

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Curah Hujan Rencana

Dalam pelaksanaan tugas akhir, perhitungan curah hujan wilayah dilakukan dengan menggunakan metode *Polygon Thiessen*. Sosrodarsono (2003) menerangkan bahwa metode poligon *Thiessen* berasumsi curah hujan masing-masing stasiun linear dan masing-masing stasiun hujan mampu mewakili wilayah di sekitarnya. Metode ini cocok digunakan jika letak stasiun hujan tidak tersebar merata dan jumlahnya sangat terbatas dibandingkan dengan luasnya. Cara perhitungan dengan metode ini adalah dengan menggunakan faktor pengaruh wilayah yang mewakili stasiun hujan atau disebut juga dengan faktor pembobot atau koefisien *Thiessen*. Besar koefisien *Thiessen* dapat dihitung menggunakan persamaan (3-1) (Sosrodarsono, 2003).

$$C = \frac{A_i}{A_{total}} \dots\dots\dots (3-1)$$

Keterangan:

- C = koefisien *Thiessen*
- A_i = Luas wilayah pengaruh dari stasiun i (km²)
- A_{total} = Luas keseluruhan DAS (km²)

Menghitung curah hujan wilayah dengan metode poligon *Thiessen* dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (3-2) (Sosrodarsono, 2003).

$$\bar{R} = \frac{A_1R_1 + A_2R_2 + \dots + A_nR_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (3-2)$$

Keterangan:

| | | |
|------------------------|---|---|
| \bar{R} | = | curah hujan rata-rata DAS (mm) |
| A_1, A_2, \dots, A_n | = | luas wilayah pengaruh setiap stasiun (km ²) |
| R_1, R_2, \dots, R_n | = | curah hujan pada setiap stasiun (mm) |
| n | = | banyaknya stasiun hujan |

Tahap-tahap perhitungan curah hujan rencana dengan menggunakan metode poligon *Thiessen* sebagai berikut:

1. Menentukan hujan maksimum harian tiap tahun di salah satu stasiun hujan.
2. Mencari besarnya curah hujan pada stasiun-stasiun lainnya sesuai tanggal-bulan-tahun hujan maksimum harian pada satu stasiun yang telah ditentukan sebelumnya.
3. Menghitung curah hujan DAS dengan mengalikan besar curah hujan dengan koefisien *Thiessen* (C).
4. Menentukan hujan maksimum harian terbesar di tahun yang sama pada stasiun hujan lain.
5. Mengulangi langkah (2) dan (3) setiap tahun.

3.1.1 Curah hujan maksimum harian rata-rata

Curah hujan maksimum merupakan curah hujan tertinggi yang terjadi dalam periode waktu tertentu. Penentuan hujan maksimum harian rata-rata adalah dengan menggunakan data-data curah hujan maksimum harian dari stasiun curah hujan yang kemudian dihitung rata-ratanya dengan persamaan (3-3) (Sosrodarsono, 2003).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \dots\dots\dots (3-3)$$

Keterangan:

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \text{curah hujan maksimum harian rata-rata} \\ n &= \text{banyaknya jumlah data} \\ \sum_{i=1}^n x_i &= \text{jumlah seluruh curah hujan maksimum harian per stasiun}\end{aligned}$$

3.1.2 Perhitungan curah hujan rencana

Berdasarkan besarnya curah hujan rencana, besarnya intensitas hujan untuk menghitung debit banjir rencana dapat dihitung. Perhitungan curah hujan rencana menggunakan analisis frekuensi dapat dilakukan menggunakan distribusi normal, distribusi log normal, distribusi Log *Pearson* tipe III dan distribusi *Gumbel*. Dengan menggunakan analisis frekuensi, perhitungan curah hujan rencana dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

3.1.2.1 Parameter statistik.

Rumus-rumus untuk menghitung parameter yang digunakan terdapat pada rumus (3-4) sampai (3-12) (Soewarno, 1995).

1. Nilai rata-rata.

$$\bar{x} = \frac{\sum X_i}{n} \dots\dots\dots (3-4)$$

Keterangan:

$$\begin{aligned}\bar{X} &= \text{nilai rata-rata curah hujan} \\ X_i &= \text{nilai pengukuran suatu curah hujan ke-}i \\ n &= \text{jumlah data curah hujan}\end{aligned}$$

2. Standar deviasi.

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots (3-5)$$

Keterangan:

S_d = standar deviasi curah hujan

\bar{X} = nilai rata-rata curah hujan

X_i = nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke- i

n = jumlah data curah hujan

3. Koefisien variasi.

$$C_v = \frac{S_d}{\bar{X}} \dots\dots\dots (3-6)$$

Keterangan:

C_v = koefisien variasi curah hujan

S_d = standar deviasi curah hujan

\bar{X} = nilai rata-rata curah hujan

4. Koefisien kemiringan.

$$\text{Untuk populasi} : C_s = \frac{a}{\sigma^3} \dots\dots\dots (3-7)$$

$$\text{Untuk sampel} : C_s = \frac{a}{S_d^3} \dots\dots\dots (3-8)$$

$$\alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^3 \dots\dots\dots (3-9)$$

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 \dots\dots\dots (3-10)$$

Keterangan:

C_s = koefisien kemencengan curah hujan

σ = standar deviasi dari populasi curah hujan

S_d = standar deviasi dari sampel curah hujan

μ = nilai rata-rata dari data populasi curah hujan

\bar{X} = nilai rata-rata dari data sampel curah hujan

X_i = curah hujan ke- i

n = jumlah data curah hujan

α, a = parameter kemencengan

5. Koefisien kurtosis.

Untuk data yang belum dikelompokkan :

$$C_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{S_d^4} \dots\dots\dots (3-11)$$

Untuk data yang sudah dikelompokkan :

$$C_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 f_i}{S_d^4} \dots\dots\dots (3-12)$$

Keterangan:

- C_k = koefisien kurtosis
- n = jumlah data curah hujan
- X_i = curah hujan ke- i
- \bar{X} = nilai rata-rata dari data sampel
- f_i = nilai frekuensi variabel ke- i
- S_d = standar deviasi

3.1.2.2 Pemilihan jenis sebaran distribusi *Log Pearson* Tipe III

Jenis distribusi *Log Pearson* Tipe III merupakan hasil transformasi dari distribusi *Pearson* Tipe III dengan menggantikan variabel menjadi nilai logaritma. Soemarto (1986) menyatakan persamaan *Log Pearson* Tipe III sebagai berikut:

$$Y = \bar{Y} + K \times S \dots\dots\dots (3-13)$$

Keterangan:

- Y = $\log (X)$
- X = data curah hujan
- \bar{Y} = rata-rata nilai Y
- S = deviasi standar nilai Y
- K = karakteristik distribusi *Log Pearson* Tipe III

