

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Curah Hujan Wilayah dengan Metode Poligon Thiessen

Data hujan yang tercatat pada sebuah stasiun hujan merupakan data hujan titik (*point rainfall*), sedangkan dalam analisis neraca air waduk, data hujan yang digunakan adalah data hujan wilayah (*areal rainfall*). Ada 3 metode yang digunakan dalam merubah sebuah data hujan titik menjadi hujan wilayah, yaitu metode rerata aritmatik, metode poligon *Thiessen*, dan metode *Isohiet*.

Metode poligon *Thiessen* memperhitungkan bobot dari masing – masing stasiun hujan yang mewakili luasan sekitarnya. Poligon *Thiessen* bersifat tetap untuk suatu stasiun hujan tertentu. Apabila terdapat perubahan jaringan hujan akibat penambahan atau pengurangan stasiun hujan maka diperlukan untuk membuat sebuah poligon baru (Triadmodjo, 2008).

Berdasarkan penjelasan diatas maka Triadmodjo (2008) menyederhanakan persamaan perhitungan curah hujan wilayah dengan metode *Thiessen* menjadi bentuk berikut :

$$P = \frac{A_1 \times P_1 + A_2 \times P_2 + \dots + A_n \times P_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (3- 1)$$

dimana :

P : curah hujan rerata kawasan

A₁A₂ : luas daerah yang mewakili stasiun 1,2...n

P_1P_2 : hujan pada stasiun 1,2...

3.2. Data Curah Hujan Hilang Metode Inverse Square Distance

Perhitungan data curah hujan yang hilang dengan metode *inverse square distance* dilakukan dengan pendekatan curah hujan pada minimal 3 stasiun hujan terdekat dalam waktu hujan yang sama. Semakin dekat jarak stasiun – stasiun yang akan dipinjam data hujannya, maka pendekatan yang dilakukan semakin baik.

$$P_{hilang} = \frac{\frac{P_1}{Jarak_1^2} + \frac{P_2}{Jarak_2^2} + \frac{P_3}{Jarak_3^2}}{\frac{1}{Jarak_1^2} + \frac{1}{Jarak_2^2} + \frac{1}{Jarak_3^2}} \quad (3-2)$$

dimana :

P : curah hujan maksimum (mm)

jarak : selisih jarak dari stasiun dengan data yang hilang (km)

1,2,3 : stasiun terdekat pertama, kedua, dan ketiga

3.3. Curah Hujan Rencana

Perhitungan curah hujan rencana dilakukan untuk membuat sebuah perkiraan besarnya hujan yang terjadi dengan periode ulang tertentu. Hasil perhitungan curah hujan rencana kemudian akan digunakan untuk menghitung intensitas curah hujan dan debit banjir rancangan.

3.3.1. Analisa frekuensi

Analisa frekuensi dilakukan dengan parameter – parameter dasar statistika. Parameter – parameter tersebut adalah standar deviasi, koefisien kemiringan, dan koefisien kurtosis.

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^2}{n}} \quad (3-3)$$

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^3}{n^3} \quad (3-4)$$

$$Ck = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^4}{Sd^4} \quad (3-5)$$

$$CV = \frac{Sd}{\bar{X}} \quad (3-6)$$

dimana :

\bar{X} : tinggi hujan harian maksimum rata – rata selama n tahun

Xi : tinggi hujan harian maksimum selama n tahun

n : jumlah tahun pencatatan hujan

Sd : standar deviasi

Cs : koefisien *skewness* (kemiringan)

Ck : koefisien kurtosis

Cv : koefisien variasi

3.3.2. Pemilihan jenis distribusi data

Pemilihan jenis distribusi dilakukan berdasarkan besarnya koefisien – koefisien kemiringan, kurtosis, dan variasi. Secara umum, ada 2 jenis utama distribusi yaitu distribusi diskrit dan distribusi kontinyu. Distribusi diskrit adalah distribusi binomial dan poisson, sedangkan distribusi kontinyu adalah normal, log normal, Pearson, dan Gumbel (Soewarno, 1995). Dalam pemilihan jenis – jenis distribusi, digunakan asumsi sebagai berikut (Sri Harto, 1981):

