

PERENCANAAN REHABILITASI TANGGUL PENAHAN BANJIR SUNGAI WAY SEPUTIH KECAMATAN SEPUTIH SURABAYA KABUPATEN LAMPUNG TENGAH PROVINSI LAMPUNG

Ahmad Safi'i¹, Eri Prawati², Yusuf Amran³

Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro Lampung
Jl.Ki Hajar Dewantara No.166 Kota Metro Lampung 34111, Indonesia
Email : Syafiiahmad1194@gmail.com¹, eriprawati@gmail.com²,
yusufamran@yahoo.com³

ABSTRAK

Pada akhir bulan Februari 2018, terjadi banjir yang cukup besar di daerah Irigasi Rawa Seputih Surabaya, banjir ini diakibatkan curah hujan yang tinggi yang mengakibatkan sungai way seputih tidak mampu menampung debit banjir tersebut, akibatnya tanggul penahan banjir berfungsi untuk melindungi lahan persawahan rawa tersebut dari luapan sungai way seputih tidak mampu menahan debit banjir tersebut, yang mengakibatkan tanggul penahan banjir jebol di beberapa titik. Penelitian ini bertujuan untuk merehabilitasi tanggul penahan banjir yang mampu menahan debit banjir yang akan terjadi pada periode ulang tertentu, dan menentukan faktor keamanan pada lereng tanggul yang direncanakan.

Hasil perhitungan debit banjir rancangan pada daerah irigasi rawa seputih surabaya didapatkan debit banjir rancangan dengan kala ulang 2 tahun adalah 3272,96 m³/det, kala ulang 5 tahun adalah 3917,26 m³/det, kala ulang 10 tahun adalah 4267,30 m³/det, kala ulang 25 tahun adalah 4744,08 m³/det, kala ulang 50 tahun adalah 5095,09 m³/det, kala ulang 100 tahun adalah 5434,40 m³/det. Penelitian ini menggunakan debit banjir dengan kala ulang 5 tahun, sehingga didapatkan tinggi jagaan untuk tanggul adalah 1,2 m, lebar mercu tanggul 5 m, tinggi tanggul 6,4 m. Untuk menghitung faktor keamanan lereng menggunakan data pengujian tanah di lokasi penelitian didapatkan nilai faktor keamanan (FK) yaitu sebesar 2,902 > 1,5 hal itu menunjukkan bahwa tanggul stabil dan aman terhadap potensi kelongsoran. Berdasarkan perhitungan debit rembesan didapatkan debit rembesan pada tubuh tanggul sebesar = 3,128 x 10⁻⁷ m³/det.

Kata Kunci : *Sungai, Debit, Banjir, Tanggul, Stabilitas Tanggul.*

PENDAHULUAN

Banjir merupakan suatu fenomena alam yang sering terjadi, baik yang disebabkan oleh luapan air maupun karena kurangnya sarana penampung kelebihan air lainnya. Pengaliran air dari berbagai sumber yang terhambat ataupun terganggu dapat menimbulkan genangan pada tempat-tempat potensial, seperti permukiman, areal pertanian atau sarana prasarana perhubungan. Genangan yang

cukup lama akan memberikan dampak merugikan bagi hampir semua bentuk kehidupan.

Sungai Way Seputih berada di Kabupaten Lampung Tengah yang aliran sungainya melalui daerah Irigasi Rawa di Kecamatan Seputih Surabaya. Namun pada saat musim hujan, sungai ini sering meluap. Pada akhir bulan Februari 2018, terjadi banjir yang cukup besar di daerah Irigasi Rawa Seputih Surabaya, banjir ini diakibatkan curah hujan yang tinggi yang

mengakibatkan sungai Way Seputih tidak mampu menampung debit air banjir tersebut, akibatnya tanggul penahan banjir yang panjangnya ± 14,1 km yang berfungsi untuk melindungi lahan persawahan rawa tersebut dari luapan sungai way seputih tidak mampu menahan debit banjir tersebut, yang mengakibatkan tanggul penahan banjir jebol di beberapa titik. Akibatnya banyak petani yang mengalami kerugian dan gagal panen karna lahan persawahan mereka terendam banjir. Luapan ini juga mengakibatkan tanggul penahan banjir sungai way seputih daerah Irigasi Rawa Seputih Surabaya mengalami penggerusan dan longoran.

Agar tanggul yang direncanakan dapat menahan debit banjir dan dapat melindungi lahan pertanian masyarakat dari banjir sungai Way Seputih, pembangunan sebuah tanggul penahan banjir sungai sangat dibutuhkan bagi kawasan daerah yang sering terjadi banjir. Dalam sebuah perencanaan pembangunan tanggul sungai khususnya bangunan fisik tubuh tanggul, dibutuhkan perhitungan-perhitungan yang menentukan kestabilan tanggul sungai yang salah satu parameternya didasarkan pada pertimbangan terhadap kestabilan lereng tanggul terhadap berbagai kondisi agar umur dan kekuatan bangunan tanggul yang direncanakan aman dan sesuai dengan perencanaan yang telah diperhitungkan.

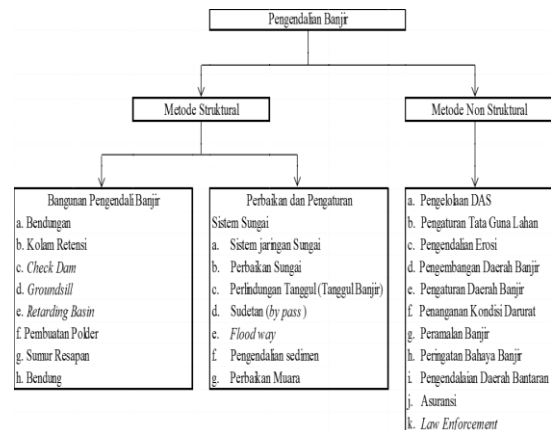
TINJAUAN PUSTAKA

Sungai atau saluran terbuka menurut Triatmodjo (2003:103) adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas.

Banjir

Banjir adalah suatu kondisi dimana tidak tertampungnya air dalam saluran pembuang (kali) atau terhambatnya aliran air di dalam saluran pembuang.

(Suripin, "Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan").



Gambar 1. Pengendalian Banjir Metode Struktur & Non-Struktur.

Analisis Hidrologi

1. Presipitasi
2. Pengukuran Hujan
3. Penentuan Hujan Kawasan
 - a. Metode rerata aritmatika (aljabar)
 - b. Metode Thiessen
 - c. Metode Isohyet

Tabel 1. Faktor-Faktor Penentu Metode Perhitungan Hujan Kawasan

Metode	Jaringan pos penakar hujan	Luas DAS	Topografi DAS
Metode aljabar	Jumlah pos terbatas	DAS kecil (< 500 km ²)	Pegunungan
Metode Thiessen	Jumlah pos cukup	DAS sedang (500-5000 km ²)	Dataran
Metode isohyet	Jumlah pos cukup	DAS besar (> 5000)	Berbukit dan tidak beraturan

Sumber : Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan, Suripin, 2004

4. Analisis Frekuensi dan Distribusi Probabilitas

Terdapat beberapa parameter yang digunakan dalam analisis frekuensi, yaitu sebagai berikut:

- 1) Nilai Rata-rata (\bar{x})

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

\bar{x} = Curah hujan rata-rata (mm)

n = jumlah data

x_i = curah hujan di stasiun hujan ke-i (mm)

2) Simpangan baku (S)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

S = Simpangan baku (standar deviasi)

3) Koefisien variasi (C_v)

$$C_v = \frac{s}{\bar{x}}$$

C_v = Koefisien variasi

4) Koefisien Kemencengan (C_s)

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)s^3}$$

C_s = Koefisien kemencengan

5) Koefisien Kurtosis (C_k)

$$C_k = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)(n-4)s^4}$$

C_k = Koefisien kurtosis

Beberapa distribusi probabilitas kontinu yang sering di gunakan :

a. Distribusi Normal

$$X_T = \bar{X} + K_T S$$

X_T = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T

\bar{X} = Nilai rata-rata hitung variat

S = Deviasi standar nilai variat

K_T = Faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode

b. Distribusi Log Normal

$$Y_T = \bar{Y} + K_T S$$

Y_T = Perkiraan nilai yang terjadi dengan periode ulang T-tahun

\bar{Y} = Nilai rata-rata hitung variat

c. Distribusi Log Pearson Tipe III

1) X = log X

$$2) \text{Log } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log x_i}{n}$$

$$3) S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\log x_i - \log \bar{x})^2}{n-1} \right]^{0.5}$$

$$4) C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log x_i - \log \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)s^3}$$

