

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Umum Sungai

Sungai bisa diartikan dengan torehan dari suatu permukaan tanah yang menampung serta menyalurkan aliran air sekaligus material yang dibawanya secara alamiah dari hulu hingga menuju hilir yang ketinggiannya lebih rendah yang di akhir bermuara di laut. Secara hidrologi, fungsi utamanya sungai yaitu sebagai penampung air hujan untuk menyalurkannya menuju laut. (Soewarno, 1991)

Faktor paling penting dalam ilmu pengetahuan sungai salah satunya yakni Daerah Aliran Sungai (DAS). DAS secara konsep adalah landasan dari segala perencanaan hidrologi. DAS sendiri bisa dipahami dengan sebuah wilayah dataran dimana secara topografi terbatas dengan punggung gunung ataupun perbukitan yang menjadi penampung dan penyimpan air hujan agar selanjutnya bisa disalurkan melewati sungai utama menuju laut. Sebuah DAS besar secara mendasar terbentuk oleh beberapa DAS dengan ukuran kecil, kemudian DAS kecil tersebut terbentuk juga oleh sejumlah DAS lainnya yang berukuran jauh lebih kecil.

2.2. Definisi Banjir

Banjir yakni dimana aliran air di pada sungai tidak bisa tertampung dikarenakan terlalu besar. Banjir termasuk sebagai fenomena alam yang mengakibatkan banyak kerugian, baik kerugian dalam hal harta benda hingga korban jiwa. Banjir yang timbul di area hulu secara umum memiliki daya besar dan arus deras, namun terjadinya cukup singkat pendek. Sementara banjir yang timbul di area hilir memiliki arus yang tidak begitu deras (dikarenakan areanya landai), namun karena hal itu membuat durasinya lebih lama.

Pengendalian banjir sungai yaitu sebuah metode ataupun cara penanggulangan dengan berbagai upaya yang dilaksanakan untuk menekan pengaruh kerusakan yang diakibatkan banjir. (Oehadijono, 1993).

Secara umum pengendalian banjir mencakup aktivitas perencanaan, penyelenggaraan, serta pemeliharaan yang dimaksudkan untuk mengontrol banjir, mengatur area dataran banjir, serta mencegah ataupun mengurangi kerugian dan bahaya dikarenakan banjir.

2.3. Analisa Hidrologi

2.3.1 Curah Hujan Rencana

Sesudah memperoleh curah rata-rata hujan beragam stasiun yang terdapat pada DAS, kemudian akan dilaksanakan analisis dengan cara statistik agar diperoleh pola sebaran yang tepat, berikutnya dilaksanakan perhitungan curah hujan rencana dalam sejumlah periode ulang, dimana ini dipergunakan dalam menentukan debit banjir rencana.

a. Cara Rata-rata Aljabar

$$X_r = \frac{1}{n} + (R_1 + R_2 \dots + R_n) \dots \dots \dots (2-1)$$

Dimana :

- “R = Curah hujan daerah (mm)
 n = Banyaknya pos ataupun titik pengamatan
 R₁, R₂, ... R_n = Curah hujan pada tiap pengamatan”

b. Metode Gumbel

$$X_r = \frac{\sum x}{n} \dots \dots \dots (2-2)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (x - X_r)^2}{n-1}} \dots \dots \dots (2-3)$$

Dimana :

“X_r = X rata-rata tahunan

S_x = Simpangan baku

n = banyaknya data”

$$X_t = X_r + S_x \cdot K \dots\dots\dots(2-4)$$

Dimana :

“ X_t = Besarnya curah hujan rencana untuk periode ulang T

K = Faktor frekuensi

$$K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \dots\dots\dots(2-5)$$

Dimana :

“ Y_t = Reduced variated

Y_n = Harga rata-rata reduce variate

S_n = Reduced standard deviation”

c. Metode Distribusi Log Pearson III

Tahapan penghitungan hujan rencana dengan metode log Pearson III diantaranya :

$$\text{Log } X_r = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X)}{n} \dots\dots\dots(2-6)$$

Standar Deviasi :

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X - \text{Log } X_r)^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2-7)$$

Koefisien Kepencengan :