- a. Distribusi normal

$$CS \leq 0 ; CK \geq 3$$

- b. Distribusi log normal

$$CS = 3 CV + CV^3$$

- c. Distribusi log Pearson III

$$CS \neq 0$$

- d. Distribusi Gumbel

$$CS \leq 1,1396 ; Ck \leq 5,4002$$

3.4. Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi

3.4.1. Metode Smirnov Kolmogrov

Uji kesesuaian distribusi frekuensi metode Smirnov Kolmogrov dilakukan dengan *plotting* data dan probabilitasnya serta hasil perhitungan empiris dalam bentuk grafis. Setelah proses *plotting* dilakukan maka akan diperoleh nilai simpangan terbesar dari kedua data tersebut (Δ maksimum). Besarnya nilai

simpangan maksimum kemudian dibandingkan dengan penyimpangan kritis yang diijinkan (Δ_{cr}) dan harus bernilai lebih rendah.

Tabel 3. 1 Harga Kritis (Δ_{cr}) Untuk Smirnov – Kolmogrov Test

Jumlah data	Derajat kepercayaan (α)			
	0,2	0,1	0,05	0,01
n	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,3	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
n>50	$1,07 / n^{0,5}$	$1,22 / n^{0,5}$	$1,36 / n^{0,5}$	$1,63 / n^{0,5}$

3.4.2. Uji chi-kuadrat

Pada uji kesesuaian distribusi frekuensi chi-kuadrat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$X^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (3-7)$$

dimana :

X^2 : harga chi-kuadrat

O_i : jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke-1

E_i : jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-1

Besarnya harga chi-kuadrat yang diperoleh harus bernilai kurang dari simpangan kritis (X^2 kritis) agar data dapat dikatakan selaras. Nilai simpangan kritis dapat diperoleh berdasarkan derajat kepercayaan tertentu. Dalam perhitungan chi-kuadrat dikenal juga derajat kebebasan yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$DK = K - (P + 1) \quad (3-8)$$

$$K = 1 + 3,322 \log n \quad (3-9)$$

dimana :

DK : derajat kebebasan

K : jumlah kelas

P : banyaknya keterikatan, untuk uji chi-kuadrat adalah 2

n : jumlah data.

3.5. Debit Maksimum Metode Melchior

Debit maksimum metode Melchior dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_n = \alpha \times \beta \times q_n \times A \times \frac{R}{240} \quad (3-10)$$

$$\alpha = 1 - \frac{4,1}{(\beta \times q) + 7} \quad (3-11)$$

$$\beta = \frac{120 + \frac{t+1}{t+9} A}{120 + A} \quad (3-12)$$

$$qn = \frac{67,65}{t + 1,45} \quad (3-13)$$

$$t = 0,125 \times L \times Q^{-0,125} \times I^{-0,25} \quad (3-14)$$

dimana :

Q_n : debit banjir (m^3/dt)

R_n : curah hujan harian maksimum (mm/hari)

α : koefisien limpasan air hujan (*run off*)

β : koefisien pengurangan daerah curah hujan DAS

q_n : curah hujan ($m^3/dt.km^2$)

A : luas daerah aliran (km^2)

t : lamanya hujan (jam)

L : panjang sungai (km)

I : kemiringan sungai

(Sri Harto, 1983)

3.6. Kebutuhan Air

3.6.1 Kebutuhan air irigasi

Perhitungan kebutuhan air untuk irigasi dilakukan dengan memperhitungkan faktor – faktor seperti evapotranspirasi, perkolasi, koefisien tanaman, curah hujan efektif, kebutuhan air untuk pengolahan lahan, dan efisiensi irigasi.

a. Evapotranspirasi

Perhitungan evapotranspirasi yang terjadi menggunakan metode Penman Monteith yang tertera dalam *FAO Irrigation and Drainage Paper No 56*.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34u_2)} \quad (3-15)$$

$$u = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)} \quad (3-16)$$

$$\Delta = \frac{4098 [0.6108 \exp(\frac{17.27T}{T+237.3})]}{(T+273.3)^2} \quad (3-17)$$

$$\gamma = 0.665 \times 10^{-3} P \quad (3-18)$$

$$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065z}{293} \right)^{5.26} \quad (3-19)$$

$$e_s = \frac{e^o(T_{\max}) + e^o(T_{\min})}{2} \quad (3-20)$$

$$e_a = \frac{e^o(T_{\min}) \frac{RH_{\max}}{100} + e^o(T_{\max}) \frac{RH_{\min}}{100}}{2} \quad (3-21)$$

$$e^o = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27T}{T+237.3}\right) \quad (3-22)$$

$$G_{\text{month},i} = 0.14 (T_{\text{month},i} - T_{\text{month},i-1}) \quad (3-23)$$

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (3-24)$$

$$R_{ns} = (1-\alpha)R_s \quad (3-25)$$

$$R_s = (a_s + b_s \frac{n}{N})R_a \quad (3-26)$$

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (3-27)$$

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (3-28)$$

$$d_r = 1 + 0.033 \cos \frac{\pi}{365} J \quad (3-29)$$

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right) \quad (3-30)$$

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi) \tan(\delta)] \quad (3-31)$$

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{max,K^4} + T_{min,K^4}}{2} \right] (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a}) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right) \quad (3-32)$$

$$R_{so} = (0.75 + 2 \times 10^{-5} z) R_a \quad (3-33)$$

dimana :

ETo : evapotranspirasi potensial [mm day⁻¹]

Rn : radiasi netto pada permukaan tanaman [MJ m⁻² day⁻¹]

G : soil heat flux density [MJ m⁻² day⁻¹]

T : temperatur rata-rata harian pada ketinggian 2 m [oC]

es : saturation vapour pressure [kPa]

ea : actual vapour pressure [kPa]

es-ea : saturation vapour pressure deficit [kPa]

u : kecepatan angin [m/s]

u_z : kecepatan angin ketinggian z m di atas permukaan tanah
[m/s]

z : ketinggian terukur di atas permukaan laut [m]

Δ : slope of saturation vapour pressure curve [kPa oC-1]

T : temperatur udara [oC]

γ : tetapan psikrometrik [kPa oC-1]

P : tekanan atmosfer [kPa]

z : ketinggian terukur di atas permukaan laut [m]

$e_o(T_{min})$: saturation vapour pressure pada temperatur minimum
harian [kPa]

$e_o(T_{max})$: saturation vapour pressure pada temperatur maksimum
harian [kPa]

RH_{max} : kelembaban relatif maksimum [%]

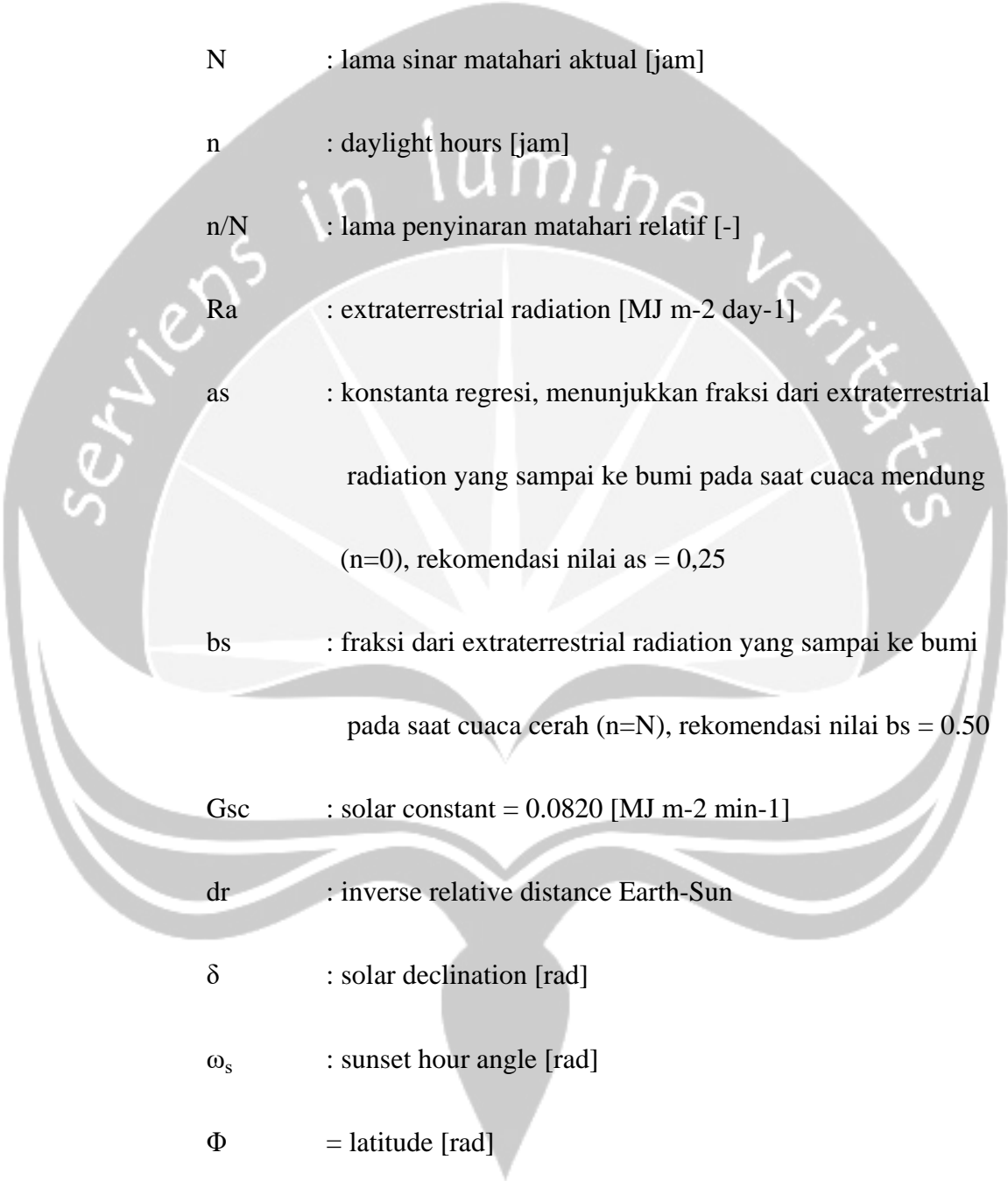
RH_{min} : kelembaban relatif minimum [%]

$T_{month,i}$: temperatur udara rata-rata pada bulan ke- i [oC]

$T_{month,i-1}$: temperatur udara rata-rata pada bulan sebelumnya [oC]

R_{ns} : net solar or shortwave radiation [MJ m⁻² day⁻¹]

R_{nl} : net outgoing longwave radiation [MJ m⁻² day⁻¹]



R_{ns}	: net solar or net shortwave radiation
R_s	: solar or shortwave radiation [$\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$]
N	: lama sinar matahari aktual [jam]
n	: daylight hours [jam]
n/N	: lama penyinaran matahari relatif [-]
R_a	: extraterrestrial radiation [$\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$]
a_s	: konstanta regresi, menunjukkan fraksi dari extraterrestrial radiation yang sampai ke bumi pada saat cuaca mendung ($n=0$), rekomendasi nilai $a_s = 0,25$
b_s	: fraksi dari extraterrestrial radiation yang sampai ke bumi pada saat cuaca cerah ($n=N$), rekomendasi nilai $b_s = 0.50$
G_{sc}	: solar constant = $0.0820 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$
dr	: inverse relative distance Earth-Sun
δ	: solar declination [rad]
ω_s	: sunset hour angle [rad]
Φ	= latitude [rad]
R_{nl}	: net outgoing longwave radiation [$\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$]
σ	: angka Stefan-Boltzmann [$4.903 \times 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$]

$T_{max,K}$: temperatur absolut maksimum [$K=^{\circ}C+273.16$]

$T_{min,K}$: temperatur absolut minimum [$K=^{\circ}C+273.16$]

R_s/R_{so} : relative shortwave radiation (≤ 1.0)

R_{so} : clear-sky radiation [$MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$]

Persamaan – persamaan diatas akan menghasilkan perhitungan evapotranspirasi potensial, selanjutnya dilakukan perhitungan evapotranspirasi aktual dengan persamaan berikut :

$$E_a = E_{To} - \left(E_{To} \left[\frac{m}{20} \right] (18 - n) \right) \quad (3-34)$$

dimana :

E_a : Evapotranspirasi aktual (mm)

E_{To} : Evapotranspirasi potensial (E_{To})

n : Jumlah hari hujan

m : *Exposed Surface*

Tabel 3. 2 *Exposed Surface*

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

Sumber : Sudirman (2002)

b. Perkolasi

Perkolasi adalah peristiwa masuknya air secara vertikal dari dalam tanah ke bawah (menuju arah gravitasi). Nilai koefisien perkolasi dipengaruhi oleh karakteristik tanah, muka air tanah, dan sistem perakara tanaman di atasnya. Koefisien perkolasi dikelompokkan menjadi 2 berdasarkan kemiringan dan teksturnya.

- Berdasarkan kemiringan

Lahan datar = 1 mm/hari

Lahan miring > 5% = 2 – 5 mm/hari

- Berdasarkan tekstur

Berat (lempung) = 1 – 2 mm/hari

Sedang (lempung kepasiran) = 2 – 3 mm/hari

Ringan = 3 – 6 mm/hari

c. Koefisien tanaman (K_c)

Nilai koefisien tanaman sangat bergantung pada jenis tanaman dan varietasnya. Nilai koefisien tanaman pada tugas akhir ini menggunakan ketentuan Nedeco/Prosida.

Tabel 3. 3 Koefisien Tanaman untuk Padi dan Palawija Nedeco

Bulan	Padi		Palawija	
	Biasa	Unggul	Jagung	Kacang Tanah
0,50	1,20	1,20	0,50	0,50
1,00	1,20	1,27	0,59	0,51
1,50	1,32	1,33	0,96	0,66
2,00	1,40	1,30	1,05	0,85
2,50	1,35	1,15	1,02	0,95

Tabel 3. 4 Lanjutan

Bulan	Padi		Palawija	
	Biasa	Unggul	Jagung	Kacang Tanah
3,00	0,24	0,00	0,95	0,95
3,50	1,12			0,95
4,00	0,00			0,55
4,50				0,55

Sumber : Dirjen Pengairan, Program Bina PSA 010, 1985

d. Curah hujan efektif

Curah hujan efektif adalah curah hujan andalan yang jatuh di suatu daerah dan digunakan tanaman untuk pertumbuhan (Triadmodjo,2008).

Penentuan curah hujan efektif didasarkan pada data curah hujan bulanan, yaitu R_{80} . Nilai curah hujan efektif untuk tanaman padi diambil sebesar 70% dari curah hujan minimum tengah bulanan dengan kala ulang 5 tahunan.

$$Re = 0,7 \times \frac{1}{15} R_{80} \quad (3-35)$$

dimana :

Re : curah hujan efektif, dalam mm/hari

R_{80} : curah hujan yang kemungkinan tidak terpenuhinya 20% dalam mm

e. Kebutuhan air untuk persiapan lahan

Kebutuhan air pada waktu persiapan lahan dipengaruhi oleh faktor – faktor antara lain waktu yang diperlukan untuk persiapan lahan (T) dan lapisan air yang dibutuhkan untuk persiapan lahan (S) (Triadmodjo, 2008). Perhitungan kebutuhan air selama persiapan lahan dihitung dengan metode Van de Goor dan Zijstra (Standard Perencanaan Irigasi KP-01, 1986) sebagai berikut:

$$IR = M \left(\frac{e^k}{e^k - 1} \right) \quad (3-36)$$

dimana :

IR : kebutuhan air irigasi di tingkat persawahan, dalam mm/hari

M : kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air akibat evaporasi dan perkolasi di sawah yang telah dijemukan

Nilai $M = E_o + P$

P : perkolasi, dalam mm/hari

E_o : evaporasi air terbuka ($=1,1 \times E_t$), dalam mm/hari

k : $M(T/S)$

e : koefisien

f. Efisiensi irigasi

Efisiensi irigasi dapat dilihat berdasarkan besarnya kehilangan air yang terjadi selama pendistribusian air. Tingkat efisiensi ditentukan menurut kriteria standar perencanaan sebagai berikut:

- Kehilangan air pada saluran primer adalah 10 – 15%

- Kehilangan air pada saluran sekunder adalah 20 – 25%

g. Kebutuhan Air Irigasi (*Need Field Requirement*)

Kebutuhan air irigasi (NFR) dipengaruhi oleh faktor – faktor seperti klimatologi, kondisi tanah, koefisien tanaman, pola tanam, pasokan air yang diberikan, luas daerah irigasi, sistem golongan, jadwal tanam, dan efisiensi irigasi (Triadmodjo, 2008). Besarnya kebutuhan air untuk irigasi (NFR) dihitung dengan persamaan berikut:

$$NFR = \frac{Etc + IR + WLR + P - Re}{IE} \times A \quad (3-37)$$

dimana :

NFR : kebutuhan air irigasi, dalam liter/detik

Etc : kebutuhan air konsumtif, dalam mm/hari

IR : kebutuhan air irigasi ditingkat persawahan, dalam mm/hari

WLR : kebutuhan air untuk mengganti lapisan air, dalam mm/hari

P : perkolasi, dalam mm/hari

Re : hujan efektif, dalam mm/hari

IE : efisiensi irigasi, dalam %

A : luas areal irigasi, dalam ha

3.6.2 Kebutuhan air domestik

Kebutuhan air domestik adalah kebutuhan air pada tempat hunian pribadi untuk keperluan sehari – hari. Besarnya kebutuhan air domestik bergantung pada jumlah penduduk pada suatu wilayah. Total kebutuhan air domestik dinyatakan dalam satuan liter/orang/hari.

Tabel 3. 5 Penentuan Tingkat Layanan Air Baku

Jumlah Penduduk (Jiwa)	Tingkat Pelayanan (lt/orang/hari)
>1.000.000	120
500.000 – 1.000.000	100
100.000 – 500.000	90
20.000 – 100.000	80
10.000 – 20.000	60
<10.000	30

Sumber : Ditjen Cipta Karya

3.6.3 Kebutuhan air non domestik

Kebutuhan air non domestik dikelompokkan menjadi 2, yaitu penggunaan komersil dan industri serta penggunaan umum yang meliputi bangunan – bangunan pemerintah, rumah sakit, sekolah, dan tempat ibadah.

Kebutuhan air non-domestik untuk kota dapat dibagi dalam beberapa kategori antara lain :

- a. Kota Kategori I (Metro)
- b. Kota Kategori II (Kota Besar)
- c. Kota Kategori III (Kota Sedang)
- d. Kota Kategori IV (Kota Kecil)
- e. Kota Kategori V (Desa)

Tabel 3. 6 Kategori Kebutuhan Air Non Domestik

No	Uraian	Kategori Kota Berdasarkan Jumlah 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
		Metro	Besar	Sedang	Kecil	Desa
1	Konsumsi unit sambungan rumah (SR)l/o/h	190	170	130	100	80
2	Konsumsi unit hidran umum (HU) l/o/h	30	30	30	30	30
3	Konsumsi unit non domestik l/o/h (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
4	Kehilangan Air (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
5	Faktor hari maksimum	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
6	Faktor jam puncak	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
7	Jumlah Jiwa per SR	5	5	5	5	5
8	Jumlah Jiwa per HU	100	100	100	100	100
9	Sisa tekan di penyediaan distribusi (mka)	10	10	10	10	10
10	Jam Operasi	24	24	24	24	24
11	Volume Reservoir (% max day demand)	20	20	20	20	20
12	SR : HU	50 : 50 s/d 80 : 20	50 : 50 s/d 80 : 20	80 : 20	70 : 30	70 : 30
13	Cakupan pelayanan (%)	*) 90	90	90	90	***) 70

Sumber : Ditjen Cipta Karya

Keterangan :

*) 60% perpipaan, 30% non perpipaan

*) 25% perpipaan, 45% non perpipaan

Kebutuhan air bersih non domestik untuk kategori I sampai dengan V dan beberapa sektor lain adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 7 Kebutuhan Air Non Domestik Kota Kategori I, II, III, dan IV

No	SEKTOR	NILAI	SATUAN
1	Sekolah	10	Liter/murid/hari
2	Rumah Sakit	200	Liter/bed/hari
3	Puskesmas	2000	Liter/hari
4	Masjid	3000	Liter/hari
5	Kantor	10	Liter/pegawai/hari
6	Pasar	12000	Liter/hektar/hari
7	Hotel	150	Liter/bed/hari
8	Rumah Makan	100	Liter/tempat duduk/hari
9	Kompleks Militer	60	Liter/orang/hari
10	Kawasan Industri	0,2-0,8	Liter/detik/hari
11	Kawasan Pariwisata	0,1-0,3	Liter/detik/hari

Sumber : Ditjen Cipta Karya

Tabel 3. 8 Kebutuhan Air Bersih Kategori V

No	SEKTOR	NILAI	SATUAN
1	Sekolah	5	Liter/murid/hari
2	Rumah Sakit	200	Liter/bed/hari
3	Puskesmas	1200	Liter/hari

Tabel 3. 9 Lanjutan

No	SEKTOR	NILAI	SATUAN
4	Hotel/losmen	90	Liter/hari
5	Komersial/Industri	10	Liter/hari

Sumber : Ditjen Cipta Karya

Tabel 3. 10 Kebutuhan Air Bersih Domestik Kategori Lain

No	SEKTOR	NILAI	SATUAN
1	Lapangan Terbang	10	Liter/det
2	Pelabuhan	50	Liter/det
3	Stasiun KA-Terminal Bus	1200	Liter/det
4	Kawasan Industri	0,75	Liter/det/ha

Sumber : Ditjen Cipta Karya