan luas daerah genangan dengan volume tampungan terhadap elevasinya. Lengkung kapasitas diperlukan untuk menentukan volume total waduk berdasarkan pada data topografi yang ada.



Gambar 2.9 Grafik Lengkung Kapasitas Bendungan

Evaluasi kapasitas waduk diperlukan untuk mengetahui seberapa besar perubahan volume efektif Waduk dari awal pengukuran hingga tahun pengoperasian. Waduk akan mengalami penurunan fungsi dan kinerjanya yang meliputi penurunan kapasitas serta efektifitas kinerja. Hal tersebut diakibatkan oleh penurunan debit inflow dari Sub-DAS dan pendangkalan dasar waduk akibat tingginya sedimentasi yang masuk ke waduk. Sedimentasi yang besar

menyebabkan pendangkalan pada waduk sehingga mengurangi kapasitas dan fungsi waduk, hal ini mengakibatkan operasi dan pemeliharaan waduk menjadi lebih sulit dan mahal. Perhitungan lengkung kapasitas waduk dilakukan dengan menggunakan rumus berikut, (Azura Ulfa, Slamet Suprayogi, 2017):

$$V = \sum_n^{n+1} V_n \cdot (n+1) \quad (2.37)$$

$$= \frac{D_x (A_n + A_{(n+1)} + \sqrt{A_n \times A_{(n+1)}})}{3}$$

Keterangan:

V = Volume

D = Jarak antara dua potongan melintang (m)

A_n = Luas potongan melintang A_n (m^2)

A_{n+1} = Luas potongan melintang A_{n+1} (m^2)