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X - \text{Log } X_r)^3}{(n-1)(n-2)(S_x)^3} \dots\dots\dots(2-8)$$

Curah hujan rencana :

$$\text{Log } X = \text{Log } X + G \times S_x \dots\dots\dots(2-9)$$

X = Anti Log X

Dengan:

“Log X = log curah hujan yang ingin ditentukan

Log Xr = log rerata serta curah hujan

Log Xt = log curah hujan tahun pertama

G = skewness / koefisien kepengengan”

d. Uji Kesesuaian Distribusi dengan Chi-Kuadrat (*Chi-Square test*)

Pengujian ini ditujukan sebagai penentu apakah persamaan distribusi peluang yang ditentukan mampu mewakili distribusi statistik dari data sampel yang dianalisa. Hasil dari pengujian ini mengacu pada parameter X^2 , sehingga dinamakan uji chi-kuadrat. Adapun X^2 ini bisa ditentukan melalui persamaan : (soewarno, 1995).

Banyaknya subkelompok ditentukan melalui :

$$K = 1 + 1,333 \text{ Ln} \dots \dots \dots (2-10)$$

Menentukan derajat kebebasan (dk) :

$$d_k = K - R + 1 \dots \dots \dots (2-11)$$

Dengan:

“ O_f = Banyaknya nilai pengamatan dalam sub-kelompok pertama

E_f = Banyaknya nilai teoritis dalam sub – kelompok pertama

K = Banyaknya sub – kelompok

n = Keseluruhan data”

Supaya distribusi frekuensi yang ditentukan bisa diterima, artinya $X^2 < X^2_{cr}$, harga X^2_{cr} bisa didapatkan melalui penentuan taraf signifikansi α melalui dk. Adapun prosedur dari pelaksanaan pengujian chi – kuadrat diantaranya:

- a) Mengurutkan data pengamatan
- b) Mengelompokkan data sebagai K sub-grup
- c) Menjumlahkan data pengamatan sejumlah “ O_f ” pada setiap sub grup
- d) Menjumlahkan data persamaan distribusi yang dipergunakan sejumlah E_f

- e) Menentukan $dk = G - R - 1$ (R senilai 2 bagi distribusi yang normal serta binominal, sementara itu 1 bagi distribusi poisson)

e. Uji Kesesuaian Distribusi dengan Smirnov-Kolmogorov

Uji S-K (Smirnov-Kolmogorov) yakni sebuah pengujian kesesuaian distribusi untuk penyimpangannya data secara horizontal, dengan maksud memahami apakah data termasuk sesuai atautkah tidaknya, melalui sebaran teoritis dengan jenis yang ditentukan. Uji S-K dinyatakan juga dengan pengujian kecocokan *non-parametric*, sebab pengujian di dalamnya tidak mempergunakan suatu fungsi distribusi.

Tahapan yang akan dilalui dari pengerjaan Uji S-K diantaranya (Limantara, 2018) :

1. Penghitungan peluang empiris melalui meng-*input* nomor urutnya data dari paling kecil hingga yang paling besar melalui persamaan:

$$\begin{aligned} P &= \frac{m}{n+1} \times 100\% \\ &= \frac{1}{10+1} \times 100\% \\ &= 0,091 \end{aligned}$$

2. Pencarian nilai Log melali hujan rerata.

$$\text{Log } X$$

3. Pencarian nilai G melalui:

$$G = \frac{(\text{Log } X - \text{Log } X_{\text{rerata}})}{s_i}$$

4. Penentuan harga Pr mempergunakan tabel distribusi Pearson Tipe III

5. Penghitungan nilai $P(x)$ melalui:

$$P(x) = \frac{(100 - Pr)}{100}$$

6. Penghitungan selisih dari P dan P_x melalui:

$$\Delta = [P - P_x]$$

2.3.2 Analisa Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana yakni sebuah debit sungai run-off rata-rata curah hujan dengan rentang waktu berulang yang berlangsung diatas ataupun melebihi rata-rata debit.