5) Log X_T = log \bar{x} + K.s

d. Distribusi Gumbel

$$X = \bar{X} + S.K$$

\bar{X} = Harga rata-rata sampel

S = Standar deviasi

$$K = \frac{Y_T - Y_n}{S_n}$$

Y_n = Reduced mean

S_n = Reduced standard deviation

Y_t = Reduced variate

$$Y_T = -\ln - \frac{T-1}{T}$$

Tabel 2. Reduced Mean, Y_n

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,507	0,51	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,522
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,532	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,538	0,5388	0,8396	0,5403	0,541	0,5418	0,5424	0,5436
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,553	0,5533	0,5535	0,5538	0,554	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,555	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,557	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,558	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,56	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,561	0,5611

Sumber : Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan, Suripin, 2004

Tabel 3. Reduced Standard Deviation, S_n

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,108
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,148	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,159
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,177	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,189	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,193
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,198	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,202	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,206
100	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,209	1,2093	1,2096

Sumber : Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan, Suripin, 2004

Tabel 4. Reduced Variate, Y_T Sebagai Fungsi Periode Ulang

Periode Ulang, Tr (tahun)	Reduced Variate Y _r	Periode Ulang	Reduced Variate Y _r
2	0,3668	100	4,6012
5	1,5004	200	5,2969
10	2,251	250	5,5206
20	2,9709	500	6,2149
25	3,1993	1000	6,9087
50	3,9028	5000	8,5188
75	4,3117	10000	9,2121

Sumber : Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan, Suripin, 2004

5. Uji Kecocokan

1) Uji Chi-Square

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f}$$

X² = Harga Chi-Square terhitung

O_f = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke - i

E_f = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-i

n = Jumlah sub kelompok

Adapun prosedur Uji *Chi-Square* adalah sebagai berikut :

- Urutan data pengamatan
- Kelompokan data menjadi n sub
- Jumlah data pengamatan sebesar O_f tiap-tiap sub kelompok.
- Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_f .
- Pada tiap-tiap sub kelompok hitung nilai :
 $(O_f - E_f)^2$ dan $\frac{(O_f - E_f)^2}{E_f}$
- Jumlah seluruh n sub kelompok nilai $\frac{(O_f - E_f)^2}{E_f}$ untuk menentukan nilai *Chi-Square* hitung.
- Tentukan derajat kebebasan $Dk = G - R - 1$ (nilai $R = 2$ untuk distribusi normal dan binominal)

Adapun interpretasi hasil uji adalah sebagai berikut :

- Apabila peluang lebih dari 5%, persamaan distribusi dapat diterima.
 - Apabila peluang kurang dari 1%, persamaan distribusi tidak dapat diterima.
 - Apabila peluang berada diantara 1-5 % , tidak mungkin mengambil keputusan.
- Curah Hujan Maksimum Harian Rata-rata
 - Analisis Debit Banjir Rancangan

$$R_T = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3}$$

R_T = Intensitas hujan rata-rata dalam T (mm/jam)

R_{24} = Curah hujan maksimum harian selama 24 jam (mm)

t = Waktu hujan

Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu

$$Q_p = \frac{CA \cdot R_0}{3,6 (0,3 \times T_p + T_{0,3})}$$

$$T_p = t_g + 0,8 \cdot T_r$$

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

$$T_r = 0,75 \times t_g$$

$$T_g = 0,4 + 0,058 \times L, \text{ untuk } L > 15 \text{ km}$$

$$T_g = 0,2 \times L^{0,7}, \text{ untuk } L < 15 \text{ km}$$

Q_p = Debit puncak banjir (m^3/det)

CA = Luas DAS (km^2)

R_0 = Hujan satuan = 1 mm

T_p = Waktu puncak (jam)

α = Koefisien, nilainya 1,5–3,0

$T_{0,3}$ = Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari puncak sampai 30 % dari debit puncak.

T_g = *Time lag*, waktu antara hujan sampai debit puncak banjir (jam)

T_r = Durasi hujan (jam)

Q_t = Debit pada saat t jam (m^3/det)

Lengkung Hidrograf Nakayasu :

1) Bagian lengkung naik : ($0 \leq t \leq T_p$), $Q_t = Q_p \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4}$

2) Bagian lengkung turun

a. ($T_p \leq t \leq T_{0,3}$)

$$Q_t = Q_p \cdot 0,3 \left[\frac{t - T_p}{T_{0,3}}\right]$$

b. Jika, ($T_{0,3} \leq t \leq 1,5 T_{0,3}$)

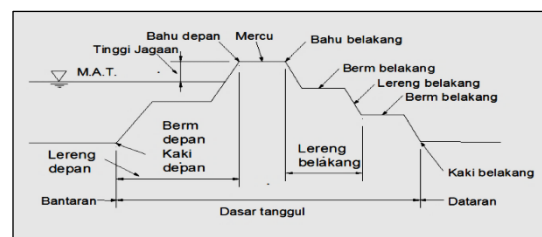
$$Q_t = Q_p \cdot 0,3 \left[\frac{t - T_p + 0,5 T_{0,3}}{1,5 T_{0,3}}\right]$$

c. Jika, ($t \leq 1,5 T_{0,3}$)

$$Q_t = Q_p \cdot 0,3 \left[\frac{t - T_p + 1,5 T_{0,3}}{2 \cdot T_{0,3}}\right]$$

Perencanaan Tanggul

- Jenis-jenis tanggul
 - Tanggul utama
 - Tanggul skunder
 - Tanggul terbuka
 - Tanggul pemisah
 - Tanggul melingkar
 - Tanggul sirip
 - Tanggul pengarah
- Bentuk Tipikal Penampang Melintang Tanggul



Gambar 2. Bagian Tanggul

a. Tinggi jagaan (*Freeboard*)

Tabel 5. Tinggi Jagaan Tanggul

Debit Banjir Rencana (m ³ /detik)	Tinggi Jagaan (m)
< 200	0,6
200 - 500	0,8
500 - 2.000	1
2.000 - 5.000	1,2
5.000 - 10.000	1,5
>10.000	2

Sumber : Sorodarsono (1994:87)

b. Lebar mercu tanggul

Tabel 6. Lebar standar mercu tanggul

No	Debit Banjir Rencana (m ³ /det)	Lebar Mercu (m)
1	Kurang dari 200	2
2	200-500	3
3	500-2000	4
4	2000-5000	5
5	5000-10000	6
6	10000 atau lebih	7

Sumber : Sosrodarsono (1994:88)

Analisis Stabilitas Lereng

$$Fk = \frac{\tau}{\tau_d}$$

τ = Tahanan geser maksimum

τ_d = Tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor

FK = Faktor Keamanan

$$\tau_d = c_d + \sigma \log \phi_d$$

Dengan c_d dan ϕ_d adalah kohesi dan sudut gesek dalam yang terjadi untuk keseimbangan pada bidang longornya.

$$FK = \frac{C + \sigma \tan \phi}{C + \sigma \tan \phi_d}$$

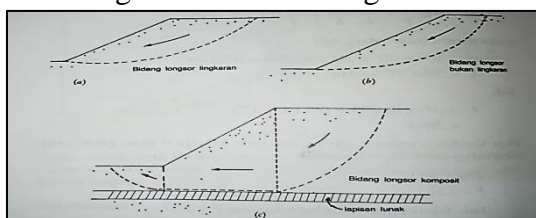
$$c_d + \sigma \tan \phi_d = \frac{c}{F} + \sigma \frac{\tan \phi}{F}$$

$$F_c = \frac{c}{c_d}, F_\phi = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_d}$$

Tabel 7. Tingkat Nilai Faktor Keamanan (FK)

