

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Neraca Air

Menurut Triatmodjo (2010), neraca air dapat dinyatakan dalam interval waktu singkat atau untuk durasi panjang, untuk suatu DAS atau badan air seperti waduk atau danau. Secara umum persamaan dari neraca air adalah :

$$P + Q_i + G_i - E - T - Q_o - G_o - \frac{\Delta S}{\Delta t} = 0 \quad (3-1)$$

dengan :

P : presipitasi

$Q_i, Q_o$  : debit aliran masuk dan keluar

$G_i, G_o$  : aliran air tanah masuk dan keluar

E : evaporasi

T : evapotranspirasi

$\Delta S$  : perubahan volume tampungan untuk selang waktu  $\Delta t$

Untuk kondisi tertentu, beberapa suku pada persamaan (3-1) dapat diabaikan tergantung pada sifat daerah yang ditinjau dan periode hitungan neraca air. Apabila evaluasi dilakukan dalam suatu periode panjang, variasi tampungan air relatif seimbang sehingga perubahan tampungan  $\Delta S$  dapat diabaikan. Pada suatu DAS, dimana tidak ada aliran yang masuk melalui batas DAS, maka  $Q_i = 0$  dan jika dalam suatu DAS dianggap

tidak ada transfer air tanah dari satu DAS ke DAS di dekatnya, maka  $G_i = G_0 = 0$ .

Persamaan (3-1) menjadi :

$$P - E - T - Q = 0 \quad (3-2)$$

dengan :

P : presipitasi

E : evaporasi

T : evapotranspirasi

Q : debit sungai, yang merupakan aliran dari DAS ke dalam sungai

### **3.2 Metode FAO Penman Monteith untuk Perhitungan Evapotranspirasi**

Dalam *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56*, persamaan FAO Penman-Monteith dituliskan seperti :

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34u_2)} \quad (3-3)$$

$$u = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)} \quad (3-4)$$

$$\Delta = \frac{4098 [0.6108 \exp(\frac{17.27T}{T+237.3})]}{(T + 273.3)^2} \quad (3-5)$$

$$\gamma = 0.665 \times 10^{-3} P \quad (3-6)$$

$$P = 101.3 \left( \frac{293 - 0.0065z}{293} \right)^{5.26} \quad (3-7)$$

$$e_s = \frac{e^o(T_{\max}) + e^o(T_{\min})}{2} \quad (3-8)$$

$$e_a = \frac{e^o(T_{\min}) \frac{RH_{\max}}{100} + e^o(T_{\max}) \frac{RH_{\min}}{100}}{2} \quad (3-9)$$

$$e^o = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27T}{T+237.3}\right) \quad (3-10)$$

$$G_{\text{month},i} = 0.14 (T_{\text{month},i} - T_{\text{month},i-1}) \quad (3-11)$$

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (3-12)$$

$$R_{ns} = (1-\alpha)R_s \quad (3-13)$$

$$R_s = (a_s + b_s \frac{n}{N})R_a \quad (3-14)$$

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (3-15)$$

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (3-16)$$

$$d_r = 1 + 0.033 \cos \frac{\pi}{365} J \quad (3-17)$$

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right) \quad (3-18)$$

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi) \tan(\delta)] \quad (3-19)$$

$$R_{nl} = \sigma \left[ \frac{T_{\max} \cdot K^4 + T_{\min} \cdot K^4}{2} \right] (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a}) (1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35) \quad (3-20)$$

$$R_{so} = (0.75 + 2 \times 10^{-5} z) R_a \quad (3-21)$$

dengan :

$ET_o$	= evapotranspirasi potensial [mm day <sup>-1</sup> ]
$R_n$	= radiasi netto pada permukaan tanaman [MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ]
$G$	= <i>soil heat flux density</i> [MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ]
$T$	= temperatur rata-rata harian pada ketinggian 2 m [°C]
$e_s$	= <i>saturation vapour pressure</i> [kPa]
$e_a$	= <i>actual vapour pressure</i> [kPa]
$e_s - e_a$	= <i>saturation vapour pressure deficit</i> [kPa]
$u$	= kecepatan angin [m/s]
$u_z$	= kecepatan angin pada ketinggian z m di atas permukaan tanah [m/s]
$z$	= ketinggian terukur di atas permukaan laut [m]
$\Delta$	= <i>slope of saturation vapour pressure curve</i> [kPa °C <sup>-1</sup> ]
$T$	= temperatur udara [°C]
$\gamma$	= tetapan psikrometrik [kPa °C <sup>-1</sup> ]
$P$	= tekanan atmosfer [kPa]
$z$	= ketinggian terukur di atas permukaan laut [m]
$e_o(T_{\min})$	= <i>saturation vapour pressure</i> pada temperatur minimum harian [kPa]
$e_o(T_{\max})$	= <i>saturation vapour pressure</i> pada temperatur maksimum harian [kPa]
$RH_{\max}$	= kelembaban relatif maksimum [%]
$RH_{\min}$	= kelembaban relatif minimum [%]
$T_{\text{month},i}$	= temperatur udara rata-rata pada bulan ke-i [°C]
$T_{\text{month},i-1}$	= temperatur udara rata-rata pada bulan sebelumnya [°C]
$R_{ns}$	= <i>net solar or shortwave radiation</i> [MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ]