Penghitungan debit banjir rencana ini sesuai pada hasil analisis curah hujan rencana dalam periode ulang yang ditentukan. Penghitungan ini bisa dilaksanakan melalui tiga cara, diantaranya Metode Nakayasu, Rasional Jepang, serta Hasper. Kemudian dari ketiganya akan dipergunakan metode rasional Jepang.

a. Metode HSS Nakayasu

Pelaksanaan metode ini membutuhkan sejumlah karakteristik dari parameter daerah aliran, misalnya:

- Tenggang waktu titik berat dari hujan hingga titik berat dari hidrograf
- Tenggang waktu permulaan hujan hingga puncak dari hidrograf
- Tenggang waktu hidrograf
- Panjangnya alur sungai utama yang paling panjang
- Luas DAS
- Koefisien pengaliran

Rumus yang diterapkan untuk hidrograf satuan Nakayasu yakni:

$$Q_p = \frac{C \cdot A \cdot R_o}{3,6 \cdot (0,3 \cdot T_p + T_{0,3})}$$

Dengan:

- “ Q_p = Debit puncak banjir (m^3/det)
- R_o = Hujan satuan (mm)
- T_p = Tenggang waktu dari permulaan hujan hingga puncak banjir (jam)
- $T_{0,3}$ = Waktu penurunan debit, dari puncak hingga 30%
- A = Luas dari area pengaliran hingga outlet
- C = Koefisien pengaliran (1)”

Kemudian terkait penentuan T_p dan $T_{0,3}$ dipergunakan rumus:

$$T_p = t_g + 0,8 t_r$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g$$

$$t_r = 0,5 t_g \text{ sampai } t_g$$

t_g yakni *time lag*, berupa waktu diantara hujan hingga debit banjir puncak (jam).

t_g ditentukan melalui:

- Sungai yang panjang alurnya $L < 15$ km : $t_g = 0,21 L^{0,7}$
- Sungai yang panjang alurnya $L > 15$ km : $t_g = 0,4 + 0,058 L$

dengan :

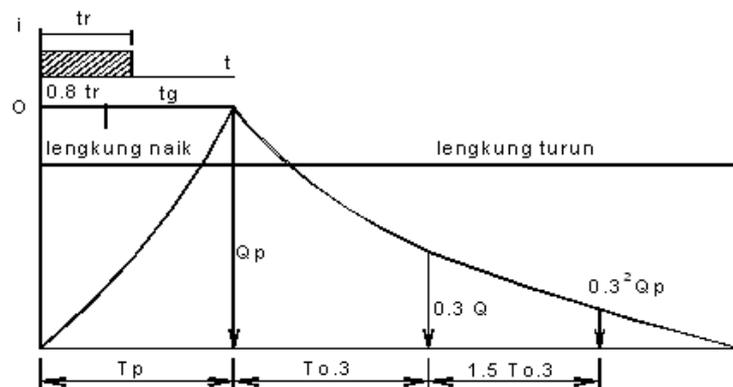
t_r = Satuan Waktu hujan (jam)

α = Parameter hidrograf, untuk

$\alpha = 2 \Rightarrow$ Untuk area pengaliran biasa

$\alpha = 1,5 \Rightarrow$ Untuk area naik hidrograf lamban, serta turun dengan cepat

$\alpha = 3 \Rightarrow$ Untuk area naik hidrograf cepat, turun lamban



Ketika naik : $0 < t < T_p$

$$Q_p = \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} Q_p$$

Dengan:

“ $Q_{(t)}$ = Limpasan sebelum menentukan debit puncak (m^3)”

t = Waktu (jam)”

Untuk kurva turun

- a. Selang nilai : $0 < t < (T_p + T_{0,3})$

$$Q(t) = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p)}{T_{0,3}}}$$

- b. Selang nilai : $(T_p + T_{0,3}) < t < (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

$$Q(t) = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p+0,5T_{0,3})}{1,5 \cdot T_{0,3}}}$$

- c. Selang nilai : $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

$$Q(t) = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p+1,5T_{0,3})}{2,0 \cdot T_{0,3}}}$$

b. Metode Rasional Jepang

Rumus yang diterapkan diantaranya :

$$Q_p = 0,278 C.I.A \dots\dots\dots(2-12)$$

Dimana :

Dengan:

“ Q_p = Debit banjir puncak (m^3/dtk)”

C = Koefisien dari aliran

I = Intensitas dari hujan dalam waktu konsentrasi (mm/jam)

A = Luas dari area pengaliran sungai”

2.4 Aplikasi HEC-RAS

Program ini mampu memberikan permodelan *steady flow* (aliran permanen) maupun *unsteady flow* (aliran tidak permanen). *HEC-RAS* ataupun *Hydrologic Engineering Center-River Analysis System* yakni sebuah paket program yang bisa dipergunakan dalam penghitungan profil muka air satu dimensi bagi aliran tidak permanen maupun aliran dengan kondisi tetap berubah lambat laun untuk saluran prismatis ataupun saluran alam (sungai).

2.5 Desain Tanggul dan Bahan Tanah Tanggul

a. Rencana Alignment Tanggul

Trase tanggul yakni sebuah garis bahu yang direncanakan di depannya tanggul. Beragam faktor krusial dari perencanaan yang harus dianalisa diantaranya:

1. Lokasi Rencana Trase
2. Arah Trase Tanggul
3. Jarak antara trase tanggul

b. Penampang Melintang Tanggul

Penampang tanggul yang melintang memiliki bentuk yang dipengaruhi bermacam faktor seperti tinggi serta seberapa lama muka air dari banjir, pondasi, elevasi lokasi/tanah yang ingin diberikan perlindungan, material yang ada untuk timbunan, harta benda yang dilindungi, serta nilai ekonomis tanah.

Sejumlah bagian utama dari tanggul yang akan direncanakan diantaranya:

1. Tinggi Jagaan

Berupa tinggi tambahan dari tanggul sebagai penampung lonjakan aliran air sungai yang terjadi, meskipun debitnya masih dibawah debit yang direncanakan.

2. Lebar Mercu Tanggul

Bagian ini dibutuhkan sebagai bagian dalam mencegah banjir, baik pencegahan tanggul bobol dikarenakan gelombang ataupun limpasan. Perencanaan mercu tanggul menyesuaikan stabilitas serta peruntukan untuk menjadi jalan inspeksi.

Tingginya jagaan standard tanggul serta mercu tanggul ditentukan melalui tabel dibawah:

Debit Banjir Rencana (m ³ /dt)	Tinggi Jagaan (m)
<200	0.6
200-500	0.8
500-2000	1.0
2000-5000	1.2
5000-10000	1.5
>10000	2.0

Sumber : Sosrodarsono, S. Masateru. T.1985

3. Kemiringan lereng tanggul

Penetapan lereng tanggul ini termasuk bagian krusial dari sebuah rencana tanggul. Kemiringan lereng secara teoritis ditinjau menyesuaikan bahan tanggul dan karakter mekanika tanah dalam kaitannya terhadap infiltrasi air yang bisa saja terjadi hingga membuat kestabilan tanggul berada dalam kategori bahaya.

4. Bahan Tanah Tanggul

Bahan pokok dalam membangun sebuah tanggul merupakan tanah, dimana karakteristik dari tanah ini menjadi faktor krusial untuk menentukan bentuk dari penampang melintang sebuah tanggul. Secara hakikat, tanah yang dianggap baik dalam perencanaan tanggul memiliki sifat pekat, kededapan yang tinggi, serta angka porinya rendah. Sehingga bisa dikatakan tanah yang meliputi campuran lempung dan pasir dalam proporsi $\pm 2/3$ lempung dan $\pm 1/3$ pasir memadai untuk dipergunakan bila ditinjau secara pelaksanaan pembangunan dan sisi mekanika tanah.