FK	Keterangan
>1,5	Stabil
1,5	Kritis
< 1,5	Labil

1. Analisis Stabilitas dengan Bidang Longsor Berbentuk Lingkaran



Gambar 3. Bentuk – Bentuk Bidang Longsor Pada Lereng

a. Analisis Stabilitas Lereng Tanah Kohesif

$$FK = \frac{\sum M_r}{\sum M_d} = \frac{RcL_{AC}}{Wy}$$

FK = Faktor keamanan

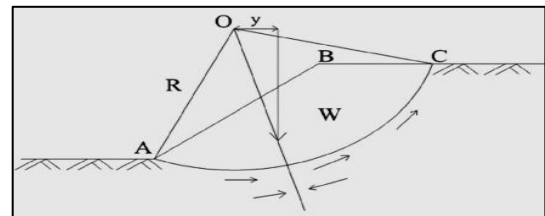
W = Berat tanah yang akan longor

L_{AC} = Panjang lengkungan (m)

c = Kohesi (kN/m²)

R = Jari-jari lingkaran bidang longor yang ditinjau (m)

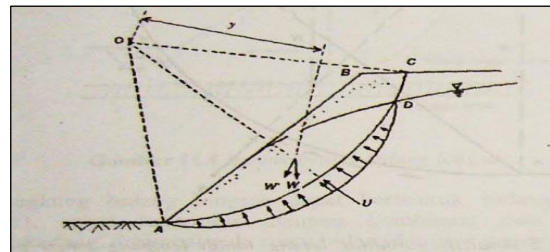
y = Jarak pusat berat W terhadap o (m)



Gambar 4. Analisis Stabilitas Lereng Tanah Lempung Tanpa Rembesan

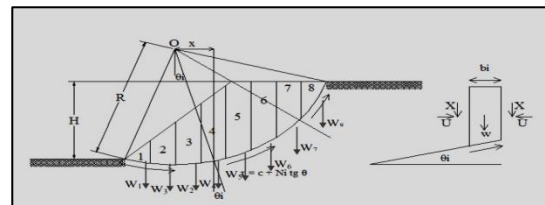
$$FK = \frac{RcL_{AC}}{W''y}$$

W'' = berat massa tanah efektif



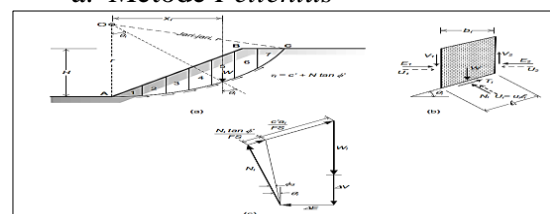
Gambar 5. Analisis Stabilitas Lereng Tanah Lempung Dengan Rembesan

2. Metode Irisan (*Method of slice*)



Gambar 6. Gaya-Gaya Yang Pada Tiap Pias Bidang Longsor

a. Metode *Fellenius*



Gambar 7. Gaya –Gaya Yang Bekerja Pada Irisan

$$FK = \frac{\sum M_r}{\sum M_d}$$

$$\sum M_d = R \sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i$$

n = Jumlah irisan
 W_i = Berat massa tanah irisan ke-i
 θ_i = sudut

$$\sum M_r = R \sum_{i=1}^{i=n} (c a_i + w_i \cos \theta \tan \varphi)$$

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (C. \Delta L + W_i \cos \theta \tan \varphi)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta}$$

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (C. \Delta L + (W_i \cos \theta - U_n \cdot \Delta L) \tan \varphi)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta}$$

φ = Sudut geser dalam tanah (derajat)
 $\Delta L = b / \cos \alpha$ (m)
 U_n = Tekanan air pori pada pias ke -n

b. Metode Bishop –Disederhanakan

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^n (c' b_i + w_i \tan \varphi') \frac{1}{(\cos \theta_i + \frac{\tan \theta' \sin \theta_i}{FS})}}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i}$$

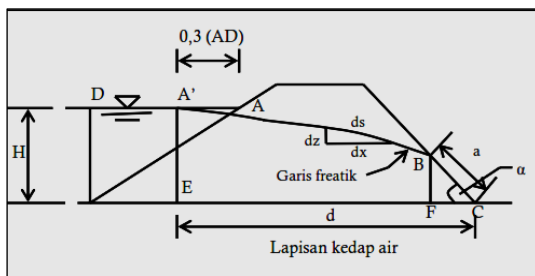
Debit Rembesan

1. Cara A. *Cassagrande*

$$q = k a \sin^2 \alpha$$

$$a = \sqrt{(d^2 + H^2)} - \sqrt{d^2 + H^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha}$$

q = Debit rembesan (m²/det)
 k = Koefisien permeabilitas (m/det)
 α = Sudut hilir tanggul
 d = Jarak horisontal antara E dan C (m)
 a = Panjang zona basah (m)
 H = Tinggi muka air (m)

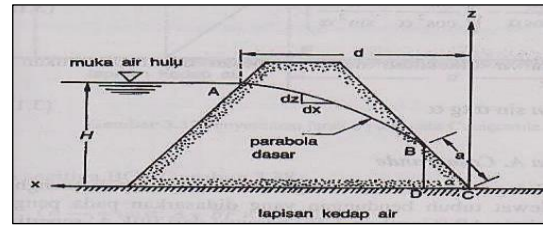


Gambar 8. Hitungan Rembesan Cara *Casagrande*

2. Cara *Schaffernak*

$$q = k a \sin \alpha \operatorname{tg} \alpha$$

$$a = \frac{d}{\cos \alpha} - \sqrt{\left(\frac{d^2}{\cos^2 \alpha} - \frac{H^2}{\sin^2 \alpha} \right)}$$



Gambar 9. Hitungan Rembesan Cara *Schaffernak*.

METODE PENELITIAN

Data Primer

1. Kondisi *ekisting* tanggul
2. Data pengujian tanah sebagai material timbunan tanggul
 - a. Nilai Kohesi tanah (c)
 - b. Nilai Berat volume tanah (γ)
 - c. Nilai Sudut geser dalam tanah (φ)
 - d. Nilai Koefisien permeabilitas tanah (k)
3. Tinggi muka air banjir pada bulan Februari 2018

Data Sekunder

1. Peta situasi Daerah Irigasi Rawa Seputih Surabaya
2. Peta Daerah Aliran Sungai (DAS) SWS Seputih –Sekampung.
3. Data curah hujan harian yang diambil dari 2 (dua) stasiun pos hujan yang berpengaruh pada lokasi penelitian selama 10 tahun dari tahun

Langkah Perencanaan Penelitian

1. Survei lokasi penelitian untuk mendapatkan data-data primer.
2. Mengambil sampel tanah pada lokasi penelitian
3. Melakukan pengujian tanah.
4. Data sekunder.
5. Merencanakan Rehabilitasi Tanggul Penahan Banjir yang didesain mampu menahan debit banjir yang berasal dari luapan air sungai Way Seputih.

Tahapan Pengujian Tanah di Laboratorium

1. Pengujian Kadar Air Tanah
2. Pengujian Berat Volume Tanah

3. Pengujian Berat Jenis (*Spesific Gravity Test*)
4. Uji Geser Langsung (*Direct Shear Test*)
5. Pengujian Batas Plastis dan Batas Cair
6. Pengujian Pemadatan Tanah Standar
7. Pengujian Permeabilitas Tanah (*Permeability Test*)

$$C_v = \frac{s}{\bar{x}} = \frac{25,73}{120,67} = 0,21$$

$$C_s = \frac{10(96742)}{(10-1)(10-2)25,77^3} = 0,785$$

$$C_k = \frac{10^2(10892551)}{(10-1)(10-2)(n-3)25,77^4} = 4,90$$

- a) Distribusi Normal
 Nilai Rata-rata (\bar{X}) = 120,67mm
 Simpangan Baku (S) = 25,77
 Faktor Frekuensi (K_T) = 0 (untuk periode ulang 2 tahun)

Analisis Hasil Penelitian

1. Analisis Curah Hujan
2. Analisis Frekuensi
3. Melakukan Uji kecocokan
4. Menghitung Debit Banjir Rancangan
5. Menentukan Dimensi Tanggul Penahan Banjir
6. Perhitungan Stabilitas Lereng Tanggul
7. Menghitung Debit Rembesan pada Tubuh Tanggul
8. Membuat Gambar Rencana Tanggul Penahan Banjir

