

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Penentuan Hujan Kawasan

Untuk menentukan hujan rerata pada suatu daerah digunakan metode-metode khusus karena stasiun pencatat hujan hanya memberikan kedalaman hujan di titik stasiun tersebut berada. Metode yang digunakan dipilih dengan mempertimbangkan hal-hal berikut :

1. Apabila stasiun pencatat hujan berjarak kurang dari 10 km dari lokasi maka data huja pada stasiun tersebut dapat digunakan dalam perhitungan.
2. Apabila tidak ada stasiun pencatat hujan dengan jarak kuran dari 10 km, maka digunakan stasiun pencatat hujan dengan jarak 10-20 km dengan syarat minimal 2 stasiun pencatat hujan. Dalam kasus ini, hujan rerata kawasan dapat dicari dengan Metode Aritmatik (Aljabar).

$$P = \frac{P_A + P_B + P_C + \dots + P_n}{n} \quad (3-1)$$

Keterangan :

- P = hujan rerata kawasan
P_A, ..., P_n = hujan pada stasin A, B, C, ..., n
n = jumlah stasiun

3. Apabila tidak ada stasiun pencatat hujan dengan jarak 10-20 km, maka digunakan stasiun hujan dengan jarak kurang dari 50 km, dengan syarat minimal 3 stasiun hujan. Dalam kasus ini, hujan rerata kawasan dapat dicari dengan Metode Poligon *Thiessen*. Poligon *Thiessen* dibentuk dengan cara berikut :

- 1) Gambar stasiun pencatat hujan yang berada di dalam maupun di luar DAS yang berdekatan pada peta DAS yang ditinjau.
- 2) Hubungkan stasiun-stasiun tersebut dengan garis lurus sehingga membentuk segitiga-segitiga.
- 3) Buat garis tegak lurus terhadap garis yang menghubungkan stasiun-stasiun pada langkah kedua. Hubungkan garis-garis tersebut.
- 4) Garis-garis pada langkah ketiga adalah batas luasan yang diwakili oleh tiap stasiun.

Hujan rerata kawasan dihitung dengan rumus :

$$P = \frac{A_A P_A + A_B P_B + A_C P_C + \dots + A_n P_n}{A_A + A_B + A_C + \dots + A_n} \quad (3-2)$$

Keterangan :

P = hujan rerata kawasan

$A_A, \dots, A_n$ = luas daerah yang mewakili stasiun A, ..., n

$P_A, \dots, P_n$ = hujan pada stasiun A, ..., n

3.2 Melengkapi Data Hujan

Permasalahan yang sering terjadi dalam penggunaan data hujan adalah tidak lengkapnya data hujan. Hal ini dapat terjadi karena alat pencatat hujan rusak, pengamat tidak mencatat data hujan, hilangnya data, atau kelalaian dalam pencatatan data. Untuk melengkapi data hujan yang hilang dapat digunakan metode perbandingan normal (*ratio normal*) atau *reciprocal method*.

1. Metode Perbandingan Normal

Metode ini menggunakan data dari minimal tiga stasiun terdekat. Data yang hilang dicari dengan cara menentukan tahun patokan dimana pada

satu tahun yang sama dengan data curah hujan stasiun yang berpengaruh lengkap kemudian dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\frac{P_x}{N_x} = \frac{1}{n} \left(\frac{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n}{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n} \right) \quad (3-3)$$

Keterangan :

- P_x = hujan yang hilang pada stasiun x
 N_x = hujan tahunan di stasiun x
 n = jumlah stasiun hujan
 $P_1, \dots, P_n$ = data hujan di stasiun sekitarnya pada periode yang sama
 $N_1, \dots, N_n$ = hujan tahunan di stasiun sekitar x

2. *Reciprocal Method*

Dalam metode ini curah hujan yang hilang dicari dengan rumus :

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{L_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{L_i^2}} \quad (3-4)$$

Keterangan :

- P_x = hujan yang hilang pada stasiun x
 n = jumlah stasiun hujan
 P_i = data hujan di stasiun sekitarnya pada periode yang sama
 L_i = jarak antar stasiun