Penentu material juga menjadi penentu kualitas sebuah tanggul, tetapi sebisa mungkin mempergunakan material paling dekat untuk menekan biaya pembangunan. Kriteria nilai dan jenis tanah untuk menjadi bahan pembangunan tanggul bisa diperhatikan melalui tabel berikut :

Simbol Klasifikasi Bahan	Nama Bahan	Nilai
GW	Batuan	-
OP	Batu besar Batu ukuran Biasa	-
GW OP	Kerikil	6
GM GC	Tanah Berkerikil	1
SW SP	Pasir	5
SM SC	Tanah Pasiran	2
ML CL OL	Tanah Kohesif	3
MH CH OH	Lempung	4
Pt	Tanah Organik	7

Sumber : Sosrodarsono, S. Masateru. T.1985

2.5.1 Analisa Dimensi Hidrolis Tanggul

a. Tinggi Muka Air (h)

Untuk menentukan tinggi muka air pada sungai Konawehea dapat dilihat hasilnya dari hasil running program HEC-RAS.

b. Dimensi Tanggul

Terkait dengan penghitungan tinggi tanggul maka yang dibutuhkan yakni hasil dari analisa hidrolis yang diperoleh melalui tinggi maksimum muka air h (maks), sehingga kemudian tingginya tanggul bisa ditentukan dengan:

$$\text{Dimensi Tinggi tanggul} = \text{MAB} + \text{FB}$$

Dengan:

MAB = Muka air banjir (Elevasi dasarnya tanggul yang direncanakan + tingginya muka air rencana)

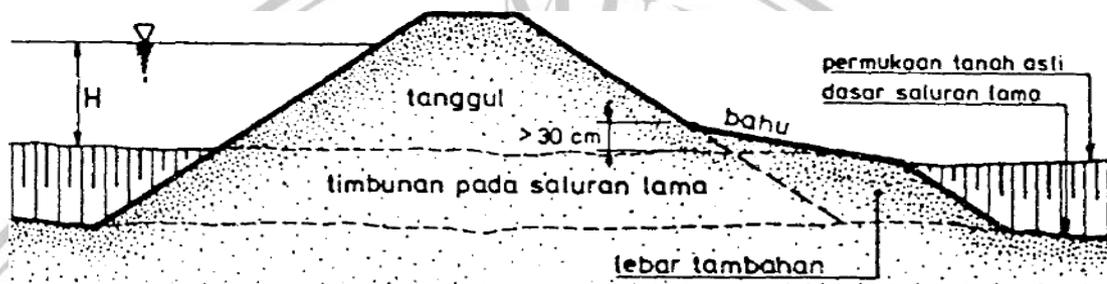
FB = Free Board ataupun tinggi jagaan dari tabel

2.6 Stabilitas Tanggul

Tanggul dengan tinggi melebihi 5 meter perlu diperiksa kestabilannya melalui metode yang tepat. Adapun metode yang direkomendasikan disampaikan

pada KP- 06-2013 Parameter Bangunan (sumber : KP 04 ; 224)

Bila tanggul terkait adalah saluran lama berarti dasarnya tanggul tersebut perlu dilebarkan di sisi samping luar. Tambahan Lebar ini setidaknya sama terhadap tingginya tanggul (h) diatas elevasi asli tanah. Sisi atas yang dilebarkan direkomendasikan $\geq 0,3$ m diatas elevasi asli tanah dengan kemiringan cukup supaya air bisa melimpas. Kemiringan dari tambahan timbunan harus lebih lebih curam dibanding kemiringan aslinya (sumber : KP 04 ; 224).



Gambar 2.1 Dasar yang Diperlebar pada Lintasan Saluran

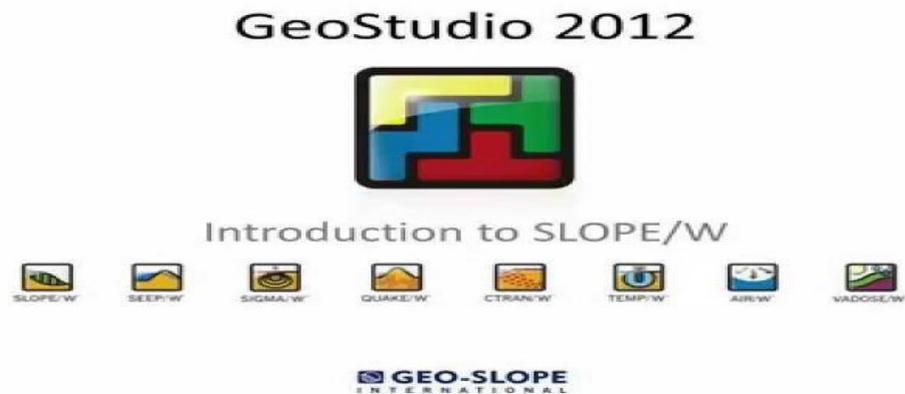
Sumber : Kementerian PUPR, 2013

Bila lebar atas dari tanggul sempit/kecil, artinya *berm* (bahu) dari tambahan diharuskan memiliki lebar yang cukup sebagai jalur untuk melaksanakan pemeliharaan saat muka airnya kritis. Hal ini perlu diberikan pada seluruh potongan bila sisi atas dari tanggul tidak dipergunakan menjadi jalur pemeliharaan (sumber : KP 04 ; 225).

2.6.1 Stabilitas Lereng Dengan Software Geoslope

Kemudian untuk mengetahui sekaligus menghitung kestabilan lereng rencana, diperlukan sebuah pemodelan mempergunakan software ataupun aplikasi. Ada bermacam aplikasi yang bisa dipergunakan untuk menentukan stabilitas lereng, yang dalam hal ini akan dipergunakan Geoslope.

GeoSlope yakni sebuah perangkat lunak ataupun aplikasi yang bisa menuntaskan bermacam permasalahan dari suatu perencanaan, khususnya yang berkaitan pada pertanahan.



Gambar 2.2 GeoStudio 2012

2.6.2 Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah bisa ditentukan melalui rumus Terzaghi, (sumber : Mekanika Tanah 2- Braja M.Das, Noor Endah, Indrasurya B. Mochtar, : 122)

$$q_{ult} = c N_c + q N_q + \gamma \cdot B N_\gamma \dots\dots\dots (2.1)$$

keterangan :

- “ q_{ult} = daya dukung tanah (Kn/m²)
- c = kohesi, tegangan kohesif (Kn/m²)
- N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung tanah
- γ = berat volume tanah (Kn/m³)
- B = lebar telapak pondasi (m)”

Ber macam daftar harga dari S_c maupun S_γ menyesuaikan bentuk pondasi melintang bisa diperhatikan dibawah :

Tabel 2. 1 Daftar Harga S_c dan S_γ Bentuk Potongan Melintang Pondasi

Parameter	Bentuk pondasi		
	Menerus	Bundar	Bujur sangkar
S_c	1,0	1,3	1,3
S_γ	1,0	0,6	0,8

(Sumber : Analisa dan desain pondasi KP-06 Parameter Bangunan)

Tabel 2. 2 Faktor-faktor Daya Dukung untuk Terzaghi

ϕ (°)	N_c	N_q	N_{γ}	K_{py}
0	5,7 ^t	1,0	0,0	10,8
5	7,3	1,6	0,5	12,2
10	9,6	2,7	1,2	14,7
15	12,9	4,4	2,5	18,6
20	17,7	7,4	5,0	25,0
25	25,1	12,7	9,7	35,0
30	37,2	22,5	18,7	52,0
34		36,5	36,0	
35	52,6	41,4	42,4	82,0
40	95,7	81,3	100,4	141,0
45	172,3	173,3	297,5	298,0
48	258,3	287,9	780,9	
50	347,5	415,1	1153,2	800,0

(Sumber : KP 6 ; 33)

Daya dukung dalam persamaan terzaghi (N_{γ} untuk ϕ sejumlah 34° serta 48° merupakan nilai Terzaghi asli dalam penghitungan k_{py} (sumber KP 06;33)

Tabel 2.3 Harga-harga Perkiraan Daya Dukung Izin

Jenis	Daya dukung	
	kN/m ²	Kgf/cm ²
1. batu sangat keras	10.000	100
2. batu kapur /batu pasir keras	4.000	40
3. kerikil berkerapatan sedang atau pasir dan kerikil	200-600	2 – 6
4. Pasir berkerapatan sedang	100- 300	1 – 3
5. lempung kenyal	150- 300	1,5 – 3
6. lempung teguh	75 - 150	0,75 –
7. lempung lunak dan lanau	< 75	1,5 < 0,75

(sumber : KP 6 ; 31)

2.6.3 Kontrol Terhadap *Piping*

Rembesan yang terdapat di badan bendungan, tumpuan, pondasi, maupun bukit/tepiian waduk perlu dikendalikan, untuk menghindari *uplift* (gaya angkat) berlebih, longoran, ketidakstabilan, hanyutnya material dikarenakan pelarutan, aliran buluh, ataupun erosi material/internal yang dibawa oleh aliran rembesan dari rongga, kekar, maupuna rekahan. Dinding/tebing di sekelilingnya waduk harus

memiliki stabilitas yang baik bisa segala keadaan operasional, untuk menghindari ketidakstabilan dari dinding tipis di sekelilingnya waduk. Situasi ini bisa menyebabkan sebuah longsoran yang besar memasuki waduk ketika *impounding* (pengisian) waduk sebagai pemicu gelombang besar yang bisa membuat air meluap. Keamanannya urugan bendungan untuk piping bisa ditentukan dengan :

(sumber : Modul 12 analisa stabilitas bendungan perhitungan rembesan , pusat pendidikan dan peletahian sumber daya air dan konstruksi (2017) ; 62-63)

$$FK = \frac{Ic}{Ie} \geq 4 \dots\dots\dots(2.2)$$

$$Ic = \frac{\gamma}{\gamma_w} = \frac{Gs-1}{1+e} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan:

“FK = faktor keamanan (tanpa dimensi) = 4,00

Ic = gradient keluaran kritis (tanpa dimensi)

Ie = gradient keluaran hasil analisis rembesan ataupun pembacaan instrumen pisometer (tanpa dimensi)

γ = berat volume efektif (terendam) (t/m³)

γ_w = berat volume air (t/m³)

Gs = gravity spesifik (tanpa dimensi)

e = angka pori”

2.6.4 Kontrol Terhadap Rembesan

Henry Darcy selaku ahli hidraulika Perancis, di tahun 1856 menyelenggarakan sebuah percobaan terkait aliran air yang melewati tanah. Adapun aliran air yang terjadi kecepatannya sangat kecil, sehingga aliran ini dinyatakan dengan aliran laminer. Darcy mendapati kecepatan dari aliran yang keluar maupun masuk di lapisan tanah sama terhadap gradien hidraulik.

Sejumlah hal yang harus digarisbawahi dalam hukum darcy ini diantaranya :

- Kecepatan aliran V_d yakni kecepatan dari aliran fluida yang diartikan dengan jumlah kotor dari aliran yang melewati penampang masa tanah dengan satuan waktu yang ditentukan. Kemudian dikarenakan alirannya terjadi hanya melewati pori-pori tanah, maka aliran air riil ataupun V_s (kecepatan rembesan) dari sebuah molekul tunggal dari air yang melewati alur unik pori-pori tanah lebih tinggi dibanding kecepatan debit.
- Secara kasar kecepatan rembesan setara terhadap kecepatan debit bila dibagi porositas tanah.
- Hukum Darcy diberlakukan hanya bagi aliran laminar (aliran yang dekat, lurus dan saling sejajar, dengan kecepatan aliran V_d yakni proporsional terhadap gradien hidraulik, i). Hukum ini bisa diterapkan untuk sebagian besar tanah, namun aliran yang melewati kerikil kasar serta bukaan pada bebatuan berkemungkinan menjadi turbulen serta V_d proporsional melalui akar kuadrat i .
- Terdapat batasan pada Hukum Darcy untuk aliran air yang melewati material jenuh. Aliran yang melewati material tidak jenuh berada di keadaan “transient” yang bergantung dengan waktu.
- Hukum Darcy dianggap tidak tepat untuk diterapkan terhadap aliran yang melewati rekahan ataupun retakan di tanah ataupun batuan.

Seluruh metode analisis didasarkan dilandaskan terhadap persamaan darcy yakni :

(sumber : Modul 12 analisa stabilitas bendungan perhitungan rembesan , pusat pendidikan dan peletahian sumber daya air dan konstruksi (2017) ; 62-63).

$$q = K I A \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

q = debit rembesan (m^3/s)

I = gradient hidraulik (tanpa dimensi)

A = luas dari potongan yang ditinjau (m^2)

K = koefisien permeabilitas (m/s)”