Tabel 10. Nilai Variabel Reduksi Gauss

Periode ulang, T (tahun)	Faktor frekuensi (K_T)
2	0
5	0,84
10	1,28
25	1,7
50	2,05
100	2,33

Sumber: Suripin, 2004

$$X_T = 120,67 + (0 \times 25,77) = 120,670 \text{ mm}$$

(untuk periode ulang 2 tahun)

Tabel 11. Curah hujan rancangan dengan metode distribusi Normal

Periode Ulang Tahun (T)	Faktor Frekuensi (K_T)	Hujan Rencana (mm) (X_T)
2	0	120,67
5	0,84	142,317
10	1,28	153,656
25	1,7	164,479
50	2,05	173,499
100	2,33	180,714

Sumber: Hasil Perhitungan

HASIL PENELITIAN

Analisis Hidrologi

1. Analisis Curah Hujan

Tabel 8. Curah hujan harian Maksimum

No	Tahun	Stasiun		Curah Hujan Maksimum (mm)
		Rumbia	Sep. Surabaya	
1	2009	81,5	40	81,5
2	2010	123,5	45	123,5
3	2011	106	42	106
4	2012	110	110	110
5	2013	123	77	123
6	2014	103	102	103
7	2015	173,5	134	173,5
8	2016	130,2	112	130,2
9	2017	104	108	108
10	2018	148	82,5	148

Sumber: Hasil Perhitungan

2. Analisis Frekuensi

Tabel 9. Perhitungan Parameter Statistik Untuk Distribusi Normal dan Gumbel

No	Tahun	X_i (mm)	$(X_i - \bar{X}_t)$	$(X_i - \bar{X}_t)^2$	$(X_i - \bar{X}_t)^3$	$(X_i - \bar{X}_t)^4$
1	2009	81,5	-39	1534	-60098	2354042
2	2010	123,5	3	8	23	64
3	2011	106	-15	215	-3157	46315
4	2012	110	-11	114	-1215	12962
5	2013	123	2	5	13	29
6	2014	103	-18	312	-5517	97487
7	2015	173,5	53	2791	147449	7789731
8	2016	130,2	10	91	866	8248
9	2017	108	-13	161	-2034	25770
10	2018	148	27	747	20414	557903
Jumlah(Σ)		1206,7	0	5978	96742	10892551
Rata-rata (\bar{X}_t)		120,67	0	598	9674	1089255
S		25,77				
n		10				

Sumber: Hasil Perhitungan

- b) Distribusi Gumbel
 Nilai Rata-rata (\bar{X}) = 120,67 mm
 Simpangan Baku (S) = 25,77
 $Y_n = 0,4952$
 $S_n = 0,9497$
 $Y_t = 0,3065$ (periode ulang 2 tahun)

Tabel 12. Nilai Reduced Variate (Y_t)

Periode Ulang T (tahun)	Y_t
2	0,3065
5	1,4999
10	2,2504
20	3,1255
50	3,9019
100	4,6001

Sumber: Soemarto, CD (1987)

$$K_{(2)} = \frac{0,3065 - 0,4952}{0,9497} = -0,215 \text{ mm}$$

(untuk periode ulang 2 tahun)

$$X_T = 120,67 + (25,77 \times (-0,215)) = 115,13 \text{ mm}$$

Tabel 13. Curah Hujan Rencana Dengan Metode Distribusi *Gumbel*

Periode Ulang T (tahun)	Y_T	Faktor Frekuensi (K_T)	Hujan Rencana mm (X_T)
2	0,3065	-0,215	115,13
5	1,4999	0,978	145,89
10	2,2504	1,729	165,23
25	3,1255	2,604	187,78
50	3,9019	3,38	207,78
100	4,6001	4,079	225,78

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 14. Perhitungan Parameter Statistik Distribusi *Log Normal* dan *Log Pearson Tipe III*

No	Tahun	X_i (mm)	$\log X_i$	$(\log X_i - \log \bar{X})^2$	$(\log X_i - \log \bar{X})^3$	$(\log X_i - \log \bar{X})^4$
1	2009	81,5	1,91	0,0262	-0,0042	0,0007
2	2010	123,5	2,09	0,0003	0	0
3	2011	106	2,03	0,0023	-0,0001	0
4	2012	110	2,04	0,001	0	0
5	2013	123	2,09	0,0003	0	0
6	2014	103	2,01	0,0036	-0,0002	0
7	2015	173,5	2,24	0,0277	0,0046	0,0008
8	2016	130,2	2,11	0,0017	0,0001	0
9	2017	108	2,03	0,0016	-0,0001	0
10	2018	148	2,17	0,0095	0,0009	0,0001
Jumlah (Σ)		1206,7	20,73	0,0741	0,0009	0,0016
Rerata (\bar{X})		120,67	2,073			
S			0,091			

Sumber : Perhitungan

- $C_v = 0,04$, $C_s = 0,166$, $C_k = 4,630$

c) Distribusi *Log Normal*

$\log \bar{X} = 2,073$ mm

$S \log X = 0,091$

$K_T = 0,84$ (untuk periode ulang 5 tahun)

$\log X_T = 2,1494$

$X_T = 10^{2,149} = 141,07$ mm (untuk periode ulang 5 tahun)

Tabel 16. Curah Hujan Rancangan Metode Distribusi *Log Normal*

Periode ulang tahun (T)	Faktor Frekuensi (K_T)	Log X_T	Hujan Rencana (mm) (X_T)
2	0	2,073	118,3
5	0,84	2,1494	141,07
10	1,28	2,1895	154,7
25	1,7	2,2277	168,93
50	2,05	2,2596	181,78
100	2,33	2,285	192,77

Sumber : Perhitungan

d) Distribusi *Log Pearson Tipe III*

$\log \bar{X} = 2,073$ mm

$S \log X = 0,091$

$C_s = 0,166$

Tabel 17. Nilai Faktor Frekuensi (K_T) untuk $C_s = 0,166$

C_s	2	5	10	25	50	100
0,1	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,4
0,2	-0,033	0,83	1,301	1,818	2,159	2,472
0,166	-0,028	0,832	1,298	1,807	2,141	2,448

Sumber : Hasil Perhitungan

$\log X_T = 2,07$

$X_T = 10^{2,07} = 117,490$ mm (untuk periode ulang 2 tahun)

Tabel 18. Curah Hujan Rancangan Metode Distribusi *Log Pearson Tipe III*

Periode ulang (T)	Peluang (P)	Faktor Frekuensi (K_T)	($K_T \cdot S$)	$\log X_T$	Hujan Rencana (mm) (X_T)
2	50	-0,028	-0,003	2,07	117,49
5	20	0,832	0,076	2,149	140,929
10	10	1,298	0,118	2,191	155,239
25	4	1,807	0,164	2,237	172,584
50	2	2,141	0,195	2,268	185,353
100	1	2,448	0,223	2,296	197,697

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 19. Rekapitulasi Perhitungan Curah Hujan Rancangan

Periode Ulang Tahun (T)	Analisis Fekkuensi Curah Hujan Rencana (mm)			
	Normal	<i>Gumbel</i>	<i>Log Normal</i>	<i>Log Pearson III</i>
2	120,67	115,13	118,3	117,49
5	142,317	145,89	141,07	140,929
10	153,656	165,23	154,7	155,239
25	164,479	187,78	168,93	172,584
50	173,499	207,78	181,78	185,353
100	180,714	225,78	192,77	197,697

Sumber : Hasil Perhitungan

3. Uji Kecocokan Distribusi

a. Uji *Chi-square*

Tab 20. data hujan yang diurutkan

No	TAHUN	X (mm)	TAHUN terurut	X dari kecil ke besar
1	2009	81,5	2009	81,5
2	2010	123,5	2014	103
3	2011	106	2011	106
4	2012	110	2017	108
5	2013	123	2012	110
6	2014	103	2013	123
7	2015	173,5	2010	123,5
8	2016	130,2	2016	130,2
9	2017	108	2018	148
10	2018	148	2015	173,5

Sumber : Hasil Perhitungan

Menghitung Jumlah Kelas

a. Jumlah data (n) = 10

b. $K = 1 + 3,322 \log(10) = 4,3 \approx 5$ kelas

c. $E_f = \frac{n}{\text{kelas}} = \frac{10}{5} = 2$

Menghitung derajat kebebasan (Dk) dan χ_{cr}^2

a. $p = 2$

b. $Dk = K - (p - 1) = 5 - (2 - 1) = 2$

c. $\chi_{cr}^2(n) = 10$, $\alpha = 5\%$, dan $Dk = 2$, adalah = 5,991

Tabel 21. Nilai Parameter *Chi-quadrat* Kritis χ_{cr}^2

dk	α (derajat kepercayaan)				
	0,95	0,90	0,025	0,01	0,005
1	0,004	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,103		7,378	9,21	10,597
3	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,711	9,488	11,143	13,277	14,86
5	1,145	11,07	12,833	15,086	16,75
6	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	2,733	15,507	17,535	20,09	21,955
9	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	3,94	18,307	20,483	23,209	25,188
11	4,575	19,675	21,92	24,725	26,757
12	5,226	21,026	23,337	26,217	28,3
13	5,892	22,362	24,736	27,688	29,819
14	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	7,261	24,996	27,488	30,578	32,801

Sumber : Soewarno (1995)

Menghitung batas kelas distribusi

Kelas distribusi = $\frac{1}{5} \times 100\% = 20\%$, interval distribusi adalah 20%, 40%, 60%, 80%.