3.3 Uji Konsistensi Data

Pemindahan lokasi stasiun, perbaikan stasiun, perubahan prosedur pencatatan pengukuran atau penyebab lain dapat mempengaruhi jumlah hujan yang terukur. Agar tidak terjadi kesalahan, maka dilakukan uji konsistensi dari

data hujan. Uji konsistensi dapat dilakukan dengan metode *double mass curve*. Pada metode ini, data tidak konsisten diketahui dari ada tidaknya titik patah pada kurva. Data yang tidak konsisten dikoreksi dengan cara mengalikan data hujan dengan perbandingan kemiringan kurva sesudah dan sebelum patah. Untuk mempermudah perhitungan, dapat dilakukan langsung dengan formula yang didapat dari grafik *excel*.

3.4 Evapotranspirasi Potensial

Evapotranspirasi adalah perubahan air menjadi uap air oleh tanaman yang dilepaskan ke atmosfer. Evapotranspirasi potensial dapat diartikan sebagai evapotranspirasi pada suatu lahan dengan tanaman pendek dan dipengaruhi oleh faktor iklim. Faktor-faktor yang mempengaruhi evapotranspirasi antara lain radiasi kecepatan angin, kelembaban relatif, radiasi matahari, dan temperatur udara.

Evapotranspirasi potensial dapat dicari dengan berbagai metode. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah Metode Penman Monteith, sesuai dengan evapotranspirasi yang digunakan pada debit andalan Metode NRECA. Evapotranspirasi dengan Metode Penman Monteith dicari dengan persamaan 3.5.

$$ET_0 = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (Rn - G) + \gamma (900 / T + 273) \cdot U (es - ea)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 \cdot U)} \quad (3-5)$$

Keterangan :

- Δ = kemiringan dari kurva tekanan uap air (kPa/ $^{\circ}$ C)
- Rn = radiasi netto pada permukaan tanaman (MJ/m²hr)
- G = energi untuk memanaskan tanah (MJ/m²hr)
- γ = tetapan psikometrik (kPa/ $^{\circ}$ C)
- T = temperatur rata-rata harian pada ketinggian 2 m ($^{\circ}$ C)

- U = kecepatan angin (m/s)
 e_s = mean saturation vapour pressure (kPa)
 e_a = aktual vapour pressure (kPa)
 0,408 = konversi (MJ/m²hr) ke (mm/hr)

Secara sistematis, faktor-faktor evapotranspirasi dapat dicari dengan rumus-rumus berikut :

1) Kemiringan dari kurva tekanan uap (Δ)

$$\Delta = \frac{4098 \left\{ 0,6108 \exp \left(\frac{17,27T}{T + 237,2} \right) \right\}}{(T + 237,3)^2} \quad (3-6)$$

Keterangan :

- Δ = kemiringan dari kurva tekanan uap (kPa/⁰C)
 T = temperatur udara (⁰C)

2) Radiasi nettor pada permukaan tanaman (R_n)

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (3-7)$$

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad (3-8)$$

$$R_s = (a_s + b_s \frac{n}{N}) R_a \quad (3-9)$$

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (3-10)$$

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r \{ \omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\delta) \sin(\omega_s) \} \quad (3-11)$$

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \left(\frac{\pi}{365} J \right) \quad (3-12)$$

$$\delta = 0,409 \sin \left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39 \right) \quad (3-13)$$

$$\omega_s = \arccos \{ -\tan(\varphi) \tan(\delta) \} \quad (3-14)$$

$$R_{nl} = \sigma \left(\frac{T_{\max}^4 + T_{\min}^4}{2} \right) \left(0,34 - 0,14 \sqrt{e_a} \right) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (3-15)$$

$$R_{so} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} z) R_a \quad (3-16)$$

Keterangan :