$R_{nl}$	= <i>net outgoing longwave radiation</i> [MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ]
$R_{ns}$	= <i>net solar or net shortwave radiation</i>
$R_s$	= <i>solar or shortwave radiation</i> [MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ]
$N$	= lama sinar matahari aktual [jam]
$n$	= <i>daylight hours</i> [jam]
$n/N$	= lama penyinaran matahari relatif [-]
$R_a$	= <i>extraterrestrial radiation</i> [MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ]
$a_s$	= konstanta regresi, menunjukkan fraksi dari <i>extraterrestrial radiation</i> yang sampai ke bumi pada saat cuaca mendung (n=0), rekomendasi nilai $a_s = 0,25$
$b_s$	= fraksi dari <i>extraterrestrial radiation</i> yang sampai ke bumi pada saat cuaca cerah (n=N), rekomendasi nilai $b_s = 0.50$
$G_{sc}$	= <i>solar constant</i> = 0.0820 [MJ m <sup>-2</sup> min <sup>-1</sup> ]
$d_r$	= <i>inverse relative distance Earth-Sun</i>
$\delta$	= <i>solar declination</i> [rad]
$\omega_s$	= <i>sunset hour angle</i> [rad]
$\Phi$	= <i>latitude</i> [rad]
$R_{nl}$	= <i>net outgoing longwave radiation</i> [MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ]
$\sigma$	= tetapan Stefan-Boltzmann [ 4.903x10 <sup>-9</sup> MJ K <sup>-4</sup> m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ]
$T_{max,K}$	= temperatur absolut maksimum [K=°C+273.16]
$T_{min,K}$	= temperatur absolut minimum [K=°C+273.16]
$R_s/R_{so}$	= <i>relative shortwave radiation</i> ( $\leq 1.0$ )
$R_{so}$	= <i>clear-sky radiation</i> [MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ]

Persamaan ini menggunakan data-data standar klimatologi yaitu, radiasi, temperatur, kelembaban dan kecepatan angin. Perhitungan harus dilakukan dengan

data-data yang didapatkan dengan pengukuran pada ketinggian 2 m diatas permukaan yang tertutup rumput hijau dan tidak kekurangan air. Evapotranspirasi potensial akan dihitung dengan menggunakan bantuan *software* CROPWAT 8.0. *Software* CROPWAT 8.0 digunakan untuk mempercepat perhitungan.

Setelah evapotranspirasi potensial terhitung, maka selanjutnya dilakukan perhitungan evapotranspirasi aktual. Evapotranspirasi aktual dihitung dengan rumus :

$$Ea = ETo - \left( ETo \left[ \frac{m}{20} \right] \right) (18 - n) \quad (3-22)$$

dengan :

Ea : Evapotranspirasi aktual (mm)

ETo : Evapotranspirasi potensial (ETo)

n : Jumlah hari hujan

m : *Exposed Surface*

Tabel 3.1 Exposed Surface

No.	m	Daerah
1	0 %	Hutan primer, sekunder
2	10-40 %	Daerah tererosi
3	30-50 %	Daerah lading pertanian

Sumber : Sudirman (2002)

### **3.3 Metode Mock**

Metode Mock memperhitungkan data curah hujan, evapotranspirasi dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran sungai. Analisis neraca air berdasarkan persamaan Mock adalah sebagai berikut :

$$P = (Et + R + I) \quad (3-23)$$

dengan :

P : Curah hujan rata-rata tahunan (mm)

Et : Evapotranspirasi (mm)

R : *Run off* (mm)

I : Infiltrasi (mm)

Debit andalan yang akan digunakan sebagai debit ketersediaan air akan dihitung dengan metode Mock (1973). Persamaan debit yang tersedia adalah :

$$Q_n = \frac{A \cdot TRO \cdot 1000}{H \cdot 24 \cdot 3600} \quad (3-24)$$

dengan :

Q<sub>n</sub> : Debit yang tersedia bulan n (m<sup>3</sup>/s)

TRO : Total limpasan (mm/bulan)

A : Luas DAS (km<sup>2</sup>)

H : jumlah hari dalam satu bulan perhitungan

Total limpasan (TRO) dihitung dengan rumus :

$$\text{TRO} = \text{BSF} + \text{DRO} + \text{SRO} \quad (3-25)$$

$$\text{BSF} = i - (\text{GWS} - \text{IGWS}) \quad (3-26)$$

$$\text{GWS} = 0.5 \times (1+k) \times i + k \times \text{IGWS} \quad (3-27)$$

$$\text{DRO} = \text{WS} - i \quad (3-28)$$

$$\text{WS} = (\text{P} - \text{Eto}) - \text{SS} \quad (3-29)$$

$$\text{SS} = \text{SM}_n - \text{SM}_{n-1} \quad (3-30)$$

$$\text{SM} = \text{SMC} \quad \text{jika } (\text{ISM} + (\text{P} - \text{Eto}) > \text{SMC} \quad (3-31)$$

$$\text{SM} = (\text{ISM} + (\text{P} - \text{Eto})) \quad \text{jika } (\text{ISM} + (\text{P} - \text{Eto}) < \text{SMC} \quad (3-32)$$

$$i = \text{WS} \times \text{if} \quad (3-33)$$

$$\text{SRO} = \text{P} \times \text{PF} \quad (3-34)$$

dengan :

TRO : *total runoff*/limpasan total (mm/bln)

BSF : aliran dasar (mm/bln)

DRO : aliran langsung (mm/bln)

SRO : *storm run off* (mm/bln)

GWS : *Ground water storage* (mm/bln)

IGWS : *Initial ground water storage* (mm/bln)

k : koefisien resesi air tanah



- WS : *water surplus* (mm/bln)
- SS : *tampungan tanah (soil storage)*
- P : *hujan* (mm/bln)
- ET<sub>o</sub> : *evapotransporasi* (mm/bln)
- SM<sub>n</sub> : *Soil moisture* (mm)
- SM<sub>n-1</sub> : *Soil moisture* bulan sebelumnya (mm)
- SMC : *Soil moisture capacity* (mm)
- ISM : *Initial soil moisture* (mm)
- i : *infiltrasi* (mm/bln)
- if : *koefisien infiltrasi* terdiri dari DIC (bulan kering) dan WIC (bulan kering)
- P : *hujan* (mm/bln)
- PF : *percentage factor*, merupakan persen hujan yang menjadi limpasan.  
Besarnya PF oleh Mock disarankan 5%-10%, namun tidak menutup kemungkinan untuk meningkat secara tidak beraturan hingga 37,3%.

### **3.4 Perhitungan Curah Hujan Wilayah dengan Metode Polygon Thiessen**

Linsley dkk (1982) menyatakan bahwa metode polygon thiessen mencoba untuk mengijinkan distribusi alat ukur yang tak merata dengan menyediakan suatu faktor penimbang bagi masing-masing pengukur. Langkah-langkah metode polygon thiessen adalah sebagai berikut :

- a. Stasiun-stasiun hujan digambar pada suatu peta dan kemudian

dihubungkan dengan garis-garis lurus.

- b. Garis-garis lurus penghubung antar stasiun dibagi dua dengan garis bagi tegak lurus, membentuk polygon-poligon di sekitar masing-masing stasiun hujan.
- c. Luas dari masing-masing polygon ditentukan dengan planimetri dan dinyatakan sebagai persentase luas total.
- d. Curah hujan rata-rata untuk seluruh luas dihitung dengan mengalikan hujan pada tiap stasiun dengan persentase luas tiap polygon dan menjumlahkannya.

Triatmodjo (2010) menuliskan persamaan yang digunakan pada metode polygon thiessen sebagai :

$$P = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (3-35)$$

dengan :

$P$  : Curah hujan rerata kawasan

$A_1A_2$  : Luas daerah yang mewakili stasiun 1,2...n

$P_1P_2$  : hujan pada stasiun 1,2...n

Pada tugas akhir kali ini, pengerjaan metode polygon thiessen ini akan dilakukan dengan bantuan *software Arcgis 10.2*. *Software Arcgis 10.2* digunakan karena DAS Serayu memiliki luas yang cukup besar, yaitu 3738 km<sup>2</sup>.

### **3.5 Perhitungan untuk Melengkapi Data Hujan Hilang**

Menurut Pedoman Teknis Puslitbang SDA No. PD. T-22-2004, pencarian data hujan yang hilang dapat dihitung dengan menggunakan *Normal Ratio Method* :

1. Menentukan tahun patokan dimana pada satu tahun yang sama, data curah hujan harian stasiun yang berpengaruh lengkap.
2. Menghitung setiap data curah hujan yang hilang / NR dengan rumus :

$$NR = \frac{1}{n} \left( \left[ \frac{N_x}{N_a} P_a \right] + \left[ \frac{N_x}{N_b} P_b \right] + \dots + \left[ \frac{N_x}{N_n} P_n \right] \right) \quad (3-36)$$

Keterangan :

Rx/NR = *Not Recorded* / Data Curah Hujan hilang yang akan dicari

N = Jumlah stasiun yang mengisi data berpengaruh (minimal 3 stasiun)

Nx = Jumlah curah hujan tahunan pada tahun patokan pada stasiun yang kehilangan data (diambil data yang benar-benar lengkap)

$N_a, N_b,$  = Jumlah curah hujan tahunan di tahun patokan pada stasiun yang berpengaruh

$P_a, P_b,$  = Data curah hujan harian pada tanggal yang sama dengan data yang akan dicari di stasiun tertentu yang berpengaruh.