$P_{(x)}=20\%$, $T = \frac{1}{P_x} = \frac{1}{0,20} = 5$ tahun

$P_{(x)}=40\%$, $T = \frac{1}{P_x} = \frac{1}{0,40} = 2,5$ tahun

$P_{(x)}=60\%$, $T = \frac{1}{P_x} = \frac{1}{0,60} = 1,67$ tahun

$P_{(x)}=80\%$, $T = \frac{1}{P_x} = \frac{1}{0,80} = 1,25$ tahun

Menghitung Interval Kelas.

a. Distribusi Probabilitas Normal

$\bar{X} = 120,67$ mm

$S = 25,77$

$T = 5$; maka $K_T = 0,84$

$T = 2,5$; maka $K_T = 0,25$

$T = 1,67$; maka $K_T = -0,25$

$T = 1,25$; maka $K_T = -0,84$

Maka Interval Kelas :

$X_T = 120,67 + 25,77 + K_T$

$X_5 = 147,28$ mm

$X_{2,5} = 146,69$ mm

$X_{1,67} = 146,19$ mm

$X_{1,25} = 145,60$ mm

b. Distribusi Probabilitas *Gumbel*

$\bar{X} = 120,67$ mm

$S = 25,77$

Dengan $n = 10$

$Y_n = 0,4952$

$S_n = 0,9497$

$Y_t = -\ln -\ln \frac{T-1}{T}$

$K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} = \frac{Y_t - 0,4952}{0,9497}$

$T=5$; $Y_t = 1,4999$ $K = 1,0579$

$T=2,5$; $Y_t = 0,6717$ $K = 0,1859$

$T=1,67$; $Y_t = 0,0907$ $K = -0,4259$

$T=1,25$; $Y_t = -0,4759$ $K = -1,0225$

Interval kelas :

$X_T = 120,67 + 25,77 \times K$

$X_5 = 147,932$ mm

$X_{2,5} = 125,461$ mm

$X_{1,67} = 109,694$ mm

$X_{1,25} = 94,320$ mm

c. Distribusi Probabilitas *Log Normal*

$\log \bar{X} = 2,073$

$S \log X = 0,091$

$T = 5$; maka $K_T = 0,84$

$T = 2,5$; maka $K_T = 0,25$

$T = 1,67$; maka $K_T = -0,25$

$T = 1,25$; maka $K_T = -0,84$

Maka Interval kelas :

$\log X_T = 2,073 + K_T \times 0,091$

Sehingga :

$X_5 = 10^{2,14944} = 141,072$ mm

$X_{2,5} = 10^{2,09575} = 124,667$ mm

$X_{1,67} = 10^{2,05025} = 112,266$ mm

$X_{1,25} = 10^{1,99656} = 99,211$ mm

d. Distribusi Probabilitas *Log Pearson Tipe III*

$\log \bar{X} = 2,073$

$S \log X = 0,091$

$T = 5$; maka $K_T = 0,832$

$T = 2,5$; maka $K_T = 0,25$

$T = 1,67$; maka $K_T = -0,25$

$T = 1,25$; maka $K_T = -0,590$

$\log X_T = 2,073 + K_T \times 0,091$

$X_5 = 10^{2,148712} = 140,835$ mm

$X_{2,5} = 10^{2,09575} = 124,667$ mm

$X_{1,67} = 10^{2,05025} = 112,266$ mm

$X_{1,25} = 10^{2,01931} = 104,547$ mm

Perhitungan nilai X^2

Tabel 22. Perhitungan Nilai X^2 Untuk Distribusi Normal

Kelas	Interval	E_f	O_f	$O_f - E_f$	$\frac{(O_f - E_f)^2}{E_f}$
1	>147,28	2	2	0	0
2	146,69-147,28	2	0	-2	2
3	146,19-146,69	2	0	-2	2
4	145,60-146,19	2	0	-2	2
5	<145,60	2	8	6	18
Jumlah		10	10		$X^2 = 24$

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 23. Perhitungan Nilai X^2 Untuk Distribusi *Gumbel*

Kelas	Interval	E_f	O_f	$O_f - E_f$	$\frac{(O_f - E_f)^2}{E_f}$
1	> 147,932	2	2	0	0
2	125,461 - 147,932	2	1	-1	0,5
3	109,694 - 125,461	2	3	1	0,5
4	94,320 - 109,694	2	3	1	0,5
5	< 94,320	2	1	-1	0,5
Jumlah		10	10		$X^2 = 2$

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 24. Perhitungan Nilai X^2 Untuk Distribusi Log Normal

Kelas	Interval	E_f	O_f	$O_f - E_f$	$\frac{(O_f - E_f)^2}{E_f}$
1	>141,072	2	2	0	0
2	124,667-141,072	2	1	-1	0,5
3	112,266-124,667	2	2	0	0
4	99,211-112,266	2	4	2	2
5	<99,211	2	1	-1	0,5
	Jumlah	10	10	X^2	3

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 25. Perhitungan Nilai X^2 Untuk Distribusi Log Pearson Tipe III

Kelas	Interval	E_f	O_f	$O_f - E_f$	$\frac{(O_f - E_f)^2}{E_f}$
1	>140,835	2	2	0	0
2	124,667-140,835	2	1	-1	0,5
3	112,266-124,667	2	2	0	0
4	104,547-112,266	2	3	1	0,5
5	<104,547	2	2	0	0
	Jumlah	10	10	X^2	1

Sumber : Hasil Perhitungan

Rekapitulasi Nilai X^2 dan x_{cr}^2 untuk keempat distribusi probabilitas

Tabel 26. Rekapitulasi Nilai X^2 dan x_{cr}^2

Distribusi Probabilitas	X^2	x_{cr}^2	Keterangan
Normal	24	5,991	Tidak Diterima
Gumbel	2	5,991	Diterima
Log Normal	3	5,991	Diterima
Log Pearson Tipe III	1	5,991	Diterima

Sumber : Hasil Perhitungan

4. Perhitungan Debit Banjir Rancangan

Tabel 27. Data R_{24} Berdasarkan Distribusi Log Pearson Tipe III

Tahun (T_r)	$R_{24}(\text{mm})$
2	117,49
5	140,929
10	155,239
25	172,584
50	185,353
100	197,697

Sumber : Hasil Perhitungan

a. Distribusi hujan jam-jaman

$$R_T = \frac{R_{24}}{6} \left(\frac{6}{t}\right)^{2/3}$$

Tabel 28. Perhitungan Distribusi Hujan Jam-Jaman

No	Jam ke	Rasio	Hujan jam-jaman (mm)					
			2	5	10	25	50	100
1	1	0,55	51,7	62,01	68,31	75,94	81,56	86,99
2	2	0,143	13,44	16,12	17,76	19,74	21,2	22,62
3	3	0,1	9,4	11,27	12,42	13,81	14,83	15,82
4	4	0,08	7,52	9,02	9,94	11,05	11,86	12,65
5	5	0,067	6,3	7,55	8,32	9,25	9,93	10,6
6	6	0,059	5,55	6,65	7,33	8,15	8,75	9,33
Curah hujan Rancangan (mm)			117,49	140,929	155,239	172,584	185,353	197,697
Koefisien pengaliran (c)			0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
curah hujan efektif (mm)			93,99	112,74	124,19	138,07	148,28	158,16