- R_{ns} = *net solar or shortwave radiation* (MJ/m²hari)
 α = koefien refleksi (albedo), lihat Tabel 3.1.
 R_s = *solar or shortwave radiation* (MJ/m²hari)
 N = lama sinar matahari aktual (jam)
 n = *daylight hour* (jam)
 n/N = lama penyinaran matahari relatif
 R_a = *extraterrestrial radiation* (MJ/m²hari)
 a_s = konstanta regresi, menunjukkan fraksi dari *extraterrestrial radiation* yang sampai ke bumi pada saat cuaca mendung ($n=0$), nilai a_s lihat tabel 3.2.
 b_s = fraksi dari *extraterrestrial radiation* yang sampai ke bumi pada saat cuaca cerah ($n=N$), nilai b_s lihat tabel 3.2.
 G_{sc} = *solar constant* = 0,0820 MJ/m²menit
 d_r = *inverse relative distance Earth-Sun*
 δ = *solar declination* (rad)
 ϕ = *latitude* (rad)
 ω = *sunset hour angle* (rad)
 R_{nl} = *net outgoing longwave radiation* (MJ/m²hari)
 σ = konstanta Stefan-Boltzmann ($4,903 \times 10^{-9}$ MJ/K⁴m²hari)
 T, K = temperatur absolut ($K = ^\circ C + 273,16$)
 e_a = *actul vapour pressure* (kPa)
 R_s/R_{so} = *relative shortwave radiation* ($\leq 1,0$)
 R_s = *solar radiation* (MJ/m²hari)
 R_{so} = *clear-sky radiation* (MJ/m²hari)
 z = ketinggian terukur di atas permukaan laut (m)

3) Energi untuk memanaskan tanah (G)

$$G_i = 0,14(T_i - T_{i-1}) \quad (3-17)$$

Keterangan :

- G_i = energi untuk memanaskan tanah (MJ/m².hr)
 T_i = temperatur udara rata-rata bulan ke-i ($^\circ C$)
 T_{i-1} = temperatur udara rata-rata bulan sebelumnya ($^\circ C$)

4) Tetapan psikometrik (γ)

$$\gamma = 0,665.10^{-3} P \quad (3-18)$$

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26} \quad (3-19)$$

Keterangan :

γ = tetapan psikometrik (kPa/ $^{\circ}$ C)

P = tekanan atmosfir (kPa)

Z = ketinggian terukur di atas permukaan laut (m)

5) Kecepatan angin (U)

$$u = u_z \frac{4,87}{\ln(67,8z - 5,42)} \quad (3-20)$$

Keterangan :

u = kecepatan angin (m/s)

u_z = kecepatan angin pada ketinggian z meter di atas permukaan tanah (m/s)

z = ketinggian terukur di atas permukaan laut (m)

6) Tekanan uap ($e_s - e_a$)

$$e_s = \frac{e^0(T_{\max}) + e^0(T_{\min})}{2} \quad (3-21)$$

$$e_a = \frac{e^0(T_{\min}) \frac{RH_{\max}}{100} + e^0(T_{\max}) \frac{RH_{\min}}{100}}{2} \quad (3-22)$$

$$e^0(T) = 0,6108 \exp \left[\frac{17,27T}{T + 237,2} \right] \quad (3-23)$$

Keterangan :

e_s = saturation vapour pressure (kPa)

e_a = actual vapour pressure deficit (kPa)

e^0 = saturation vapour pressure temperatur T harian (kPa)

$T_{\max}$ = temperatur udara maksimum ($^{\circ}$ C)

$T_{\min}$ = temperatur udara minimum ($^{\circ}$ C)

$RH_{\max}$ = kelembaban udara relatif maksimum (%)

$RH_{\min}$ = kelembaban udara relatif minimum (%)

Tabel 3.1 Koefisien refleksi (albedo) untuk Persamaan (3-7)

Jenis Permukaan	Albedo (α)
Air terbuka	0,05 – 0,15
Batuan	0,12 – 0,15
Pasir	0,10 – 0,20
Tanah Kering	0,14
Tanah Basah	0,08 – 0,09
Hutan	0,05 – 0,20
Rumput	0,10 – 0,33
Rumput Kering	0,15 – 0,25
Salju	0,90
Es	0,40 – 0,50
Tanaman	0,20

Sumber : Triatmodjo, 2008

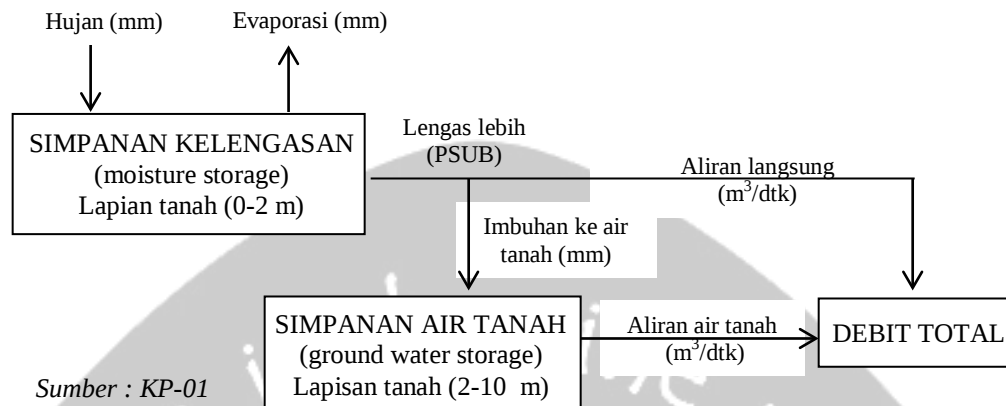
Tabel 3.2 Nilai a_s dan b_s untuk Persamaan (3-8)

Daerah	a_s	b_s
Dingin dan sedang	0,18	0,55
Tropika kering	0,25	0,45
Tropika basah	0,29	0,42

Sumber : Oldeman, 1982, dalam Triatmodjo, 2008

3.5 Debit Andalan Metode NRECA

Debit andalan metode NRECA digunakan apabila data debit sangat terbatas atau bahkan tidak ada. Metode ini dilakukan dengan cara membandingkan debit sungai pada titik yang dicari dengan debit pada titik lain yang telah diukur. Apabila tidak ada data pengukuran debit pada sungai yang akan diukur, maka digunakan data DAS terdekat yang memiliki Pos Duga Air (data debit sungai) sebagai pembanding. Metode ini dapat digunakan pada daerah dengan curah hujan tinggi maupun rendah. Skema simulasi perhitungan debit NRECA dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan cara perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 3.3.



Gambar 3.1 Skema Simulasi Debit Metode NRECA

Tabel 3.3 Perhitungan debit Metode NRECA

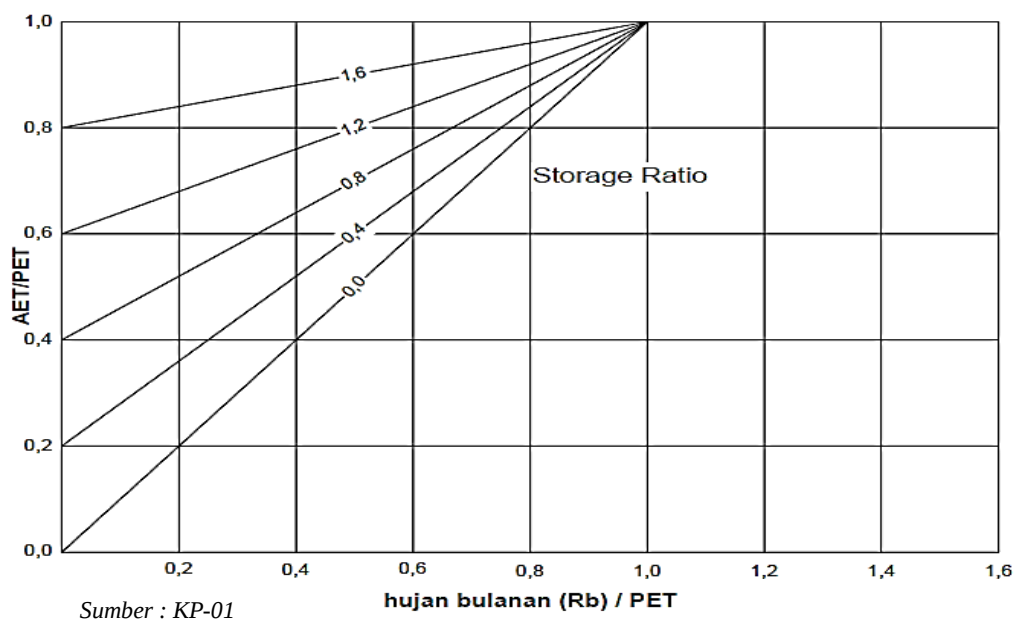
Kolom ke	Uraian
(1)	Tahun penghitungan
(2)	Bulan penghitungan
(3)	Jumlah hari sebulan
(4)	Nilai hujan rerata bulanan (R_b)
(5)	Evapotranspirasi potensial (ET_0 atau PET)
(6)	Tampungan kelengasan tanah awal (<i>Soil Moisture Storage</i>) Bulan pertama $\rightarrow SMS_{awal} = trial$ hingga selisih SMS bulan Januari dan Desember kurang dari 200 mm Bulan ke- $n \rightarrow SMS_{awal} = SMS_{n-1} + \Delta Storage$
(7)	Rasio tampungan (<i>Storage Ratio</i>) $Storage\ Ratio = \frac{SMS}{No\ min\ al}$; $No\ min\ al = 100 + C.R_t$ R_t = hujan tahunan rata-rata (mm) $C = 0,2$; untuk daerah dengan hujan sepanjang tahun $C < 0,2$; untuk daerah dengan hujan musiman
(8)	Rasio $\frac{R_b}{PET}$
(9)	Rasio $\frac{AET}{PET}$; Jika rasio $\frac{R_b}{PET} > 1$ atau $Storage\ Ratio > 2$ maka $\frac{AET}{PET} = 1$

Lanjutan Tabel 3.3

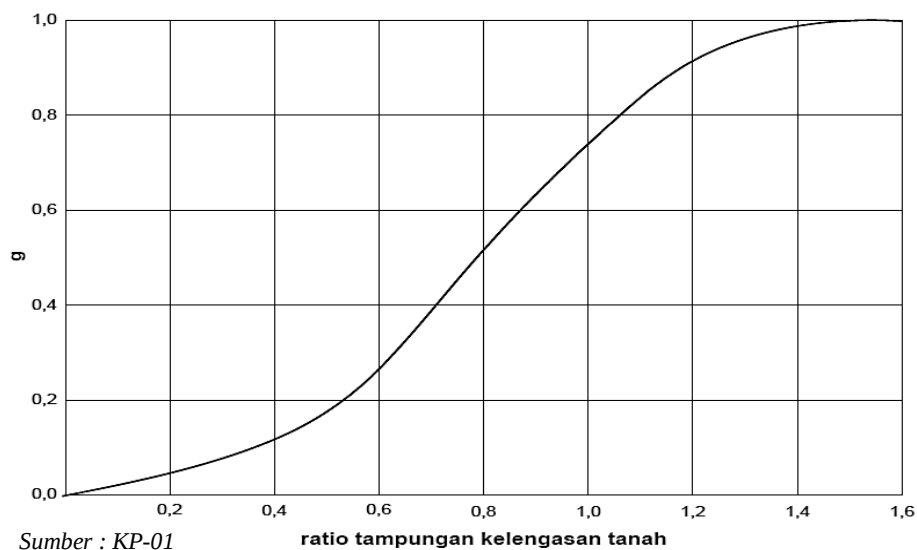
Kolom ke	Uraian
	Jika rasio $\frac{Rb}{PET} < 1$ atau <i>Storage Ratio</i> < 2 maka
	$\frac{AET}{PET} = \left((1 - 0,5 \times \text{Storage Ratio}) \frac{Rb}{PET} \right) + (0,5 \times \text{Storage Ratio})$
	atau dapat dicari dari Gambar 3.2.
(10)	Penguapan peluh aktual (AET) $AET = \frac{AET}{PET} PET$
(11)	$\text{Water balance} = Rb - AET$
(12)	Rasio kelebihan kelengasan (<i>excess moisture ratio</i>) diperoleh dari Gambar 3.3 atau menggunakan rumus di bawah. Jika <i>water balance</i> > 0; maka $EMratio = 0,5 \times \frac{1 + \left(\exp \frac{\text{Storage ratio} - 1}{0,52} - \exp \left(\frac{\text{Storage ratio} - 1}{0,52} (-1) \right) \right)}{\exp \frac{\text{Storage ratio} - 1}{0,52} - \exp \left(\frac{\text{Storage ratio} - 1}{0,52} (-1) \right)}$
	Jika <i>water balance</i> ≤ 0; maka $EM = 0$
(13)	Kelebihan kelengasan (<i>excess moisture</i>) $EM = EMratio \times \text{water balance}$
(14)	Perubahan tampungan $\Delta storage = \text{water balance} - EM$
(15)	Tampungan air tanah (<i>Ground Water Storage</i>) $GWS = PSUM \times EM$ PSUB adalah parameter yang menggambarkan karakteristik tanah permukaan $PSUB = 0,5$; daerah tangkapan hujan normal $0,5 < PSUB \leq 0,9$; daerah dengan akuifer permeabel besar $0,3 \leq PSUB < 0,5$; daerah dengan akuifer terbatas/lapisan tanah tipis
(16)	Tampungan air tanah awal Bulan pertama $\rightarrow BGWS_{awal} = trial$ dengan nilai awal 2 Bulan ke- $n \rightarrow BGWS_n = SMS_{n-1} + \Delta Storage$
(17)	Tampungan air tanah akhir $EGWS = GWS + BGWS$
(18)	Aliran air tanah = GWF x EGWS GWF adalah parameter yang menggambarkan karakteristik tanah permukaan

Lanjutan Tabel 3.3

Kolom ke	Uraian
	GWF = 0,5 ; daerah tangkapan hujan normal
	0,5 < GWF ≤ 0,8 ; daerah dengan aliran menerus yang kecil
	0,2 ≤ GWS < 0,5 ; daerah dengan aliran menerus yang dapat diandalkan
(19)	Aliran langsung (<i>Direct Run Off</i>) $DRO = EM - \Delta storage$
(20)	Aliran total = DRO + aliran air tanah
(21)	Debit hitungan $Q_{obs} = \frac{\text{aliran total} \times \text{luas DAS}}{\Sigma \text{hari}}$



Gambar 3.2 Grafik perbandingan penguapan peluh aktual dan evapotranspirasi potensial (rasio AET/PET)



Gambar 3.3 Rasio tahanan kelengasan tanah

3.6 Kehilangan tenaga

Terdapat dua jenis kehilangan tenaga pada aliran dalam saluran pipa, yaitu kehilangan tenaga primer dan kehilangan tenaga sekunder. Kehilangan tenaga primer adalah kehilangan tenaga yang diakibatkan karena adanya gesekan zat cair dengan dinding batas, sedangkan kehilangan tenaga sekunder terjadi karena adanya perubahan tampang aliran (Triatmodjo, 1994).

Kehilangan tenaga harus dihitung agar diketahui kecepatan aliran dan jenis pompa yang akan digunakan. Kehilangan tenaga dapat dicari dengan menggunakan persamaan Darcy-Weisbach :

$$h = k \frac{V^2}{2g} \quad (3-24)$$

Nilai k dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$k = f \frac{L}{D}, \text{ untuk menghitung kehilangan tenaga primer} \quad (3-25)$$

$$k = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2, \text{ untuk kehilangan tenaga sekunder} \quad (3-26)$$

Keterangan :

k = konstanta

V = kecepatan (m/s)

f = koefisien gesekan Darcy-Weisbach

L = panjang pipa (m)

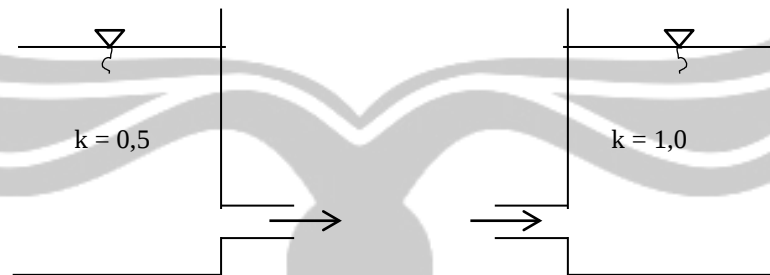
D = diameter pipa (m)

A_1 = luasampang pipa hulu (m²)

A_2 = luasampang pipa hilir (m²)

g = percepatan gravitasi bumi (m/s²)

Nilai k pada kehilangan tenaga sekunder untuk pengecilan penampang (kolam ke pipa) dapat diliha pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Nilai k pada pasangan pipa ke bak penampungan air