Tabel 3.1 Nilai K Distribusi Log Pearson Tipe III

| Cs | Kala Ulang (tahun) | | | | | | | |
|------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 200 | 1000 |
| | Peluang (%) | | | | | | | |
| | 50 | 20 | 10 | 4 | 2 | 1 | 0,5 | 0,1 |
| 3,0 | -0,396 | 0,420 | 1,180 | 2,278 | 3,142 | 4,051 | 4,970 | 7,250 |
| 2,5 | -0,360 | 0,518 | 1,250 | 2,262 | 3,048 | 3,845 | 4,652 | 6,600 |
| 2,2 | -0,330 | 0,574 | 1,284 | 2,240 | 2,970 | 3,705 | 4,444 | 6,200 |
| 2,0 | -0,307 | 0,609 | 1,302 | 2,219 | 2,912 | 3,605 | 4,298 | 5,910 |
| 1,8 | -0,282 | -,643 | 1,318 | 2,193 | 2,848 | 3,499 | 4,147 | 5,660 |
| 1,6 | -0,254 | 0,675 | 1,329 | 2,163 | 2,780 | 3,388 | 3,990 | 5,390 |
| 1,4 | -0,225 | 0,705 | 1,337 | 2,128 | 2,706 | 3,271 | 3,828 | 5,110 |
| 1,2 | -0,195 | 0,732 | 1,340 | 2,087 | 2,626 | 3,149 | 3,661 | 4,820 |
| 1,0 | -0,164 | 0,758 | 1,340 | 2,043 | 2,542 | 3,022 | 3,489 | 4,540 |
| 0,9 | -0,148 | 0,769 | 1,339 | 2,018 | 2,498 | 2,957 | 3,401 | 4,395 |
| 0,8 | -0,132 | 0,780 | 1,336 | 2,998 | 2,453 | 2,891 | 3,312 | 4,250 |
| 0,7 | -0,116 | 0,790 | 1,333 | 2,967 | 2,407 | 2,824 | 3,223 | 4,105 |
| 0,6 | -0,099 | 0,800 | 1,328 | 2,939 | 2,359 | 2,755 | 3,132 | 3,960 |
| 0,5 | -0,083 | 0,808 | 1,323 | 2,910 | 2,311 | 2,686 | 3,041 | 3,815 |
| 0,4 | -0,066 | 0,816 | 1,317 | 2,880 | 2,261 | 2,615 | 2,949 | 3,670 |
| 0,3 | -0,050 | 0,824 | 1,309 | 2,849 | 2,211 | 2,544 | 2,856 | 3,525 |
| 0,2 | -0,033 | 0,830 | 1,301 | 2,818 | 2,159 | 2,472 | 2,763 | 3,380 |
| 0,1 | -0,17 | 0,836 | 1,292 | 2,785 | 2,107 | 2,400 | 2,670 | 3,235 |
| 0,0 | 0,00 | 0,842 | 1,282 | 2,751 | 2,054 | 2,326 | 2,576 | 3,090 |
| -0,1 | 0,017 | 0,836 | 1,270 | 2,761 | 2,00 | 2,252 | 2,482 | 3,950 |
| -0,2 | 0,033 | 0,850 | 1,258 | 1,680 | 1,945 | 2,178 | 2,388 | 2,810 |
| -0,3 | 0,050 | 0,853 | 1,245 | 1,643 | 1,890 | 2,104 | 2,294 | 2,675 |
| -0,4 | 0,066 | 0,855 | 1,231 | 1,606 | 1,834 | 2,029 | 2,201 | 2,540 |
| -0,5 | 0,083 | 0,856 | 2,216 | 1,567 | 1,777 | 1,955 | 2,108 | 2,400 |
| -0,6 | 0,099 | 0,857 | 1,200 | 1,528 | 1,720 | 1,880 | 2,016 | 2,275 |
| -0,7 | 0,116 | 0,857 | 1,183 | 1,488 | 1,663 | 1,806 | 1,926 | 2,150 |
| -0,8 | 0,132 | 0,856 | 1,166 | 1,488 | 1,606 | 1,733 | 1,837 | 2,035 |
| -0,9 | 0,148 | 0,854 | 1,147 | 1,407 | 1,549 | 1,660 | 1,749 | 1,910 |
| -1,0 | 0,164 | 0,852 | 1,128 | 1,366 | 1,492 | 1,588 | 1,664 | 1,800 |
| -1,2 | 0,195 | 0,844 | 1,086 | 1,282 | 1,379 | 1,449 | 1,501 | 1,625 |
| -1,4 | 0,225 | 0,832 | 1,041 | 1,198 | 1,270 | 1,418 | 1,351 | 1,465 |
| -1,6 | 0,254 | 0,817 | 0,994 | 1,116 | 1,166 | 1,200 | 1,216 | 1,280 |
| -1,8 | 0,282 | 0,799 | 0,945 | 0,035 | 1,069 | 1,089 | 1,097 | 1,130 |
| -2,0 | 0,307 | 0,777 | 0,895 | 0,959 | 0,980 | 0,990 | 1,995 | 1,00 |
| -2,2 | 0,330 | 0,752 | 0,844 | 0,888 | 0,900 | 0,905 | 0,907 | 0,910 |
| -2,5 | 0,360 | 0,711 | 0,771 | 0,793 | 0,798 | 0,799 | 0,800 | 0,802 |
| -3,0 | 0,396 | 0,636 | 0,660 | 0,666 | 0,666 | 0,667 | 0,667 | 0,668 |

3.1.2.3 Uji kecocokan sebaran.

Ada dua jenis uji kecocokan sebaran yang akan digunakan yaitu uji kecocokan *Chi-Square* dan *Smirnov-Kolmogorof*.

1. Uji kecocokan *Chi-Square*.

Uji *Chi-Square* dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dan distribusi statistik sampel yang dianalisis. Uji *Chi-Square* menggunakan persamaan (3-14) (Soewarno, 1995).

$$X^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots (3-14)$$

Keterangan:

- X^2 = harga *Chi-Square*
- O_i = jumlah data yang teramati terdapat pada sub kelompok ke- i
- E_i = jumlah data yang secara teoritis terdapat pada sub kelompok ke- i
- G = jumlah sub kelompok

Untuk menguji kecocokan distribusi sebaran data curah hujan menggunakan metode *Chi-Square* digunakan tahapan seperti berikut ini:

- a. Mengurutkan data pengamatan dari yang terbesar ke yang terkecil atau sebaliknya.
- b. Menghitung jumlah kelas yang ada yaitu $Nc = 1 + 1,33 \ln(N)$.
- c. Dalam pembagian kelas disarankan agar dalam masing-masing kelas terdapat minimal tiga buah data pengamatan.

- d. Tentukan derajat kebebasan $DK = G - P - 1$ (nilai $P = 2$ untuk distribusi normal dan binomial, untuk distribusi *Log Pearson III* dan *Gumbel* nilai $P = 1$).
- e. Hitung n .
- f. Nilai $Ei = \text{jumlah data } (n) / \text{Jumlah kelas}$.
- g. Tentukan nilai Oi untuk masing-masing kelas.
- h. Jumlah G Sub-grup $Ei(Ei - Oi)^2$ untuk menentukan nilai *Chi-Square*.
- i. Didapat nilai X^2 , harus $< X^2_{CR}$.

Kriteria penilaian hasil uji Chi-Square diuraikan seperti di bawah ini:

- a. Apabila peluang lebih dari 5%, maka persamaan distribusi teoritis dapat diterima.
 - b. Apabila peluang lebih kecil dari 1%, maka persamaan distribusi teoritis tidak dapat diterima.
 - c. Apabila peluang di antara 1% - 5%, maka tidak dapat dilakukan pengambilan keputusan.
2. Uji kecocokan *Smirnov-Kolmogorov*.

Uji kecocokan *Smirnov-Kolmogorof* dapat dirumuskan dalam persamaan (3-15) (Soewarno, 1995).

$$\alpha = \frac{P_{max}}{P(x)} - \frac{P(x_i)}{\Delta C_r} \dots \dots \dots (3-15)$$

Untuk menguji kecocokan distribusi sebaran data curah hujan menggunakan metode *Smirnov-Kolmogorov* digunakan tahapan seperti berikut ini:

- a. Mengurutkan data dari yang terkecil atau sebaliknya dan tentukan besarnya nilai masing-masing data tersebut.
- b. Menentukan nilai peluang teoritis dari hasil penggambaran data.
- c. Menentukan selisih terbesar antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis. $D = \text{maksimum}(P(X_m) - P'(X_m))$.
- d. Menentukan nilai D_0 berdasarkan tabel nilai kritis.

Tabel 3.2 Harga Derajat Kepercayaan

| Jumlah data n | α derajat kepercayaan | | | |
|------------------|------------------------------|----------|----------|----------|
| | 0,20 | 0,10 | 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 | 0,30 | 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 |
| $n > 50$ | $1,07/n$ | $1,22/n$ | $1,36/n$ | $1,63/n$ |

3.2 Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan per satuan waktu tertentu. Untuk menghitung intensitas curah hujan dengan menggunakan data curah hujan harian, dapat menggunakan rumus *Mononobe* sebagai berikut (Sosrodarsono, 2003):

$$I = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left(\frac{24}{t}\right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (3-16)$$

Keterangan:

- I = intensitas curah hujan (mm/jam)
 t = lamanya curah hujan (jam)
 R_{24} = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

3.3 Hujan Berpeluang Maksimum (*Probable Maximum Precipitation, PMP*)

Dalam perhitungan *PMP*, digunakan persamaan yang diajukan oleh *Hersfield*. Persamaan ini mengaitkan antara besarnya *PMP* untuk lama waktu hujan tertentu terhadap nilai tengah (X_n) dan standar deviasi (S_d) (Ward dan Robbinson, 1990).

$$PMP = X_n + K_m \cdot S_n \dots\dots\dots (3-17)$$

Keterangan:

- PMP = *Probable Maximum Precipitation*
 X_n = nilai tengah data hujan maksimum tahunan
 K_m = faktor pengali terhadap standar deviasi
 S_n = standar deviasi data hujan maksimum tahunan

Besarnya parameter K_m biasanya ditentukan 20, namun di lapangan umumnya bervariasi tergantung nilai tengah data hujan maksimum tahunan (X_n) dan lama waktu hujan. Keuntungan teknik ini mudah dalam pemakaiannya dan didasarkan pada pencatatan data hujan di lapangan, sedangkan kekurangannya adalah teknik *PMP* memerlukan data hujan yang berjangka panjang dan besarnya K_m juga ditentukan oleh faktor lain selain nilai tengah data hujan tahunan maksimum dan lama waktunya hujan. Besarnya *PMP* untuk perencanaan embung adalah $PMP/3$, sedangkan untuk perencanaan dam sama dengan besarnya *PMP*.

3.4 Debit Banjir Rencana

3.4.1 Metode *Der Weduwen*

Metode ini digunakan untuk DAS yang memiliki luas < 100 km² dan $t \geq 1/6$ sampai 12 jam (SNI 2415:2016).

$$Q_t = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A \quad \dots\dots\dots (3-18)$$

$$t = 0,25L \cdot Q_t^{-0,125} \cdot I^{0,125} \quad \dots\dots\dots (3-19)$$

$$\beta = \frac{120 + ((t + 1)(t + 9))A}{120 + A} \quad \dots\dots\dots (3-20)$$

$$q_n = \frac{R_n}{240} \cdot \frac{67,65}{t + 1,45} \quad \dots\dots\dots (3-21)$$

$$\alpha = 1 - \frac{4,1}{\beta q_n + 7} \quad \dots\dots\dots (3-22)$$

Keterangan:

Q_t = debit banjir rencana (m³/detik)

R_n = curah hujan maksimum (mm/hari) dengan kemungkinan tak terpenuhi n%

α = koefisien pengaliran atau limpasan (*run off*) air hujan

β = koefisien pengurangan daerah untuk curah hujan DAS

q_n = debit persatuan luas atau curah hujan dari hasil perhitungan R_n (m³/detik.km²)

t = waktu konsentrasi (jam)

A = luas daerah pengaliran (km²) (maksimal 100 km²)

L = panjang sungai (km)

I = gradien sungai atau medan

3.4.2 Metode *Haspers*

Untuk menghitung debit banjir rencana dengan metode ini, digunakan persamaan (3-23) (SNI 2415:2016).

$$Q_t = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A \quad \dots\dots\dots (3-23)$$

1. Koefisien *run off* (α).

$$\alpha = \frac{1 + 0,012 f^{0,7}}{1 + 0,75 f^{0,7}} \dots\dots\dots (3-24)$$

2. Koefisien reduksi (β).

$$\beta = 1 + \frac{t + 3,7 \times 10^{-0,4t}}{t^2 + 15} \times \frac{f^{\frac{3}{4}}}{12} \dots\dots\dots (3-25)$$

3. Waktu konsentrasi (t).

$$t = 0,1L^{0,8} \cdot S^{-0,3} \dots\dots\dots (3-26)$$

4. Intensitas hujan.

- a. $t < 2$ jam.

$$R_n = \frac{tR_{24}}{t + 1 - 0,0008 \cdot (260 - R_{24})(2 - t)^2} \dots\dots\dots (3-27)$$

- b. $2 \text{ jam} \leq t \leq 19 \text{ jam}$.

$$R_n = \frac{t \cdot R_{24}}{t + 1} \dots\dots\dots (3-28)$$

- c. $19 \text{ jam} \leq t \leq 30 \text{ jam}$.

$$R_n = 0,707R_{24}\sqrt{t + 1} \dots\dots\dots (3-29)$$

- d. Hujan maksimum (q_n).

$$q_n = \frac{R_n}{3,6 \cdot t} \dots\dots\dots (3-30)$$

Keterangan:

- f = luas elips yang mengelilingi daerah dengan sumbu panjang tidak lebih dari 1,5 kali sumbu pendek (km^2)
 t = waktu konsentrasi (jam)
 L = panjang sungai (km)
 S = kemiringan rata-rata sungai
 Q_t = debit banjir rencana (m^3/detik)
 R_n = curah hujan maksimum (mm/hari)
 R_{24} = curah hujan efektif (mm/hari)

q_n = debit persatuan luas ($\text{m}^3/\text{detik.km}^2$)

3.4.3 Hidrograf satuan sintetis Gama I

Menurut Alexander dan Harahab (2009), cara ini digunakan jika tidak terdapat data pengukuran debit maupun data *AWLR (Automatic Water Level Recorder)* pada suatu tempat di DAS yang tidak mempunyai stasiun hidrometer. Hidrograf satuan sintetis GAMA I menggunakan empat parameter pokok yaitu waktu naik (T_R), debit puncak (Q_P), waktu dasar (T_B) dan koefisien tampungan (k).

$$Q_t = Q_p \cdot e^{\left(-\frac{t}{k}\right)} \dots\dots\dots (3-31)$$

Keterangan:

- t = waktu dari terjadinya debit puncak (jam)
- k = koefisien tampungan (jam)
- Q_p = debit puncak (m^3/detik)
- Q_t = debit yang diukur pada jam ke- t setelah debit puncak (m^3/detik)

1. Waktu naik (T_R), (Alexander dan Harahab, 2009).

$$T_R = 0,43 \left(\frac{L}{100 \cdot SF} \right)^3 + 1,0665SIM + 1,2775 \dots\dots\dots (3-32)$$

Keterangan:

- T_R = waktu naik (jam)
- L = panjang sungai (km)
- SF = faktor sumber yaitu perbandingan antara jumlah panjang sungai tingkat I dengan panjang sungai semua tingkat
- SIM = faktor simetri ditetapkan sebagai hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas relatif DAS sebelah hulu (RUA)
- WF = faktor lebar adalah perbandingan antara lebar DAS yang diukur dari titik di sungai yang berjarak 0,75 L dan lebar DAS yang diukur dari titik yang berjarak 0,25 L dari tempat pengukuran

2. Debit puncak (Q_P), (Alexander dan Harahab, 2009).

$$Q_P = 0,1836A^{0,5886} \cdot TR^{-0,4008} \cdot JN^{0,5886} \dots\dots\dots (3-33)$$

Keterangan:

Q_P = debit puncak (m³/detik)
 JN = jumlah pertemuan sungai yaitu jumlah seluruh pertemuan sungai di dalam DAS
 T_R = waktu naik (jam)
 A = luas DAS (km²)

3. Waktu dasar (T_B), (Alexander dan Harahab, 2009).

$$T_B = 27,4132 \cdot TR^{0,1457} \cdot S^{-0,0986} \cdot SN^{-0,7344} \cdot RUA^{0,2574} \dots\dots\dots (3-34)$$

Keterangan:

T_B = waktu dasar (jam)
 T_R = waktu naik (jam)
 S = landai sungai rata-rata
 SN = nilai sumber adalah perbandingan antara jumlah segmen sungai sungai tingkat 1(satu) dengan jumlah sungai semua tingkat untuk penetapan tingkat sungai
 RUA = luas DAS sebelah hulu (km²), yaitu perbandingan antara luas DAS yang diukur di hulu garis yang ditarik tegak lurus garis hubung antara stasiun hidrometri dengan titik yang paling dekat dengan titik berat DAS (Au), dengan luas seluruh DAS

4. Koefisien tampungan (k), (Alexander dan Harahab, 2009).

$$k = 0,5617A^{0,1798} \cdot S^{-0,1446} \cdot SF^{-1,0897} \cdot D^{0,0452} \dots\dots\dots (3-35)$$

Keterangan :

A = luas daerah aliran sungai (km²)
 S = kemiringan rata-rata sungai diukur dari titik kontrol
 SF = faktor sumber yaitu nilai banding antara panjang sungai tingkat satu dan jumlah panjang sungai semua tingkat
 D = Jumlah panjang sungai semua tingkat pada tiap satuan luasan DAS

3.5 Analisis Dimensi Saluran

Perhitungan dimensi saluran dilakukan menggunakan rumus *Strickler*, dengan bentuk penampang terpilih adalah segi empat. Perhitungan kecepatan dengan rumus *Strickler* dapat dilihat pada persamaan (3-36) (Kamiana, 2018).

$$V = k \times R^{2/3} \times S^{0,5} \dots\dots\dots (3-36)$$

Keterangan:

- V = kecepatan *Strickler* (m/detik)
- k = koefisien kekasaran *Strickler* ($m^{1/3}$ /detik) (lihat Tabel 3.3)
- R = jari-jari hidraulis (m)
- S = kemiringan

Tabel 3.3 Harga k *Strickler*

| Tipe Saluran | k |
|------------------------|---------|
| Saluran tanah | 35 – 45 |
| Saluran pasangan batu | 60 |
| Saluran pasangan beton | 70 |
| Saluran baja | 80 |

3.6 Analisis Debit Andalan

Perhitungan ini menggunakan cara analisis water balance dari *FJ. Mock* (1973) berdasarkan data curah hujan bulanan, jumlah hari hujan, evapotranspirasi dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran. Perhitungan debit andalan meliputi:

3.6.1 Data curah hujan

R = curah hujan bulanan

N = jumlah hari hujan

3.6.2 Evapotranspirasi

Evapotranspirasi dihitung dengan menggunakan metode *Thornthwaite Mather* (1957), dengan persamaan-persamaan seperti yang terdapat pada persamaan (3-37) hingga (3-41) (Jahuari dkk., 2016):

$$P_{ex} = 16(10T/l)^a \dots\dots\dots (3-37)$$

$$i = (T/5)^{1,514} \dots\dots\dots (3-38)$$

$$l = \sum i \dots\dots\dots (3-39)$$

$$a = (0,675 \cdot 10^{-6} \cdot I^3) - (0,77 \cdot 10^{-4} \cdot I^2) + 0,01792 \cdot I + 0,49239 \dots\dots\dots (3-40)$$

$$PE = f \times P_{ex} \dots\dots\dots (3-41)$$

Keterangan:

P_{ex} = evapotranspirasi potensial belum terkoreksi (mm/bulan)

T = suhu udara ($^{\circ}\text{C}$)

i = indeks panas

l = jumlah indeks panas (tahun)

a = indeks panas

PE = evapotranspirasi potensial terkoreksi (mm/bulan)

f = faktor pengali

3.6.3 Keseimbangan air pada permukaan tanah

Rumus untuk air hujan yang jatuh pada permukaan tanah adalah (KP-01, 2010):

$$S = R - E_{tl} \dots\dots\dots (3-42)$$

$$SMC(n) = SMC(n - 1) + IS(n) \dots\dots\dots (3-43)$$

$$WS = S_G - IS \dots\dots\dots (3-44)$$

Keterangan:

S_G = kandungan air tanah

R = curah hujan bulanan

E_{tl} = evapotranspirasi terbatas

IS = tampungan awal/soil storage (mm)

| | | |
|------------|---|--|
| $IS(n)$ | = | tampungan awal/soil storage diambil antara 50-250 mm |
| $SMC(n)$ | = | kelembaban tanah bulan ke- n |
| $SMC(n-1)$ | = | kelembaban tanah bulan ke- $(n-1)$ |
| WS | = | water surplus/volume air bersih |

3.6.4 Limpasan (*run off*) dan tampungan air tanah (*ground water storage*)

Perhitungan limpasan dan tampungan air tanah dapat dihitung menggunakan persamaan (3-45) dan (3-46) (KP-01, 2010).

$$V(n) = k \cdot V(n-1) + 0,5 (1-k) \cdot I(n) \quad \dots\dots\dots (3-45)$$

$$DV_n = V(n) - V(n-1) \quad \dots\dots\dots (3-46)$$

Keterangan:

| | | |
|----------|---|---|
| $V(n)$ | = | volume air bulan ke- n |
| $V(n-1)$ | = | volume air tanah bulan ke- $(n-1)$ |
| k | = | faktor resesi aliran tanah diambil antara 0 – 1,0 |
| I | = | koefisien infiltrasi diambil antara 0 – 1,0 |

Semakin besar nilai k , maka resesi akan semakin lambat. Nilai koefisien infiltrasi ditentukan berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan lahan. Infiltrasi lahan porus lebih tinggi daripada tanah lempung berat. Koefisien infiltrasi akan lebih kecil pada lahan yang terjal.

3.6.5 Aliran sungai

Perhitungan aliran sungai dapat dilakukan dengan persamaan (3-47) dan (3-48) (KP-01, 2010).

$$B(n) = I - dV(n) \quad \dots\dots\dots (3-47)$$

$$D(ro) = WS - I \quad \dots\dots\dots (3-48)$$

$$\text{Run off} = D(ro) + B(n) \quad \dots\dots\dots (3-49)$$

$$\text{Debit} = \frac{\text{Run off}}{\text{Satu bulan (detik)}} \times \text{Luas} \quad \dots\dots\dots (3-50)$$

Keterangan:

$B(n)$ = aliran dasar
 I = infiltrasi
 $dV(n)$ = perubahan volume air dalam tanah
 $D(ro)$ = aliran permukaan
 WS = volume air lebih
 $Run\ off$ = aliran sungai

3.7 Kebutuhan Air Irigasi

Perhitungan kebutuhan air irigasi mengacu pada Kriteria Perencanaan Bagian Jaringan Irigasi (KP-01). Kebutuhan air sawah untuk padi dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut:

1. Penyiapan lahan (KP-01, 2010).

$$IR = M \cdot e^k / (e^k - 1) \quad \dots\dots\dots (3-51)$$

$$M = E_o + P \quad \dots\dots\dots (3-52)$$

Keterangan:

IR = kebutuhan air irigasi (mm/hari)
 M = kebutuhan air untuk mengganti evaporasi dan perkolasi (mm/hari)
 E_o = evaporasi terbuka ($1,1 \times ET_o$) (mm/hari)
 P = perkolasi (mm/hari)
 k = $M \times T / S$
 T = waktu penyiapan lahan (hari)
 S = kebutuhan air, untuk penjemuran ditambah 50 mm

2. Penggunaan konsumtif (KP-01, 2010).

$$ET_C = K_C \times ET_o \quad \dots\dots\dots (3-53)$$

Keterangan:

ET_C = evapotranspirasi terkoreksi (mm/hari)
 K_C = koefisien tanaman
 ET_o = evapotranspirasi (mm/hari)

3. Perkolasi dan rembesan (KP-01, 2010).

Perkolasi adalah tekan yang terjadi pada air yang berada di antara permukaan tanah sampai ke permukaan air tanah (zona jenuh). Pada tanah-tanah lempung berat dengan karakteristik pengelolaan yang baik, laju perkolasi dapat mencapai 1-3 mm/ hari. Pada tanah-tanah yang lebih ringan laju perkolasi bisa lebih tinggi. Daerah dengan kemiringan di atas 5 persen, paling tidak akan terjadi kehilangan 5 mm/hari akibat perkolasi dan rembesan. Nilai perkolasi yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Harga Perkolasi Berdasarkan Jenis Tanah

| No | Jenis Tanah | Perkolasi |
|----|------------------|-----------|
| 1 | Pasir berlempung | 3 – 6 |
| 2 | Lempung | 2 – 3 |
| 3 | Lumpur | 1 – 2 |

4. Penggantian lapisan air (KP-01, 2010).

Penggantian lapisan air dilakukan setelah pemupukan. Penggantian lapisan air dilakukan menurut kebutuhan. Jika tidak ada penjadwalan semacam itu, lakukan penggantian sebanyak 2 kali, masing-masing 50 mm (atau 3,3 mm/hari selama 1/2 bulan) selama sebulan dan dua bulan setelah transplantasi.

5. Curah hujan (KP-01, 2010).

Data curah hujan yang dibutuhkan adalah data curah hujan rata-rata per setengah bulanan (15 harian).

$$R = (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n)/n \quad \dots \dots \dots (3-54)$$

Perhitungan dilanjutkan dengan menghitung curah hujan efektif . Curah hujan efektif merupakan curah hujan yang besarnya dapat dilampaui sebanyak 80% atau dilampauinya 8 kali dari 10 kejadian.

$$m = R_{80} \times (n + 1) \dots\dots\dots (3-55)$$

Keterangan:

- R = curah hujan wilayah (mm/15 hari)
 n = jumlah data
 R_1, \dots, R_n = besar curah hujan pada tiap stasiun hujan (mm)
 m = urutan hujan yang terpilih

Kebutuhan air bersih untuk mengairi padi di sawah dapat dihitung menggunakan rumus (KP-01, 2010):

$$NFR = ET_C + P + WLR - R_e \dots\dots\dots (3-56)$$

Keterangan:

- NFR = *Netto Field Water Requirement*, kebutuhan bersih air di sawah (mm/hari)
 ET_C = evaporasi (mm/hari)
 P = perkolasi (mm/hari)
 WLR = kebutuhan penggantian air (mm/hari)
 R_e = curah hujan efektif (mm/hari)

Kebutuhan air irigasi untuk tanaman padi dihitung menggunakan rumus (KP-01, 2010):

$$IR = \frac{NFR}{e} \dots\dots\dots (3-57)$$

Keterangan:

- IR = kebutuhan air untuk irigasi (mm/hari)
 e = efisiensi irigasi

Kebutuhan pengambilan air pada sumbernya dihitung menggunakan rumus (KP-01, 2010):

$$DR = \frac{IR}{8,64} \dots\dots\dots (3-58)$$

Keterangan:

DR = kebutuhan pengambilan air pada sumbernya (mm/hari)
 $1/8,64$ = konversi satuan dari mm/hari ke liter/detik/ha

3.8 Evaporasi

Evaporasi merupakan peristiwa kehilangan air akibat terjadinya penguapan. Perhitungan evaporasi dapat dilakukan dengan metode transfer massa (Sosrodarsono, 2003).

$$Ve = Ea \times S \times Ag \times d \dots\dots\dots (3-59)$$

$$Ea = 0,35(ea - ed) (1 - 0,01V) \dots\dots\dots (3-60)$$

Keterangan:

Ve = volume air oleh penguapan (m^3)
 Ea = evaporasi hasil perhitungan (mm/hari)
 S = penyinaran matahari hasil pengamatan (%)
 Ag = luas permukaan pada setengah tinggi (m^2)
 d = jumlah hari dalam satu bulan
 ea = tekanan uap jenuh pada suhu rata-rata harian (mm/Hg)
 ed = tekanan uap sebenarnya (mm/Hg)
 V = kecepatan angin pada ketinggian 2 m diatas permukaan tanah

3.9 Analisis Sedimen

Laju erosi dan sedimen akan dihitung menggunakan metode USLE (*Universal Soil Loss Equation*). Perkiraan laju sedimen dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh angka sedimentasi (m^3 /tahun) guna menentukan angka yang lebih pasti untuk kebutuhan ruang sedimen.

3.9.1 Erosivitas hujan

Penyebab utama terjadinya erosi adalah pukulan air hujan pada permukaan tanah. Dengan menggunakan metode USLE, erosivitas hujan dapat dihitung

dengan persamaan (2-67) (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2018).

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{EI}{100X} \dots\dots\dots (3-61)$$

Keterangan:

- R = erosivitas hujan rata-rata tahunan
 n = jumlah kejadian hujan dalam satu tahun (musim hujan)
 X = jumlah tahun atau musim hujan yang digunakan sebagai dasar perhitungan

Besarnya EI proporsional dengan curah hujan total untuk kejadian hujan dikalikan dengan intensitas hujan maksimum 30 menit. Faktor erosivitas hujan didefinisikan sebagai jumlah satuan indeks erosi hujan dalam setahun. Nilai R yang merupakan daya rusak hujan dapat ditentukan dengan persamaan yang dilaporkan Bols (1978) dengan menggunakan data curah hujan bulanan di 47 stasiun penakar hujan di Pulau Jawa dan Madura yang dikumpulkan selama 38 tahun. Mengutip Alexander dan Harahab (2009) persamaan perhitungan menurut Asdak (2002) sebagai berikut:

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{EI_{30}}{X} \dots\dots\dots (3-62)$$

$$EI_{30} = 6,119P_b^{1,211} \cdot N^{-0,474} \cdot P_{max}^{0,526} \dots\dots\dots (3-63)$$

Keterangan:

- R = indeks erosivitas hujan (KJ/ha/tahun)
 n = jumlah kejadian hujan dalam kurun waktu satu tahun
 EI_{30} = indeks erosi bulanan (KJ/ha)
 X = jumlah tahun yang digunakan sebagai dasar perhitungan
 P_b = curah hujan rata-rata tahunan (cm)
 N = jumlah hari hujan rata-rata per tahun
 P_{max} = curah hujan maksimum harian rata-rata (dalam 24 jam) per bulan untuk

kurun waktu satu tahun

3.9.2 Erodibilitas tanah

Faktor erodibilitas tanah (K) merupakan tingkat rembesan suatu tanah yang tererosi akibat curah hujan. Besarnya erodibilitas tergantung pada topografi, kemiringan lereng, kemiringan permukaan tanah, kecepatan penggerusan (*scour velocity*), besarnya gangguan oleh manusia dan juga ditentukan oleh karakteristik tanah seperti tekstur tanah, stabilitas agregat tanah, kapasitas infiltrasi, dan kandungan organik dan kimia tanah. Tanah yang mempunyai erodibilitas tinggi akan tererosi lebih cepat dibandingkan dengan tanah yang mempunyai erodibilitas rendah, dengan intensitas hujan yang sama. Juga tanah yang mudah dipisahkan (*dispersive*) akan tererosi lebih cepat daripada tanah yang terikat (*flocculated*).

3.9.3 Faktor panjang dan kemiringan lereng

Faktor panjang dan kemiringan lereng perlu diperhatikan, karena mempengaruhi kecepatan air dan kemampuan untuk memecah/melepas dan mengangkut partikel-partikel tanah akan bertambah besar secara eksponensial dari sudut kemiringan lereng (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2018).

1. Jika kemiringan lereng $< 20\%$:

$$LS = \frac{L}{100} \times (0,76 + 0,53 + 0,076S^2) \dots\dots\dots (3-64)$$

2. Jika kemiringan lereng $> 20\%$:

$$LS = \left(\frac{L}{22,1}\right)^{0,6} \times \left(\frac{S}{g}\right)^{1,4} \dots\dots\dots (3-65)$$

Keterangan:

- L = panjang lereng (m)
 S = kemiringan lereng (%)
 g = gravitasi (9,81 m/detik²)

3.9.4 Faktor penutup lahan

Faktor penutup lahan merupakan faktor yang menunjukkan keseluruhan pengaruh dari faktor vegetasi, seresah, kondisi permukaan tanah, dan pengelolaan lahan terhadap besarnya tanah yang hilang (erosi). C adalah faktor vegetasi penutup tanah dan pengelolaan tanaman, sedangkan P adalah faktor tindakan tindakan khusus konservasi tanah. Jika nilai C dan P digabungkan, maka besarnya nilai CP dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Faktor CP

| No | Penggunaan Lahan | Faktor CP |
|----|------------------|-------------|
| 1 | Pemukiman | 0,60 |
| 2 | Kebun campuran | 0,30 |
| 3 | Sawah | 0,05 |
| 4 | Tegalan | 0,75 |
| 5 | Perkebunan | 0,40 |
| 6 | Hutan | 0,03 |
| 7 | Padang rumput | 0,07 |

3.9.5 Pendugaan laju erosi potensial ($E-Pot$)

Erosi potensial adalah erosi maksimum pada suatu lahan yang terjadi hanya karena faktor alam (tanpa keterlibatan manusia, tumbuhan, dan hewan), yaitu iklim, sifat internal tanah dan keadaan topografi tanah. Erosi potensial dapat dihitung dengan persamaan (3-66) (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2018).

$$E-Pot = R \times K \times LS \times A \dots\dots\dots (3-66)$$

Keterangan:

$E-Pot$ = erosi potensial (ton/tahun)
 R = indeks erosivitas hujan
 K = erodibilitas tanah
 LS = faktor panjang dan kemiringan lereng
 A = luas daerah aliran sungai (ha)

3.9.6 Pendugaan laju erosi aktual ($E-Akt$)

Erosi aktual merupakan erosi yang terjadi akibat campur tangan manusia, misalnya akibat pengolahan tanah untuk pertanian dan adanya unsur-unsur penutup tanah. Erosi aktual dapat dihitung menggunakan persamaan (3-67) (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2018):

$$E-Akt = E-Pot \times CP \dots\dots\dots (3-67)$$

Keterangan :

$E-Akt$ = erosi aktual (ton/tahun)
 $E-Pot$ = erosi potensial (ton/tahun)
 CP = faktor penutup lahan dan faktor tindakan konservasi tanah

3.9.7 Pendugaan laju sedimentasi potensial

Sedimen potensial adalah proses pengangkutan sedimen hasil dari proses erosi potensial. Untuk menghitung sedimen potensial yang terjadi, perlu menghitung SDR (*Sediment Delivery Ratio*) terlebih dulu menggunakan persamaan (3-68) (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2018).

$$SDR = \frac{S (1 - 0,8683 \cdot A^{-0,2018})}{2 (S + 50n)} + 0,8683 \cdot A^{-0,2018} \dots\dots\dots (3-68)$$

Setelah menghitung nilai SDR , perhitungan dilanjutkan dengan menghitung besarnya sedimentasi potensial menggunakan persamaan (3-69) (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2018).

$$S-Pot = SDR \times E-Akt \quad \dots\dots\dots (3-69)$$

Keterangan:

- SDR = *Sediment Delivery Ratio*
 A_{das} = luas das (km²)
 $S-Pot$ = sedimentasi potensial
 $E-Akt$ = erosi aktual

3.10 Resapan Struktur

Dalam penelitian Alexander dan Harahab (2009), perhitungan volume resapan struktur menggunakan rumus praktis seperti yang terdapat pada persamaan (3-70).

$$V_i = K \cdot V_u \quad \dots\dots\dots (3-70)$$

$$V_u = \text{Volume tampungan total} - V_{\frac{1}{2} \text{ tinggi}} - V_e - V_s \dots\dots\dots (3-71)$$

Keterangan:

- V_i = volume resapan struktur (m³)
 V_u = volume hidup untuk memenuhi berbagai kebutuhan (m³)
 K = koefisien lulus air (10%, dasar dan dinding struktur rapat air)

3.11 Neraca Air

Neraca air dapat digunakan untuk mengetahui keadaan kuantitas air di lapangan, kelebihan (surplus) atau kekurangan (defisit). Neraca air juga dapat berfungsi untuk mengantisipasi bencana yang terjadi pada musim-musim tertentu, baik kemarau maupun penghujan. Untuk menentukan neraca air dilakukan perhitungan selisih antara *inflow* dengan *outflow*.

3.11.1 *Inflow*

Volume *inflow* (air masuk) didapatkan dari curah hujan merata pada periode tertentu suatu daerah dengan luas tangkapan hujan tertentu. Curah hujan

yang digunakan merupakan curah hujan rata-rata per bulan yang sudah ditentukan dengan debit andalan.

3.11.2 *Outflow*

Volume *outflow* (air keluar) merupakan akumulasi banyak air yang digunakan untuk keperluan pertanian, angkutan sedimen, kehilangan air akibat evaporasi dan resapan struktur.

3.12 Stabilitas Struktur

3.12.1 Gaya akibat berat sendiri struktur

Perhitungan beban akibat berat sendiri struktur didapat dari perkalian berat struktur dengan berat jenis bahan yang digunakan. Untuk perencanaan beton bertulang dapat digunakan harga berat volume sebesar 2400 kg/m^3 (Kriteria Perencanaan 06).

Perhitungan-perhitungan gaya berat sendiri dapat dihitung menggunakan persamaan (3-72) dan (3-73).

$$G_n = l_n \times b_n \times h_n \times \gamma_b \dots\dots\dots (3-72)$$

$$M_n = G_n \times p_n \dots\dots\dots (3-73)$$

Keterangan:

- G_n = beban berat sendiri segmen ke- n (kg)
- l_n = panjang segmen ke- n (m)
- b_n = lebar segmen ke- n (m)
- h_n = tinggi segmen ke- n (m)
- γ_b = berat jenis beton (kg/cm^3)
- M_n = momen segmen ke- n (kgm)
- p_n = jarak horisontal titik berat segmen ke- n ke titik guling (m)

3.12.2 Beban gempa (*seismic force*)

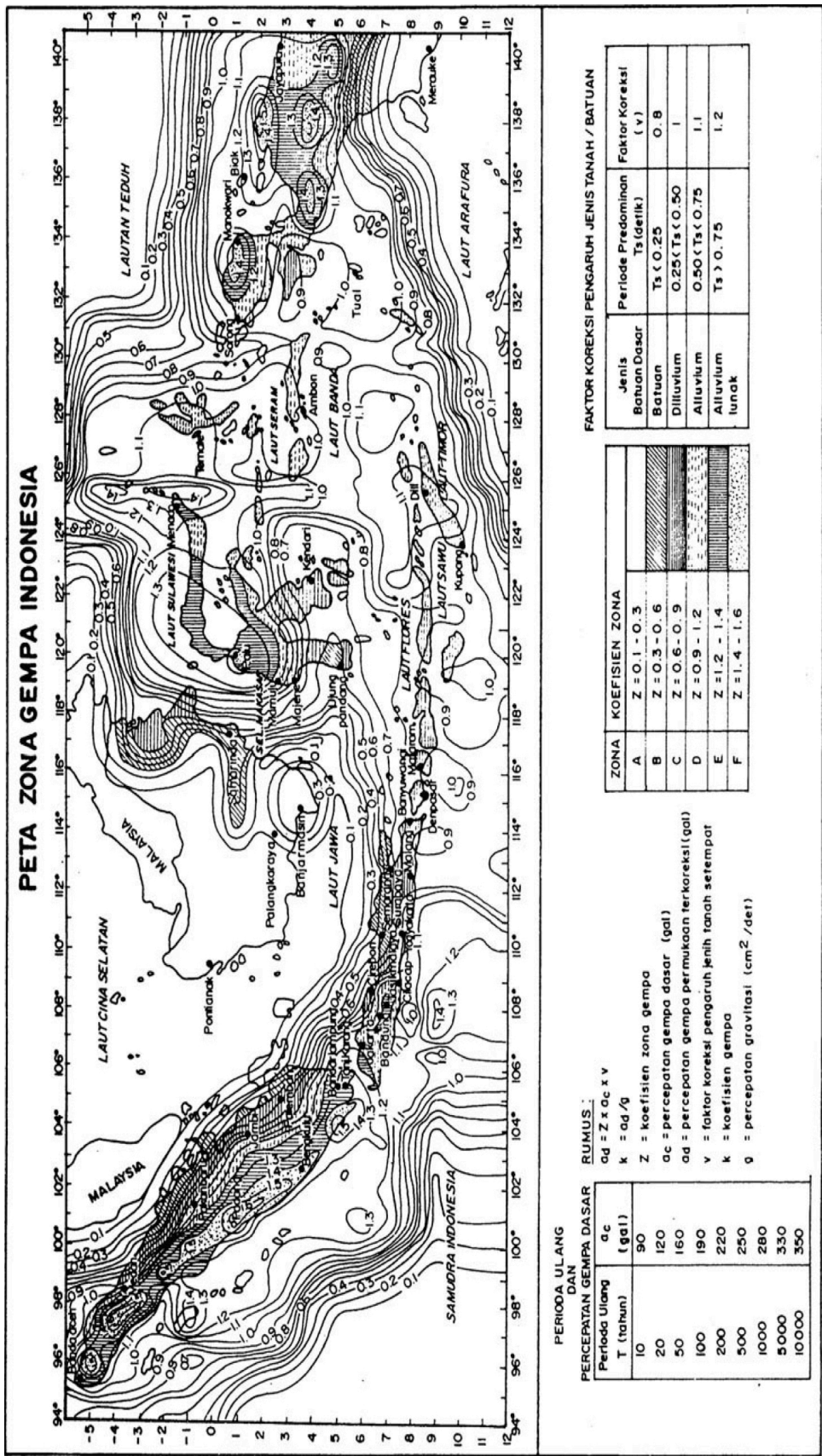
Besarnya gaya gempa didasarkan pada peta Indonesia yang menunjukkan berbagai daerah dan risiko. Untuk menentukan beban gempa dapat digunakan persamaan (3-74) dan (3-75) (KP-06, 2010).

$$E_n = \lambda \cdot G_n \quad \dots\dots\dots (3-74)$$

$$ME_n = E_n \times p_n \quad \dots\dots\dots (3-75)$$

Keterangan:

- E_n = gaya gempa dengan arah horisontal (kg)
- λ = koefisien gempa
- G_n = berat bangunan (kg)
- ME_n = momen gempa segmen ke- n (kgm)
- p_n = jarak vertikal titik berat segmen ke- n ke titik guling (m)



Gambar 3.1 Peta Zona Gempa Indonesia

3.12.3 Tekanan hidrostatis

Gaya tekan air dapat dibagi menjadi gaya hidrostatis dan gaya hidrodinamis. Tekanan hidrodinamis akibat gempa bumi jarang diperhitungkan untuk stabilitas struktur bangunan karena nilainya yang kecil. Besar tekanan hidrostatis dapat dihitung sebagai berikut (KP-06, 2010):

$$P_n = l_n \times b_n \times h_n \times \gamma \quad \dots\dots\dots (3-76)$$

$$M_n = P_n \times p_n \quad \dots\dots\dots (3-77)$$

Keterangan:

- P_n = tekanan hidrostatis segmen ke- n (kg)
- l_n = panjang segmen ke- n (m)
- b_n = lebar segmen ke- n (m)
- h_n = tinggi segmen ke- n (m)
- γ = berat jenis air (1000 kg/cm³)
- M_n = momen segmen ke- n (kgm)
- p_n = jarak titik berat segmen ke- n ke titik guling (m)

3.12.4 Tekanan lumpur

Tekanan lumpur yang bekerja terhadap struktur bangunan dapat dihitung menggunakan persamaan (3-78) dan (3-79) (KP-06, 2010).

$$P_s = 0,167 \times h^2 \quad \dots\dots\dots (3-78)$$

$$M_s = P_s \times p \quad \dots\dots\dots (3-79)$$

Keterangan:

- P_s = tekanan lumpur dengan arah horisontal (kg)
- h^2 = tinggi tekanan lumpur (m)
- M_s = momen akibat tekanan lumpur (kgm)
- p = jarak vertikal titik berat lumpur dengan titik guling (m)

3.12.5 Gaya angkat (*uplift*)

Gaya angkat yang bekerja pada struktur bangunan merupakan gaya angkat dari air yang bekerja secara vertikal tegak lurus terhadap bidang tegak. Besar gaya

angkat yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan (3-80) dan (3-81) (KP-06, 2010).

$$P_n = H_n - \frac{L_n}{L} \Delta H \quad \dots\dots\dots (3-80)$$

$$M_n = P_n \times p_n \quad \dots\dots\dots (3-81)$$

Keterangan:

- P_n = tekanan uplift segmen ke- n (kg)
 H_n = tinggi antara titik ke- n dan muka air hulu (m)
 L_n = panjang jalur rembesan ke- n (m)
 L = panjang total jalur rembesan (m)
 ΔH = beda tinggi energi hulu dan hilir (m)
 M_n = momen segmen ke- n (kgm)
 p_n = jarak titik berat segmen ke- n ke titik guling (m)

3.12.6 Tekanan tanah horisontal

Tekanan tanah samping yang digunakan dalam perencanaan bangunan dihitung dengan menggunakan metode *Rankine*. Menurut metode *Rankine*, untuk menghitung tekanan tanah aktif dan pasif digunakan persamaan seperti yang terdapat pada persamaan (3-84) hingga (3-87) (KP-06, 2010).

$$E_a = 0,5 \times K_a \times \gamma \times H_1^2 - 2 \times c \times H_1 \quad \dots\dots\dots (3-84)$$

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (3-85)$$

$$E_p = 0,5 \times K_p \times \gamma \times H_2^2 - 2 \times c \times H_2 \quad \dots\dots\dots (3-86)$$

$$K_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (3-87)$$

Keterangan :

- E_a = tekanan tanah aktif (kg)
 E_p = tekanan tanah pasif (kg)
 K_a = koefisien tekanan aktif
 K_p = koefisien tekanan pasif
 γ = berat volume tanah (kg/m^3)
 H_1 = tinggi tanah aktif (m)

- H_2 = tinggi tanah pasif (m)
 c = kohesi (kg/cm^2)
 φ = sudut geser dalam ($^\circ$)

3.12.7 Kontrol stabilitas struktur

Faktor keamanan terhadap guling dapat dihitung menggunakan persamaan

(3-88) (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017):

$$SF = \frac{\Sigma Mt}{\Sigma Mg} > \text{Faktor keamanan izin} \dots\dots\dots (3-88)$$

Keterangan :

- ΣMt = total momen penyebab guling (kgm)
 ΣMg = total momen penahan guling (kgm)
 SF = faktor keamanan terhadap guling

Faktor keamanan terhadap geser dapat dihitung menggunakan persamaan

(3-89) (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017):

$$SF = \frac{f \times \Sigma V}{\Sigma H} \geq SF \text{ izin} \dots\dots\dots (3-89)$$

Keterangan :

- SF = faktor keamanan terhadap geser
 f = koefisien gelincir (0,75)
 ΣV = total gaya vertikal (kg)
 ΣH = total gaya horisontal (kg)

3.12.8 Stabilitas terhadap rembesan

Perhitungan stabilitas terhadap rembesan menggunakan metode *Lane*.

Prinsip kerja metode *Lane* adalah dengan meninjau bangunan untuk mengetahui adanya erosi bawah tanah. Metode ini membandingkan panjang jalur rembesan di bawah bangunan sepanjang bidang kontak bangunan dengan beda tinggi muka air antar kedua sisi bangunan. Jalur dengan kemiringan $\geq 45^\circ$ dianggap vertikal sedangkan jalur dengan kemiringan $< 45^\circ$ dianggap horisontal.

Dalam metode *Lane* diandaikan bahwa bidang horisontal memiliki daya tahan 3 kali lebih rendah terhadap rembesan dibandingkan dengan bidang vertikal.

Oleh karena itu, rumusnya adalah (KP-06, 2010):

$$C_L = \frac{\Sigma L_V + \frac{1}{3} \Sigma L_H}{H} \dots\dots\dots (3-90)$$

Keterangan :

- C_L = angka rembesan *Lane* (lihat Tabel 3.6)
 ΣL_V = jumlah panjang vertikal (m)
 ΣL_H = jumlah panjang horisontal (m)
 H = beda tinggi muka air (m)

Tabel 3.6 Angka Rembesan *Lane*

| Jenis Tanah | C_L |
|--|-------|
| Pasir sangat halus atau lanau | 8,5 |
| Pasir halus | 7,0 |
| Pasir sedang | 6,0 |
| Pasir kasar | 5,0 |
| Kerikil halus | 4,0 |
| Kerikil sedang | 3,5 |
| Kerikil kasar termasuk berangkal | 3,0 |
| Bongkah dengan sedikit berangkal dan kerikil | 2,5 |
| Lempung lunak | 3,0 |
| Lempung sedang | 2,0 |
| Lempung keras | 1,8 |
| Lempung sangat keras | 1,6 |

3.12.9 Daya dukung tanah bawah

Daya dukung tanah bawah terhadap pondasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus *Terzhagi* (1943) (KP-06, 2010).

$$q_{ult} = \alpha.c.N_c + z.\gamma.N_q + \beta.B. \gamma.N_\gamma \dots\dots\dots (3-91)$$

$$q_a = (q_{ult} / SF) + z.\gamma \dots\dots\dots (3-92)$$

Keterangan:

| | | |
|----------------------|---|---|
| q_{ult} | = | daya dukung ultimate untuk pondasi (ton/m^2) |
| α, β | = | koefisien bentuk pondasi (lihat Tabel 3.7) |
| c | = | kohesi tanah (ton/m^2) |
| H | = | beda tinggi muka air (m) |
| z | = | kedalaman pondasi (m) |
| γ | = | Berat volume tanah (ton/m^3) |
| B | = | lebar pondasi (m) |
| N_c, N_q, N_γ | = | Faktor kapasitas dukung Terzhagi berdasarkan nilai ϕ (lihat Tabel 3.8) |
| q_a | = | daya dukung izin (ton/m^2) |
| SF | = | faktor keamanan (2 sampai 3) |

Tabel 3.7 Koefisien Bentuk Pondasi

| Parameter | Bentuk Pondasi | | |
|-----------|----------------|--------|---------------|
| | Menerus | Bundar | Bujur Sangkar |
| α | 1,0 | 1,3 | 1,3 |
| β | 1,0 | 0,6 | 0,8 |

Tabel 3.8 Faktor Kapasitas Dukung Berdasarkan ϕ

| ϕ | N_c | N_q | N_γ | N_c' | N_q' | N_γ' |
|--------|-------|-------|------------|--------|--------|-------------|
| 0 | 5,7 | 1,0 | 0,0 | 5,7 | 1,0 | 0,0 |
| 5 | 7,3 | 1,6 | 0,5 | 6,7 | 1,4 | 0,2 |
| 10 | 9,6 | 2,7 | 1,2 | 8,0 | 1,9 | 0,5 |
| 15 | 12,9 | 4,4 | 2,5 | 9,7 | 2,7 | 0,9 |
| 20 | 17,7 | 7,4 | 5,0 | 11,8 | 3,9 | 1,7 |
| 25 | 25,1 | 12,7 | 9,7 | 14,8 | 5,6 | 3,2 |
| 30 | 37,2 | 22,5 | 19,7 | 19,0 | 8,3 | 5,7 |
| 34 | 52,6 | 36,5 | 35,0 | 23,7 | 11,7 | 9,0 |
| 35 | 57,8 | 41,4 | 42,4 | 25,2 | 12,6 | 10,1 |
| 40 | 95,7 | 81,3 | 100,4 | 34,9 | 20,5 | 18,8 |
| 45 | 172,3 | 173,3 | 297,5 | 51,2 | 35,1 | 37,7 |
| 48 | 258,3 | 287,9 | 780,1 | 66,8 | 50,5 | 60,4 |
| 50 | 347,6 | 415,1 | 1153,2 | 81,3 | 65,6 | 87,1 |