Sumber : Hasil Perhitungan

b. Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

- Luas = 50530 ha = 505,3 km²
- L = 16,1 km
- c = 0,8 (persawahan irigasi)
- R₀ = 1 mm
- (α) (1,5 - 3) = 2

Tabel 29. Nilai Koefisien Pengaliran (c)

Kondisi daerah pengaliran	Koefisien Pengaliran
Daerah pegunungan berbeting terjal	0,75 - 0,90
Daerah perbukitan	0,70 - 0,80
Tanah bergelombang dan bersemak - semak	0,50 - 0,75
Tanah dataran yang digarap	0,45 - 0,65
Persawahan irigasi	0,70 - 0,80
Sungai di daerah pegunungan	0,75 - 0,085
Sungai kecil di dataran	0,45 - 0,75
Sungai yang besar dengan wilayah pengaliran lebih dari seperduanya terdiri dari dataran.	0,50 - 0,75

Sumber : CD Soemarto, 1995

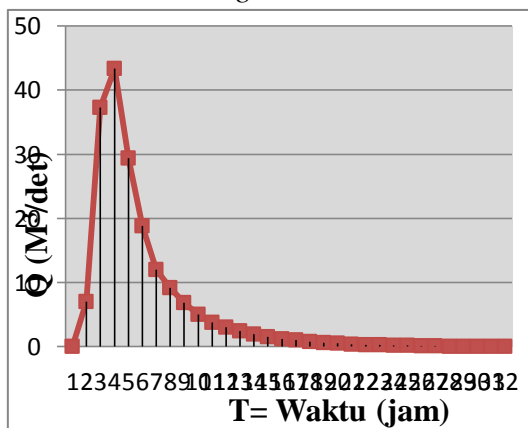
Parameter Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu :

- 1) Karena L > 15 km, maka;
T_g = 0,4 + 0,058 x 16,1 = 1,33 jam
- 2) T_r = 0,75 x 1,33 = 1 jam
- 3) T_p = 1,33 + 0,8 x 1 = 2,13 Jam.
- 4) T_{0,3} = 2 x 1,33 = 2,7 Jam.
- 5) Q_p = $\frac{505,3 \times 1}{3,6 (0,3 \times 19 + 23)} = 43,33 \text{ m}^3/\text{det.}$
- 6) Menghitung lengkung hidrograf nakayasu
 - a) (0 < t < T_p) = 0 < t < 2,13
Q = 43,33 x $\left(\frac{t}{2,13}\right)^{2,4}$, t = 0-2,13 jam
 - b) (T_p < t < T_{0,3}) atau 2,13 < t < (2,13 + 2,6) = 2,13 < t < 4,83 = 3 < t < 5
Q = 43,33 x 0,3 $\frac{t-2,13}{2,7}$, t=3-5 jam
 - c) (T_{0,3} < t < 1,5 T_{0,3}) atau 4,83 < t < (4,83 + 4,05) = 4,83 < t < 8,88 = 5 < t < 9, untuk, t = 6 - 9 jam
Q = 43,33 x 0,3 $\frac{t-2,13+0,5 \times 2,7}{1,5 \times 2,7}$
 - d) (t > 1,5 T_{0,3}) Atau t > 8,88 = t > 9 jam, untuk t = 10 - 30 jam.
Q = 43,33 x 0,3 $\frac{t-2,13+1,5 \times 2,7}{2 \times 2,7}$

Tabel 30. Ordinat Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

T(jam)	Q(m ³ /dt/mm)	Keterangan
0	0	
1	7.06	Qa
2	37.25	
2.13	43.33	QP
3	29.4	
4	18.82	Qd1
5	12.05	
6	9.18	
7	6.82	Qd2
8	5.06	
9	3.76	
10	3.04	
11	2.43	
12	1.94	Qd3
13	1.56	
14	1.24	
15	1	
16	0.8	
17	0.64	
18	0.51	
19	0.41	
20	0.33	
21	0.26	
22	0.21	
23	0.17	
24	0.13	
25	0.11	
26	0.08	
27	0.07	
28	0.05	
29	0.04	
30	0.03	

Sumber : Perhitungan

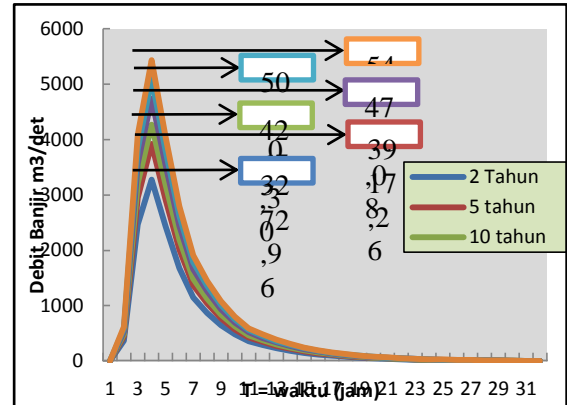


Gambar 10. Grafik Hidrograf Sintetis Nakayasu

Tabel 31. Rekapitulasi Perhitungan Debit Banjir Rancangan Metode Nakayasu

Waktu (T) (Jam)	U (t,1) m³/det	Debit Banjir Rancangan (m³/det)					
		2 th	5 th	10 th	25 th	50 th	100 th
0	0	0	0	0	0	0	0
1	7.06	372.03	444.84	482.23	536.11	575.78	614.13
2	37.25	2463.58	2947.63	3205.9	3564.1	3827.8	4082.72
2.13	43.33	3272.96	3917.26	4267.3	4744.08	5095.09	5434.4
3	29.4	2441.82	2923.09	3187.52	3543.66	3805.85	4059.3
4	18.82	1681.61	2013.34	2197.04	2442.52	2623.23	2797.93
5	12.05	1143.52	1369.25	1486.87	1662.05	1785.02	1903.89
6	9.18	871.16	1043.13	1132.73	1266.19	1359.87	1450.43
7	6.82	647.2	774.96	841.53	940.68	1010.27	1077.56
8	5.06	480.18	574.97	624.36	697.92	749.56	799.48
9	3.76	356.82	427.25	463.95	518.61	556.98	594.08
10	3.04	288.49	345.44	375.11	419.3	450.33	480.32
11	2.43	230.6	276.12	299.84	335.17	359.97	383.94
12	1.94	184.1	220.44	239.38	267.58	287.38	306.52
13	1.56	148.04	177.26	192.49	215.17	231.09	246.48
14	1.24	117.67	140.9	153.01	171.03	183.69	195.92
15	1	94.9	113.63	123.39	137.93	148.13	158
16	0.8	75.92	90.9	98.71	110.34	118.51	126.4
17	0.64	60.73	72.72	78.97	88.27	94.81	101.12
18	0.51	48.4	57.95	62.93	70.34	75.55	80.58
19	0.41	38.91	46.59	50.59	56.55	60.73	64.78
20	0.33	31.32	37.5	40.72	45.52	48.88	52.14
21	0.26	24.67	29.54	32.08	35.86	38.51	41.08
22	0.21	19.93	23.86	25.91	28.97	31.11	33.18
23	0.17	16.13	19.32	20.98	23.45	25.18	26.86
24	0.13	12.34	14.77	16.04	17.93	19.26	20.54
25	0.11	10.44	12.5	13.57	15.17	16.29	17.38
26	0.08	7.59	9.09	9.87	11.03	11.85	12.64
27	0.07	6.64	7.95	8.64	9.66	10.37	11.06
28	0.05	4.74	5.68	6.17	6.9	7.41	7.9
29	0.04	3.8	4.55	4.94	5.52	5.93	6.32
30	0.03	2.85	3.41	3.7	4.14	4.44	4.74
Q Max		3272.96	3917.26	4267.3	4744.08	5095.09	5434.4

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 11. Hidrograf Banjir Rancangan Metode Nakayasu

