

BAB III

LANDASAN TEORI

A. Metode *ripple*

Metode ini pertama kali dikemukakan oleh Ripple (1883) untuk menghitung besarnya kapasitas tampung reservoir yang memadai pada saat tingkat kebutuhan air tertentu. Ripple/Kurva masa adalah garis yang memperlihatkan debit aliran pada waktu tertentu, dengan asumsi ketika komulatif draft lebih besar dari komulatif *inflow* maka waduk tidak dapat melayani kebutuhan (Linsley, 1989). Dalam konsep ini memperlihatkan debit aliran selama waktu tertentu dengan asumsi apabila komulatif draft lebih besar lebih besar dari komulatif *inflow* maka waduk dianggap tidak dapat melayani kebutuhan atau kegagalan. Beberapa asumsi yang digunakan dalam *metode ripple* adalah Waduk dianggap penuh pada saat permulaan periode kritik dan kapasitas waduk dihitung untuk memenuhi kebutuhan pengambilan pada saat musim kering. Sedangkan batasan-batasan yang digunakan adalah draft biasanya diambil konstan, tidak mungkin menghitung keandalan berdasarkan besar tampungan, volume tampungan dihitung bukan dengan probabilitas kegagalan.

Perancangan suatu proyek sering kali menuntut penetapan kapasitas waduk yang dibutuhkan untuk untuk memenuhi kebutuhan yang diperlukan. Karena penetapan kapasitas berguna untuk menyediakan produksi yang besarnya tertentu dan didasarkan atas persamaan simpanan. Dalam jangka panjang, aliran yang keluar dari waduk harus sama dengan aliran masuk dikurangi dengan buangan serta kehilangan air yang tidak bisa dihindarkan. Dengan kata lain, waduk tidak menghasilkan air tetapi hanya memungkinkan pengaturan kembali distribusinya terhadap waktu. Waduk berfungsi sebagai penangkap air dan menyimpannya di musim hujan, dengan memiliki daya tampung tersebut sebagian besar air sungai yang melebihi kebutuhan dapat disimpan dalam waduk dan baru dilepas ke dalam sungai di bagian hilirnya pada saat diperlukan (Sani, 2008). Pada studi kasus ini menganalisis kapasitas waduk hanya dengan satu metode kritik, metode ini membandingkan debit

debit masuk dengan kebutuhan dan menentukan kapasitas tampungan memadai pada kebutuhan puncak. Metode periode kritik ditafsirkan sebagai periode yang dimulai saat waduk penuh sampai kosong dan berdasarkan pada kejadian-kejadian kritis atau kekurangan air (Sani, 2008). Sedangkan dasar metode ini adalah data dari waktu lalu untuk penentuan waduk di masa yang akan datang (Mc. Mohan 1978). Sebelum menuju ke perhitungan *metode ripple* ada beberapa analisis yang harus dilakukan terlebih dahulu seperti harus mengetahui data:

1. *Inflow*

Aliran yang masuk kedalam waduk meliputi aliran permukaan, aliran bawah permukaan, dan air yang masuk ke dalam waduk

2. *Outflow*

Aliran yang keluar waduk meliputi aliran bawah permukaan, aliran permukaan maupun air yang keluar dari waduk

3. Ketersediaan air

Ketersediaan air adalah jumlah air (debit) yang diperkirakan terus menerus ada di suatu lokasi (bendung atau bangunan air lainnya) di sungai dengan jumlah tertentu dan dalam jangka waktu (periode) tertentu (Triatmodjo, 2008). Ketersediaan air tersebut dapat dipergunakan untuk:

a. Irigasi

Irigasi merupakan usaha untuk penyediaan dan pengaturan air untuk menunjang pertanian. Kebutuhan air irigasi dinyatakan dalam mm/hari dan ditentukan oleh faktor sebagai berikut:

- 1) Penyiapan lahan
- 2) Penggunaan konsumtif
- 3) Perkolasi dan rembesan
- 4) Curah hujan efektif.

b. Kebutuhan air baku untuk air minum PDAM

Air baku adalah air bersih yang dapat berasal dari sumber air permukaan, cekungan air tanah dan/atau air hujan yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai air baku untuk air minum.

4. Hujan rata-rata

Dalam analisis hidrologi selain digunakan jumlah data hujan digunakan juga data intensitas hujan. Menurut Triatmodjo (2008) intensitas hujan adalah jumlah curah hujan dalam suatu satuan waktu, yang biasanya dinyatakan dalam mm/jam, mm/hari, mm/minggu, mm/bulan, mm/tahun. Dalam penelitian ini analisis hidrologi yang digunakan untuk menentukan hujan rerata pada daerah tangkapan air. yaitu menggunakan metode Metode *Polygon Thiessen*

Metode ini memperhitungkan bobot dari setiap stasiun yang mewakili luasan disekitar DAS. Dalam suatu luasan DAS dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun hujan yang terdekat, sehingga stasiun hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili luasan tersebut. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata (Triatmodjo,2008).

Untuk menentukan nilai hujan rerata pada metode *polygon thiessen* pada suatu luasan DAS menggunakan persamaan berikut (Triadmodjo, 2008) :

$$\bar{p} = \frac{A_1 \cdot p_1 + A_2 \cdot p_2 + \dots + A_n \cdot p_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots \dots \dots (3.1)$$

dengan :

\bar{p} = Hujan rerata kawasan

p_1, p_2, \dots, p_n = Hujan pada stasiun 1, 2, 3,....., n

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, 3,.....n

5. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah keseluruhan jumlah air yang berasal dari permukaan tanah, air dan vegetasi yang diuapkan kembali ke atmosfer. Dengan kata lain, besarnya evapotranspirasi adalah jumlah antara evaporasi (penguapan air berasal dari permukaan badan air) dan transpirasi (penguapan air tanah ke atmosfer melalui vegetasi) (Asdak, 1995 dalam Putra, 2006). Evapotranspirasi sebagai data masukkan dari *metode ripple*, oleh sebab itu perlu dicari terlebih dahulu sebelum masuk ke analisis

perhitungan metode *ripple*. untuk memperoleh besarnya nilai evapotranspirasi digunakan rumus *Penman Modifikasi* dan *Thornthwaite*.

a. Langkah – langkah perhitungan evapotranspirasi (*ET*) berdasarkan rumus *Penman Modifikasi* adalah sebagai berikut :

1) Menghitung suhu udara rata – rata bulanan (*t*) dalam ($^{\circ}\text{C}$) dari data klimatologi

2) Menghitung kecepatan angin (*U*) dalam (knots) dari data klimatologi. Perhitungan (*U*) dalam (km/hari) menggunakan persamaan berikut :

$$U = U (\text{knots}) \cdot 0.02589 \dots\dots\dots(3.2)$$

3) Menghitung fungsi kecepatan angin $f(U)$ berdasarkan nilai kecepatan angin (*U*). Perhitungan $f(U)$ menggunakan persamaan berikut :

$$f(U) = 0.27\left(1 + \frac{U}{100}\right) \dots\dots\dots(3.3)$$

dengan :

R_s = Radiasi matahari

U = Kecepatan (km/hari)

4) Menghitung rata – rata penyinaran matahari n/N dalam (%) dari data klimatologi.

5) Menghitung rata – rata kelembaban udara (*RH*) dalam (%) dari data klimatologi.

6) Menghitung tekanan uap (*ea*) menggunakan Tabel 3.1 berdasarkan nilai suhu (*t*). Perhitungan menggunakan persamaan interpolasi berikut :

$$Y = Y_1 + \frac{(X - X_1)}{(X_2 - X_1)} (Y_2 - Y_1) \dots\dots\dots(3.4)$$

7) Menghitung tekanan uap aktual (*ed*) dari nilai tekanan uap (*ea*) dan rata – rata kelembaban udara (*RH*). Perhitungan (*ed*) menggunakan persamaan berikut :

$$ed = ea \times \left(\frac{RH}{100}\right) \dots\dots\dots(3.5)$$

8) Menghitung perbedaan tekanan uap ($ea - ed$) dari nilai tekanan uap (*ea*) dan tekanan uap aktual (*ed*).

- 9) Menghitung faktor pembobot (W) berdasarkan data suhu (t). Perhitungan menggunakan persamaan interpolasi.
- 10) Menghitung elevasi daerah ($I-W$) berdasarkan nilai (W).
- 11) Menghitung posisi lintang (*latitude*) daerah pengamatan dari data klimatologi.
- 12) Menghitung radiasi lapisan atas atmosfer (R_a) berdasarkan posisi lintang (*latitude*) daerah pengamatan. Perhitungan (R_a) menggunakan persamaan interpolasi.
- 13) Menghitung radiasi matahari yang sampai ke bumi (R_s) berdasarkan nilai penyinaran matahari (n/N) dan nilai radiasi lapisan atas atmosfer (R_a). Perhitungan menggunakan persamaan berikut :

$$R_s = (0.25 + 0.5 n/N) R_a \dots\dots\dots(3.6)$$

dengan :

R_s = Radiasi matahari

n/N = Penyinaran matahari (%)

R_a = Radiasi lapisan atas atmosfer

- 14) Menghitung radiasi bersih gelombang pendek matahari (R_{ns}) berdasarkan nilai radiasi matahari yang sampai ke bumi (R_s) dan $\alpha = 0.25$. Perhitungan (R_{ns}) menggunakan persamaan :

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \dots\dots\dots(3.7)$$

dengan :

R_{ns} = Radiasi bersih gelombang pendek matahari

α = Albedo atau persentase radiasi yang dipantulkan, untuk tanaman acuan pada rumus Penman Modifikasi diambil $\alpha = 0.25$

- 15) Menghitung pengaruh temperatur $f(T)$ dengan. menggunakan persamaan interpolasi.
- 16) Menghitung pengaruh tekanan uap $f(ed)$ menggunakan nilai tekanan uap aktual (ed). Perhitungan $f(ed)$ menggunakan persamaan berikut :

$$f(ed) = 0.34 - 0.044 \sqrt{ed} \dots\dots\dots(3.8)$$

dengan :

$f(ed)$ = Tekanan uap

ed = Tekanan uap aktual

- 17) Menghitung pengaruh persentase penyinaran matahari $f(n/N)$ berdasarkan nilai rata – rata penyinaran matahari (n/N). Perhitungan $f(n/N)$ menggunakan persamaan berikut :

$$f(n/N) = 0.1 + 0.9 n/N \dots \dots \dots (3.9)$$

dengan :

$f(n/N)$ = Persentase penyinaran matahari

n/N = Penyinaran matahari (%)

- 18) Menghitung radiasi bersih gelombang panjang ($Rn1$) berdasarkan nilai pengaruh temperature $f(T)$, pengaruh tekanan uap $f(ed)$, dan pengaruh persentase penyinaran matahari $f(n/N)$. Perhitungan ($Rn1$) menggunakan persamaan berikut:

$$Rn1 = f(T).f(ed).f(n/N) \dots \dots \dots (3.10)$$

dengan :

$Rn1$ = Radiasi bersih gelombang panjang

$f(T)$ = Pengaruh temperature

$f(ed)$ = Tekanan uap

$f(n/N)$ = Persentase penyinaran matahari

- 19) Menghitung radiasi bersih (Rn) berdasarkan nilai radiasi bersih gelombang pendek matahari (Rns) dan nilai radiasi bersih gelombang panjang ($Rn1$). Perhitungan (Rn) menggunakan persamaan berikut :

$$Rn = Rns - Rn1 \dots \dots \dots (3.11)$$

dengan :

Rn = Radiasi bersih

Rns = Radiasi bersih gelombang pendek matahari

$Rn1$ = Radiasi bersih gelombang panjang

- 20) Menghitung kecepatan angin (U) dari (knots) ke dalam (m/det). Perhitungan (U) dalam (m/det) menggunakan persamaan berikut :

$$U = U (knots). 0.447041 \dots \dots \dots (3.12)$$

dengan :

U = Kecepatan angin (m/det)

U = Kecepatan angin (knots)

- 21) Menghitung Kecepatan angin (U) siang atau (U) malam, karena tidak ada data yang membedakan kecepatan angin pada siang hari dan malam hari, maka dianggap nilai kecepatan angin = 1.
- 22) Menentukan nilai konstanta (C) pada penelitian ini menggunakan nilai konstanta (C) sebesar 1.10.
- 23) Berdasarkan nilai (C), nilai (W), nilai (Rn), nilai ($I-W$), nilai ($ea - ed$), dan $f(U)$ maka akan mendapatkan nilai evapotranspirasi potensial (ET) dalam (mm/hari). Perhitungan (ET) dalam (mm/hari) menggunakan persamaan berikut :

$$ET = C. (W.Rn+(I - W)(ea - ed) \dots\dots\dots(3.13)$$

dengan :

ET = Evapotranspirasi potensial (mm/hari)

W = Faktor pembobot

Rn = Radiasi bersih

$I-W$ = Elevasi daerah

$ea-ed$ = Perbedaan tekanan uap

$f(u)$ = Fungsi kecepatan angin

C = Konstanta

- 24) Menghitung evapotranspirasi potensial (ET) dalam (mm/bulan) berdasarkan nilai evapotranspirasi potensial (ET) dalam (mm/hari). Perhitungan (ET) dalam (mm/bulan) menggunakan persamaan berikut :

$$ET = ET (mm/hari). \text{ Jumlah hari } \dots\dots\dots(3.14)$$

dengan :

ET = Evapotranspirasi potensial (mm/bulan)

ET = Evapotranspirasi (mm/hari)

- b. Langkah – langkah perhitungan evapotranspirasi (ET) berdasarkan Metode Thornthwaite persamaannya berikut ini (Triatmodjo,2008) :

$$1) ET = 1.62 \left[\frac{10.TM}{I} \right]^a \dots\dots\dots(3.15)$$

$$2) I = \sum_{m=1}^{12} \left[\frac{TM}{5} \right]^{1.514} \dots\dots\dots(3.16)$$

$$3) 2.2.3 \quad ET = f \times Et \dots\dots\dots(3.17)$$

dengan :

$$\alpha = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 179 \times 10^{-4} I + 492 \times 10^{-3}$$

Tm = Temperatur bulanan rata – rata ($^{\circ}\text{C}$).

I = Indeks panas tahunan.

f = Koefisien penyesuaian hubungan antara jumlah jam dan hari terang berdasarkan lokasi.

Untuk menentukan nilai evapotranspirasi potensial (ET) wilayah, maka perlu dikonversi nilai evapotranspirasi potensial yang ada dengan koefisien penyesuaian menurut garis lintang/bujur. Koefisien penyesuaian menurut bujur dan bulan (f)

Tabel 3.1. Faktor Penyesuaian Untuk Persamaan Thornthwaite

Lintang	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
0°LU	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
5°LU	1.02	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99	1.02
10°LU	1.00	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
15°LU	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
20°LU	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
25°LU	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
30°LU	0.90	0.87	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
35°LU	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
40°LU	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
45°LU	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
50°LU	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.70
5°LS	1.06	0.95	1.04	1.00	1.02	0.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
10°LS	1.08	0.97	1.05	0.99	1.01	0.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
15°LS	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
20°LS	1.14	1.00	1.05	0.97	0.96	0.91	0.95	0.99	1.00	1.08	1.09	1.15
25°LS	1.17	1.01	1.05	0.96	0.94	0.88	0.93	0.98	1.00	1.10	1.11	1.18
30°LS	1.20	1.03	1.06	0.95	0.92	0.85	0.90	0.96	1.00	1.12	1.14	1.21
35°LS	1.23	1.04	10.6	0.94	0.89	0.82	0.87	0.94	1.00	1.13	1.17	1.25
40°LS	1.27	1.06	1.07	0.93	0.86	0.78	0.84	0.92	1.00	1.15	1.20	1.29
45°LS	1.31	1.09	1.07	0.91	0.83	0.73	0.80	0.91	0.99	1.17	1.24	1.34
50°LS	1.37	1.12	1.08	0.89	0.77	0.67	0.74	0.88	0.99	1.19	1.29	1.41

Sumber : Triatmodjo, 2008

6. Kapasitas waduk

Dalam perhitungan kapasitas waduk menggunakan *metode ripple* dalam penelitian ini menggunakan persamaan berikut :

$$Z = (Q \text{ in} - Q \text{ out}) + \text{Volume tertampung akhir bulan 1,2,3 dst} \quad (3.18)$$

dengan :

$$Q \text{ in} = \text{Hujan rerata} + \text{debit Inflow (m}^3\text{)}$$

$$Q \text{ out} = \text{Debit outflow} + \text{evapotranspirasi} + \text{draft kebutuhan (m}^3\text{)}$$

B. Keandalan Waduk

Keandalan suatu waduk adalah sebagai besarnya peluang bahwa waduk akan mampu memenuhi kebutuhan yang direncanakan sepanjang masa hidupnya tanpa adanya kekurangan (*Linsley, 1989*).

Prosedur perhitungan keandalan waduk dengan metode simulasi adalah:

- Menentukan kapasitas aktif waduk dan dianggahitung p keadaan awal waduk penuh ($Z_t=C$)
- Menghitung banyaknya kejadian kegagalan (P), yaitu pelepasan air dari waduk yang tidak dapat memenuhi kebutuhannya
- Menghitung tingkat keandalan waduk dengan rumus sebagai berikut:

$$Pe = \frac{\sum P}{N} \dots \dots \dots (3.19)$$

Dengan :

$$P = \text{Jumlah waduk kosong selama waktu tertentu}$$

$$N = \text{Jumlah panjang data yang dianalisis}$$

$$Pe = \text{Presentase data kegagalan}$$