Tabel 32. Rekapitulasi Debit banjir Rancangan Pada Daerah Penelitian

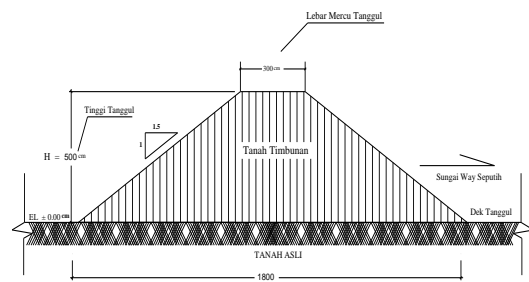
No	Kala Ulang	Debit Banjir Rancangan Maksimum (m³/det)
1	2 tahun	3272,96
2	5 tahun	3917,26
3	10 tahun	4267,3
4	25 tahun	4744,08
5	50 tahun	5095,09
6	100 tahun	5434,4

Sumber : Hasil Perhitungan

Perencanaan Tanggul

1. Data eksisting Tanggul

- Lebar Mercu Tanggul = 3 m
- Tinggi Tanggul (H) = 5 m
- Kemiringan Tanggul = 1 : 1,5



Gambar 12. Penampang Melintang Eksisting Tanggul

2. Data Spesifikasi Perencanaan Tanggul

1) Tinggi tanggul

tinggi muka air banjir di bulan Februari 2018, $H_1=5,2$ m (berdasarkan debit banjir rencana Q5 tahun = 3917,26 m³/det. $H_2 = 1,2$ m. Total tinggi tanggul rencana $H = 5,2 + 1,2 = 6,4$ m.



Gambar 13. Tinggi banjir pada tahun 2018

Tabel 33. Tinggi Jagaan Tanggul

Debit Banjir Rencana (m ³ /detik)	Tinggi Jagaan (m)
< 200	0,6
200 - 500	0,8
500 - 2.000	1
2.000 - 5.000	1,2
5.000 - 10.000	1,5
>10.000	2

Sumber : Sosrodarsono (1994:87)

2) Lebar mercu tanggul

$Q_5 = 3917,26 \text{ m}^3/\text{det}$, maka lebar puncak tanggul yaitu = 5 m.

Tabel 34. Lebar Standar Mercu Tanggul

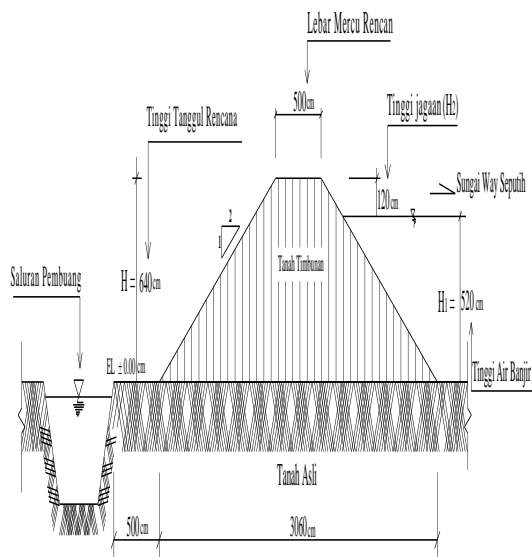
No	Debit Banjir Rencana (m ³ /det)	Lebar Mercu (m)
1	Kurang dari 200	2
2	200-500	3
3	500-2000	4
4	2000-5000	5
5	5000-10000	6
6	10000 atau lebih	7

Sumber : Sosrodarsono (1994:87)

3) Kemiringan lereng tanggul

Kemiringan tanggul ditentukan 1:

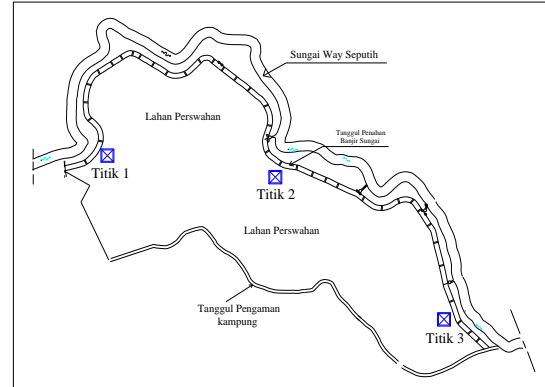
2.



Gambar 14. Penampang Melintang Rencana Tanggul

3. Data Mekanika Tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan pada 3 (tiga) titik lokasi, yaitu titik 1 (satu) di bagian hulu tanggul, titik 2 (dua) di bagian tengah tanggul, titik 3 (tiga) di bagian hilir tanggul.



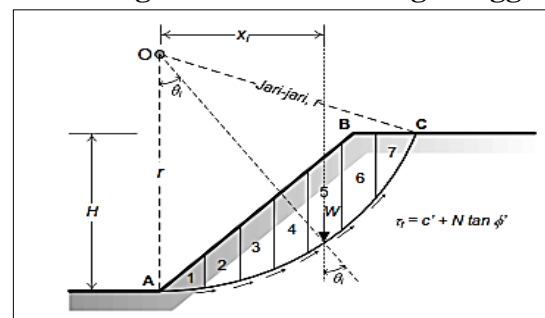
Gambar 15. Lokasi Pengambilan Sampel tanah

Tabel 35. Data Mekanika Tanah

Parameter	Titik 1 (P.1)	Titik 2 (P.2)	Titik 3 (P.3)	Rata-rata
Kohesi (c)	0,111 kg/cm ²	0,14 kg/cm ²	0,143 kg/cm ²	0,13 kg/cm ²
Sudut Geser Dalam (θ)	24,208	20,78	18,76	21,25
Berat Volume (γ)	1,992 t/m ³	1,885 t/m ³	1,892 t/m ³	1,923 t/m ³
Koefisien Permeabilitas (K)	4,363 x 10 ⁻⁷ cm/s ²	3,2116 x 10 ⁻⁷ cm/s ²	5,4019 x 10 ⁻⁷ cm/s ²	4,325 x 10 ⁻⁷ cm/s ²

Sumber: Laporan Hasil Pengujian Tanah

Perhitungan Stabilitas Lereng Tanggul



Gambar 16. Metode Irisan Cara Fellenius

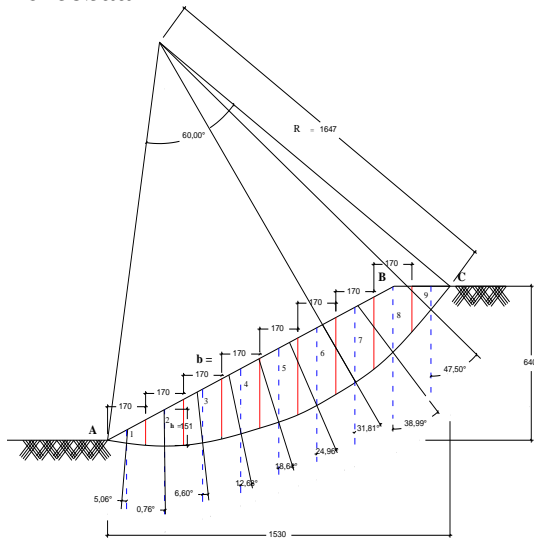
Perhitungan stabilitas lereng dilakukan dilakukan dengan cara coba-coba untuk mendapatkan faktor keamanan yang lebih besar dari 1,5 yang didefinisikan lereng dalam keadaan stabil.

a) $c = 0,13 \text{ kg/cm}^2 = 13 \text{ kN/m}^2$

b) $\theta = 21,25^\circ$

c) $\gamma = 1,923 \text{ t/m}^3 = 19,23 \text{ kN/m}^3$

Percobaan I



Gambar 17. Irisan Stabilitas Lereng Tanggul Percobaan I

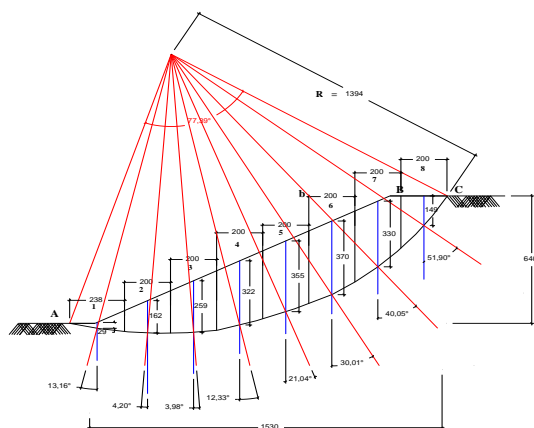
- a) $c = 0,13 \text{ kg/cm}^2 = 13 \text{ kN/m}^2$
- b) $\theta = 21,25^0$
- c) $\gamma = 1,923 \text{ t/m}^3 = 19,23 \text{ kN/m}^3$

Tabel 36. Perhitungan Stabilitas Lereng Tanggul Percobaan I

No	Lebar irisan b (m)	Tinggi h (m)	Berat (W) $\gamma \cdot b \cdot h$ (kN/m ³)	α (°)	ΔL_n b/cos α (m)	W cos α	W sin α
1	1,7	0,55	17,98	-5,06	1,71	17,91	-1,6
2	1,7	1,51	49,36	0,76	1,7	49,35	0,65
3	1,7	2,24	73,23	6,6	1,71	72,52	8,41
4	1,7	2,71	88,6	12,63	1,74	86,46	19,37
5	1,7	3,01	98,4	18,64	1,8	93,24	31,45
6	1,7	3,23	105,59	24,96	1,87	95,73	44,55
7	1,7	3,05	99,17	31,66	2	84,41	52,05
8	1,7	2,72	88,92	38,99	2,2	69,11	55,94
9	1,7	0,97	31,71	47,5	2,52	21,42	23,37
JUMLAH (Σ)					17,25	590,15	234,19

Sumber : Hasil Perhitungan
 FK = 1,937 > 1,5 , lereng stabil.

Percobaan II



Gambar 18. Irisan Stabilitas Lereng Tanggul Percobaan II

- a) $c = 0,13 \text{ kg/cm}^2 = 13 \text{ kN/m}^2$
- b) $\theta = 21,25^0$
- c) $\gamma = 1,923 \text{ t/m}^3 = 19,23 \text{ kN/m}^3$

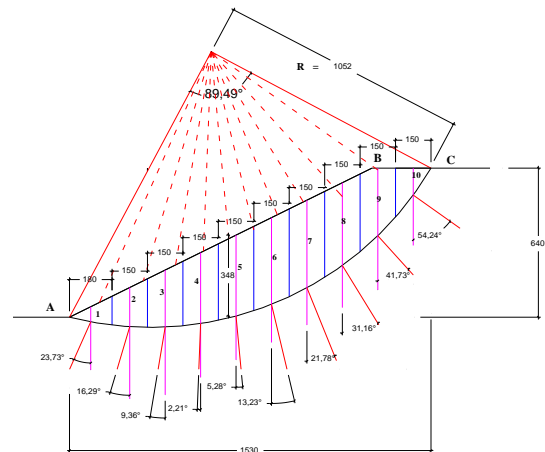
Tabel 37. Perhitungan Stabilitas Lereng Tanggul Percobaan II

Irisan No	Lebar irisan b (m)	Tinggi h (m)	Berat (W) $\gamma \cdot b \cdot h$ (kN/m ³)	α (°)	cos (a)	ΔL_n b/cos α (m)	sin (a)	W cos α	W sin α
1	2,38	0,29	13,273	-13,16	0,974	2,444	-0,228	12,924	-3,022
2	2	1,62	62,305	-4,2	0,997	2,005	-0,073	62,138	-4,563
3	2	2,59	99,611	3,98	0,998	2,005	0,069	99,371	6,914
4	2	3,22	123,841	12,33	0,977	2,047	0,214	120,985	26,445
5	2	3,55	136,533	21,04	0,933	2,143	0,359	127,43	49,018
6	2	3,7	142,302	30,01	0,866	2,31	0,5	123,225	71,173
7	2	3,3	126,918	40,05	0,765	2,613	0,643	97,154	81,666
8	2	1,49	57,305	51,9	0,617	3,241	0,787	35,359	45,096
JUMLAH (Σ)						18,808		678,586	272,727

Sumber : Perhitungan
 FK = $\frac{13 \times 18,808 + 678,586 \times \tan(21,25)}{272,727}$

FK = 1,864 > 1,5 , lereng stabil.

Percobaan III



Gambar 19. Irisan Stabilitas Lereng Tanggul Percobaan III

- a) $c = 0,13 \text{ kg/cm}^2 = 13 \text{ kN/m}^2$
- b) $\theta = 21,25^0$
- c) $\gamma = 1,923 \text{ t/m}^3 = 19,23 \text{ kN/m}^3$

Tabel 38. Perhitungan Stabilitas Lereng Tanggul Percobaan III

Irisan No	Lebar irisan b (m)	Tinggi h (m)	Berat (W) $\gamma \cdot b \cdot h$ (kN/m ³)	α (°)	cos (a)	ΔL_n b/cos α (m)	sin (a)	W cos α	W sin α
1	1,8	0,65	22,499	-23,73	0,915	1,966	-0,402	20,597	-9,054
2	1,5	1,68	48,46	-16,29	0,96	1,563	-0,28	46,514	-13,593
3	1,5	2,45	70,67	-9,36	0,987	1,52	-0,163	69,729	-11,494
4	1,5	3,05	87,977	-2,21	0,999	1,501	-0,039	87,912	-3,393
5	1,5	3,48	100,381	5,28	0,996	1,506	0,092	99,955	9,237
6	1,5	3,72	107,303	13,23	0,973	1,541	0,229	104,455	24,558
7	1,5	3,76	108,457	21,78	0,929	1,615	0,371	100,715	40,242
8	1,5	3,55	102,4	31,16	0,856	1,753	0,517	87,626	52,985
9	1,5	2,9	83,651	41,73	0,746	2,01	0,666	62,428	55,68
10	1,5	1,16	33,46	54,24	0,584	2,567	0,811	19,554	27,152
JUMLAH (Σ)						17,543		699,485	172,320

Sumber : Perhitungan
 FK = $\frac{13 \times 17,543 + 699,485 \times \tan(21,25)}{172,320}$

didapatkan faktor keamanan (FK) terbesar 2,902 >1,5. Berdasarkan perhitungan debit rembesan didapatkan pada tubuh tanggul sebesar $= 3,128 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{det}$, rembesan air yang terjadi pada tubuh tanggul pada saat banjir dapat mempengaruhi penurunan kestabilan lereng tanggul, di mana rembesan tersebut akan menyebabkan gejala *piping* (proses terangkutnya butir-butir tanah halus yang menyebabkan aliran air dalam tubuh tanggul).

DAFTAR PUTAKA

- Anonim, 2015. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*, Universitas Muhammadiyah Metro.
- Anonim, 2003. *Pengaman Sungai; Balai Sungai*, Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Bandung.
- Asdak, Chay, 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Mesuji Sekampung.
- Hardiyatmo, H. C., 2012. *Mekanika Tanah I*, Edisi ke enam, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C., 2010. *Mekanika Tanah II*, Edisi ke lima, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Christady Hary, 2014. *Analisis dan Perencanaan Fondasi I*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Karmiana, I Made, 2011. *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*, Graha Ilmu, Palangkaraya.
- Kurniawan, Dona. 2015. *Perencanaan Dinding Penahan Tanah Sungai Way Batanghari Dengan Metode Revetment Retaining Wall*. Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Metro.
- Kurniawan, Cecep. 2016. *Perencanaan Tanggul Untuk Pengendalian Banjir di Sungai Kedudukan Kota Palembang*, Universitas Sriwijaya.
- Laporan Praktikum, *Mekanika Tanah I*, Universitas Muhammadiyah Metro.
- Laporan Praktikum, *Mekanika Tanah I*, Universitas Lampung.
- Laporan Praktikum, *Mekanika Tanah II*, Universitas Lampung.
- Muntohar A. S., *Tanah Longsor*, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No. 28/PRT/M/2015, tentang *Penetapan Garis Sempadan Sungai dan Garis Sempadan Danau*. Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015.
- Soedarmono. D., Purnomo. E., 1993. *Mekaniaka Tanah I*, Kanisius, Malang.
- SNI, 2415 : 2016, *Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana*, Jakarta, (BSN) Badan Standar Nasional.
- Suripin, 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Andi, Yogyakarta.
- Yusuf, Bayu Afandi, 2019. *Analisis Hidrologi Untuk Menentukan Debit Banjir Rancangan Pada DAS Blambangan*, Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro.