

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Terdahulu

1. “Perencanaan Penanggulangan Banjir pada Daerah Aliran Sungai Lembar Desa Labuan Tereng Kecamatan Lembar Kabupaten Lombok” (Handayani, 2024)
Hasil dari penelitian ini adalah DAS Lembar pada Kecamatan Lembar Kabupaten Lombok memiliki kapasitas yang belum memadai, dan terjadi luapan air sungai sehingga pada penelitian ini penulis merencanakan penanggulangan banjir berupa normalisasi sungai pada Sungai Lembar dengan rencana Lebar dasar sungai yang awal mula sebesar 6 meter diperlebar menjadi 9 meter dan dengan kedalaman muka air yang memiliki awal mula sebesar 2,5 meter diperdalam menjadi 3,5 meter dengan kemiringan saluran 0,037.
2. “Evaluasi Perencanaan Tanggul Guna Pengendalian Banjir di Sungai Malibaka Kecamatan Raihat Kabupaten Belu Nusa Tenggara Timur” (Moruk, 2023)
Hasil dari penelitian ini adalah perhitungan limpasan langsung diketahui bahwa debit hujan puncak di Sub DAS Malibaka melebihi kapasitas seharusnya. Dengan itu, penulis berupaya melakukan evaluasi berupa Tinggi Jagaan, Normalisasi Sungai, dan juga Perbaikan Tanggul
3. “Perencanaan Perbaikan Tanggul untuk Pengendalian Banjir di Sungai Brang Biji Kabupaten Nusa Tenggara Barat” (Fasyah, 2023)
Hasil dari penelitian ini adalah debit banjir rencana dengan kala ulang 10 tahun menggunakan metode Nakayasu yaitu sebesar 170,727 m³/detik, dengan hasil perencanaan tanggul dengan jenis beronjong, kemiringan lereng 1 : 2, ketinggian beronjong 4 m, dengan lebar atas 29,14 m dan lebar bawah 23,00 m.
4. “Analisa Pengendalian Banjir pada Sungai Batu Merah Desa Batu Merah Kecamatan Siriman Kota Ambon Provinsi Maluku” (Kiriwenno, 2021)
Hasil dari penelitian ini adalah alternatif yang diambil untuk melakukan pengendalian banjir sungai batu merah adalah dengan metode pendekatan perbaikan tanggul dengan menaikkan’ tinggi jagaan sebesar 0,8.

5. “Studi Pengendalian Banjir Sungai Plumbon dengan Perencanaan Tanggul dan Normalisasi Sungai” (Yudhantoko, 2020)

Dari hasil penelitian penanganan yang dilakukan dalam upaya untuk mengendalikan banjir ada 2 metode struktur yaitu normalisasi dan pembuatan tanggul, dari hasil simulasi setelah direncanakan.

2.2 Analisis Hidrologi

Dalam melakukan suatu analisis hidrologi sering kita dihadapkan pada suatu kejadian – kejadian ekstrem seperti contohnya banjir dan kekeringan. Banjir itu mempengaruhi bangunan – bangunan air seperti tanggul, bendung, bendungan, gorong – gorong dan lainnya. Bangunan – bangunan tersebut harus direncanakan untuk dapat melewati debit banjir maksimum yang akan terjadi. Bangunan harus dipertimbangkan bukan hanya saja keamanan bangunan melainkan juga kehidupan dan fasilitas – fasilitas lainnya yang terancam keselamatannya apabila bangunan itu runtuh. (Triatmodjo, 2010)

2.2.1 Analisis Data Curah Hujan

Data curah hujan yaitu data yang berisikan curah hujan yang terjadi di suatu wilayah / daerah yang dinyatakan dalam mm. Analisis Data Curah hujan Wilayah / Daerah dapat dihitung dengan 3 cara umum. (Suripin, 2004)

a. Cara Rata – rata Aritmatik (Aljabar)

Metode ini dilakukan dengan cara menjumlahkan keseluruhan data curah hujan yang tercatat dari semua stasiun yang ada. Pengukuran akan dibagi sesuai dengan banyaknya jumlah stasiun. Metode ini dapat dilakukan di daerah yang datar dan harus memiliki banyak stasiun pengukuran yang akan tersebar secara merata. (Sosrodarsono & Takeda, 2003)

Metode rerata aljabar dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\bar{R} = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

$\bar{R}$ = Curah hujan Daerah (mm)

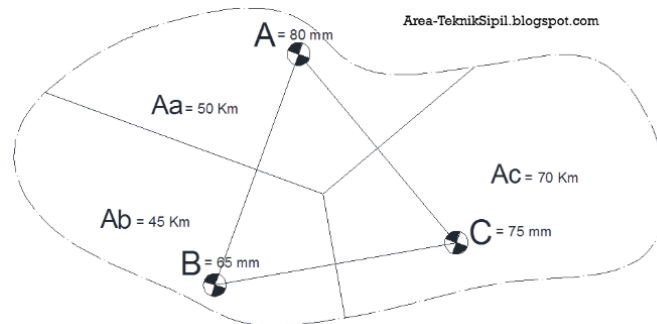
n = Jumlah titik – titik (pos – pos) pengamatan

$R_1, R_2, \dots, R_n$ = Curah hujan di tiap titik pengamatan (mm)

Hasil yang diperoleh dengan cara ini tidak berbeda jauh dari hasil yang didapat dengan cara lain, jika titik pengamatan itu banyak dan tersebar merata di seluruh daerah itu. Keuntungan cara ini adalah objektif yang berbeda dengan cara isohiet, di mana faktor subjektif turut menentukan. (Sosrodarsono & Takeda, 2003)

b. Cara Polygon Thiessen

Jika titik – titik pengamatan di dalam daerah itu tidak tersebar secara merata, maka acara perhitungan curah hujan rata – rata itu dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh tiap titik pengamatan.



Sumber : <https://area-tekniksipil.blogspot.com/2019/05/metode-perhitungan-rerata-curah-hujan.html>

Gambar 2. 1 Metode Poligon Thiessen

Curah hujan daerah itu dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\bar{R} &= \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \\ &= \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A} \\ &= W_1 R_1 + W_2 R_2 + \dots + W_n R_n \dots\dots\dots (2.2)\end{aligned}$$

Di mana :

$\bar{R}$ = Curah hujan daerah

$R_1, R_2 \dots R_n$ = Curah hujan di tiap titik pengamatan dan n adalah jumlah titik – titik pengamatan.

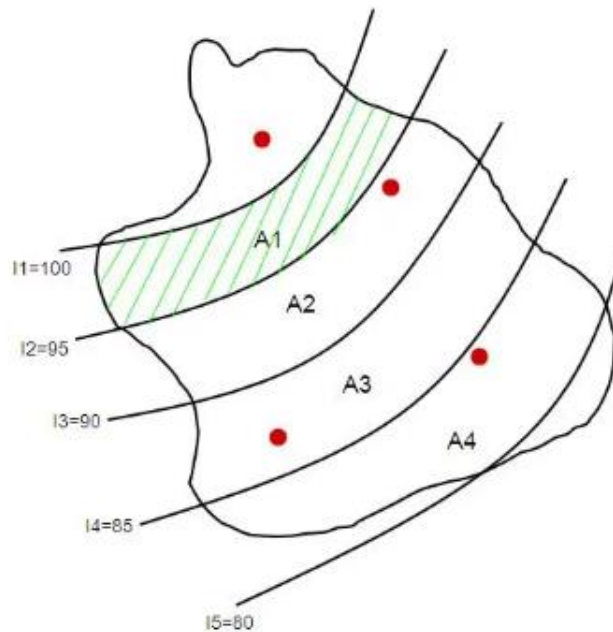
$A_1, A_2, \dots, A_n$ = Bagian daerah yang mewakili tiap titik pengamatan.

Cara Poligon Thiessen ini memberikan hasil yang lebih teliti daripada cara aljabar rata – rata. Akan tetapi, penentuan titik pengamatan dan pemilihan ketinggian akan mempengaruhi ketelitian hasil yang didapat. Kerugian yang lain adalah perumpamaan untuk penentuan kembali jaringan segitiga jika terdapat kekurangan pengamatan pada salah satu titik pengamatan. (Sosrodarsono & Takeda, 2003)

c. Cara Isohiet

Peta isohiet digambar pada peta topografi dengan perbedaan (*interval*) 10 sampai 20 mm berdasarkan data curah hujan pada titik – titik pengamatan di dalam dan di

sekitar daerah yang dimaksud. Luas bagian daerah antara dua garis isohiet yang berdekatan diukur dengan planimeter. Demikian pula harga rata – rata dari garis – garis isohiet yang berdekatan yang termasuk bagian – bagian daerah itu dapat dihitung. Curah hujan daerah itu dapat dihitung menurut persamaan sebagai berikut (Lihat gambar 2.2) :



Sumber : (Banata, 2014)
Gambar 2. 2 Metode Isohiet

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots \dots \dots (2.3)$$

Di mana :

$\bar{R}$ = Curah hujan daerah

$A_1, A_2, \dots, A_n$ = Luas bagian – bagian antara garis – garis isohiet.

$R_1, R_2 \dots R_n$ = Curah hujan rata – rata pada bagian – bagian $A_1, A_2, \dots, A_n$.

Cara ini adalah rasional yang terbaik jika garis – garis isohiet dapat digambar dengan teliti. Akan tetapi, jika titik – titik pengamatan itu terlalu banyak dan variasi curah hujan di daerah bersangkutan besar, maka pada pembuatan peta isohiet ini akan terdapat kesalahan pribadi (*individual error*) si pembuat peta. (Sosrodarsono & Takeda, 2003)

Selain berdasarkan stasiun pengamatan curah hujan daerah dapat dihitung dengan parameter luas daerah tinjauan sebagai berikut (Sosrodarsono & Takeda, 2003):

1. Untuk daerah tinjauan dengan luas 250 Ha dengan variasi topografi kecil diwakili oleh sebuah stasiun pengamatan.

2. Untuk daerah tinjauan dengan luas 250 – 50.000 Ha yang memiliki 2 atau 3 stasiun pengamatan dapat menggunakan metode rata – rata aljabar.
3. Untuk daerah dengan luas 120.000 – 500.000 Ha yang memiliki beberapa stasiun pengamatan tersebar cukup merata dan di mana curah hujannya tidak terlalu dipengaruhi oleh kondisi topografi dapat menggunakan metode rata – rata aljabar, tetapi jika stasiun pengamatan tersebar tidak merata dapat menggunakan metode *polygon thiessen*.
4. Untuk daerah tinjauan dengan luas lebih dari 500.000 Ha menggunakan metode isohiet atau metode potongan antara.

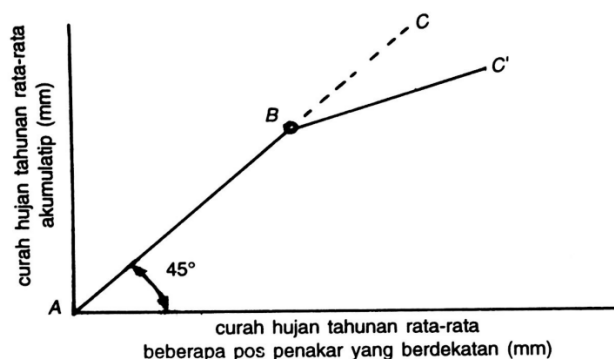
2.2.2 Uji Konsistensi

Ketelitian dalam memperhitungkan ramalan hidrologi sangat penting, yang tergantung dari konsistensi dalam data itu sendiri. Dalam mengamati hujan akan adanya ketidak konsisten yang akan menjadi terjadinya penyimpangan dalam suatu perhitungan. (Triatmodjo, 2010)

Ketidak telitian ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain :

1. Perubahan letak stasiun
2. Perubahan sistem pendataan
3. Perubahan iklim
4. Perubahan dalam lingkungan sekitar

Perubahan lokasi stasiun hujan merupakan salah satu prosedur pengukuran dalam memberikan pengaruh yang cukup tinggi dalam mengukur jumlah hujan. Sehingga dapat mengakibatkan terjadi kesalahan. Pencatatan hujan menggunakan metode kurva massa ganda (*double mass curve*). Metode ini membandingkan hujan yang terjadi tahunan (komulatif) di stasiun y terhadap stasiun referensi x. Stasiun referensi adalah nilai rerata dari stasiun yang terdekatnya, kemudian nilai – nilai langsung digambar pada sistem koordinat stasiun x – y. Apabila garis yang dilakukan dalam berbentuk lurus artinya pencatatan stasiun y dinyatakan konsisten. Jika apabila terjadinya kemiringan pada kurva atau berubah artinya pencatatan stasiun y perlu dikoreksi atau tidak konsisten. (Triatmodjo, 2010)



Sumber : (Soemarto, 1997)

Gambar 2. 3 Analisis Kurva Massa Ganda

Rumus :

$$Hz = Fk \cdot H_0 \dots\dots\dots (2.4)$$

$$Fk = \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_0} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan :

Hz = Data hujan yang perlu diperbaiki

H₀ = Data hujan hasil pengamatan

Fk = Faktor koreksi

Tan α = Kemiringan garis sebelum ada perubahan

Tan α₀ = Kemiringan garis sesudah ada perubahan

2.2.3 Curah Hujan Rencana

Curah hujan rencana merupakan salah satu curah hujan yang akan mungkin sering terjadi pada tahun tertentu. Contoh hujan rencana untuk periode ulang secara statistik dan dapat seri data curah hujan harian yang paling tertinggi atau maksimum dan jangka panjang dan menganalisis distribusi frekuensi. Curah hujan biasa dihitung dan didesain dengan periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun. (Soemarto, 1997)

Untuk mencari distribusi yang paling cocok dengan data yang tersedia dari pos – pos hujan yang ada di sekitar lokasi penelitian, maka perlu adanya dilakukan analisis frekuensi. Analisis frekuensi akan dilakukan dengan seri data hujan maupun data debit. Jenis – jenis distribusi frekuensi sering dilakukan dalam hidrologi adalah *Metode Distribusi Normal, Metode Distribusi Log Normal, Metode Distribusi Frekuensi Gumbel, dan Metode Log Pearson Type III.* (Soemarto, 1997)

1. Metode Distribusi Normal

$$X_T = X + k \dots\dots\dots (2.6)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Tabel 2. 1 Tabel Standar Variabel Kt

Tahun	Kt	T (Tahun)	Kt	T (Tahun)	Kt
1	-186	20	1,89	90	3,34
2	-0,22	25	2,1	100	3,45
3	0,17	30	2,27	110	3,53
4	0,44	35	2,41	120	3,62
5	0,64	40	2,54	130	3,70
6	0,81	45	2,65	140	3,77
7	0,95	50	2,75	150	3,84
8	1,06	55	2,86	160	3,91
9	1,17	60	2,93	170	3,97
10	1,26	65	3,02	180	4,03
11	1,35	70	3,08	190	4,09

Sumber : (Soewarno, 1995)

2. Metode Distribusi Log Normal

$$\log X = \frac{\sum \log X}{n} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$S_{\log X} = \sqrt{\frac{\sum (\log X - \log x)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

X = Nilai varian pengamatan

S_{log x} = Standar deviasi dari logaritma

n = Jumlah data

log X = Logaritma rata – rata

k = Faktor frekuensi

3. Metode Distribusi Frekuensi Gumbel

$$X_T = X + k \cdot S_x \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

X_T = Besarnya curah hujan yang terjadi dengan kala ulang T tahun

X = Rata – rata X maksimum dari seri data Xi

k = Faktor frekuensi

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

Y_n, S_n = Besaran yang mempunyai fungsi dari jumlah pengamatan

Y_t = Reduksi sebagai fungsi dari probabilitas

n = Jumlah data

Cs = *Coficient of Skwenness* (Koefisien Skwennes) Kemiringan

Ck = *Coeficient of Curtosis* (Kurtosis Koefisien) Kepencengan

Tabel 2. 2 Nilai Reduced Mean (Yn) dan Reduced Standard Deviation (Sn)

Hubungan reduced mean Yn dengan besarnya sampel n							
n	Yn	n	Yn	n	Yn	n	Yn
10	0,4952	34	0,5396	58	0,5515	82	0,5572
11	0,4996	35	0,5402	59	0,5518	83	0,5574
12	0,5035	36	0,541	60	0,5521	84	0,5576
13	0,5070	37	0,5418	61	0,5524	85	0,5578
14	0,5100	38	0,5424	62	0,5527	86	0,558
15	0,5128	39	0,5430	63	0,5530	87	0,5581
16	0,5157	40	0,5436	64	0,5533	88	0,5583
17	0,5181	41	0,5442	65	0,5535	89	0,5585
18	0,5202	42	0,5448	66	0,5538	90	0,5586
19	0,522	43	0,5453	67	0,5540	91	0,5587
20	0,5236	44	0,5458	68	0,5543	92	0,5589
21	0,5252	45	0,5463	69	0,5545	93	0,5591
22	0,5268	46	0,5468	70	0,5548	94	0,5592
23	0,5283	47	0,5473	71	0,5550	95	0,5593
24	0,5296	48	0,5477	72	0,5552	96	0,5595
25	0,5309	49	0,5481	73	0,5555	97	0,5596
26	0,5320	50	0,5485	74	0,5557	98	0,5598
27	0,5332	51	0,5489	75	0,5559	99	0,5599
28	0,5343	52	0,5493	76	0,5561	100	0,5600
29	0,5353	53	0,5497	77	0,5563		
30	0,5362	54	0,5501	78	0,5565		
31	0,5371	55	0,5504	79	0,5567		
32	0,5380	56	0,5508	80	0,5569		
33	0,5388	57	0,5511	81	0,5570		

Sumber : (Soemarto, 1997)

Tabel 2. 3 Reduced Variated Y_T

Periode Ulang (Tahun 2)	Reduced Variated
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
20	2,9606
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6011
200	5,296
500	6,214
1000	6,919
5000	8,539
10000	9,9210

Sumber : (Soemarto, 1997)

4. Metode Distribusi Log Pearson Type III

Metode ini dilakukan dengan mengonversikan data menjadi bentuk logaritma.

$$\log X = \frac{\sum \log x}{n} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$s \log X = \sqrt{\frac{\sum (\log X - \log X)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$Cs = n \frac{\sum_1^n (\log X - \log Xr)^3}{(n-1)(n-1)s_{13}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Nilai X bagi setiap probabilitas dihitung dari persamaan :

$$\log X = \log \bar{X} + k \cdot S_{\log x} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

Log X = Logaritma rata – rata

Slog X = Standar deviasi dari logaritma

Cs = Koefisien kepencengan

k = Faktor frekuensi

n = Jumlah data keterangan

XT = Besarnya curah hujan yang terjadi dengan kala ulang T tahun

X = Rata – rata hitung varian

Sx = Standar deviasi

K = Faktor frekuensi (nilai variabel reduksi *Gauss*)

Tabel 2. 4 Nilai Cs Distribusi Log Pearson Type III

Koefisien Cs	Waktu balik dalam tahunan							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
3,0	-0,986	0,420	1,180	2,278	3,152	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	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147	5,660
1,0	-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	0,709	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401	4,395
0,8	-0,132	0,780	1,336	1,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	-0,116	0,790	1,333	1,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0,5	-0,083	0,808	1,323	1,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-0,050	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0,1	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0,0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	0,017	0,836	1,270	1,716	2,000	2,252	2,482	2,950
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,660	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	1,216	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	1,448	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	1,318	1,351	1,465
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197	1,216	1,280
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087	1,097	1,130
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990	0,995	1,000
-2,2	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905	0,907	0,910
-2,6	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

Sumber : (Soemarto, 1997)

Untuk menganalisis data hujan atau data debit untuk memperoleh debit rencana, ada beberapa distribusi probabilitas kontinu yang dapat digunakan. Diantaranya Gumbel, Normal, Log Normal, dan Log Pearson Type III. Dalam menentukan jenis distribusi probabilitas yang sesuai data dilakukan dengan mencocokkan parameter data tersebut dengan syarat jenis distribusi seperti yang ada di tabel di bawah ini.

Tabel 2. 5 Persyaratan Parameter Statistik

No	Distribusi	Persyaratan
1	Gumbel	$C_s = 1,14$ $C_k = 5,4$
2	Normal	$C_s = 0$ $C_k = 3$
3	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3c$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
4	Log Pearson Type III	Selain Data dari atas atau dapat dikatakan $C_s \neq 0$ (dihitung dengan tabel koefisien kepengcengan positif dan negatif)

Sumber : (Triatmodjo, 2010)

2.2.4 Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi

Pemeriksaan uji kesesuaian ini dimaksudkan untuk mengetahui suatu kebenaran Hipotesis distribusi frekuensi. Pemeriksaan uji kesesuaian dapat dilakukan dengan *Uji Chi Square* dan *Uji Smirnov – Kolmogorov* (Soewarno, 1995)

1. Uji Chi Square

Uji Chi Square adalah sebagai penguji simpangan secara vertikal apakah distribusi pengamatan dapat diterima oleh distribusi teoritis. Perhitungan menggunakan persamaan (Soewarno, 1995)

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dengan :

X_h^2 = Parameter *Chi Square* terhitung

G = Jumlah sub kelompok

O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke – I

E_i = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke – I

Prosedur perhitungan adalah :

- 1) Mengurutkan data pengamatan dari yang terbesar hingga paling terkecil dan sebaliknya dari yang terkecil hingga paling terbesar.
- 2) Kelompokkan data pengamatan menjadi G sub Group tiap – tiap sub grup minimal 4 data pengamatan.
- 3) Jumlah data pengamatan sebesar O_i tiap – tiap sub grup

4) Jumlah data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i

5) Tiap – tiap sub grup hitung dengan nilai :

$$(O_i - E_i) \text{ dan } \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots (2.18)$$

6) Jumlah seluruh G grup nilai $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ untuk menentukan nilai *Chi Square* hitung.

Kriteria Pengujian

- Jika $x^2_{\text{Hitung}} \leq x^2_{\text{tabel}}$ Maka H_0 diterima
- Jika $x^2_{\text{Hitung}} \geq x^2_{\text{tabel}}$ Maka H_0 ditolak

Atau

- Jika Sig, $x^2_{\text{Hitung}} < \alpha$ Maka H_0 diterima
- Jika sig, $x^2_{\text{Hitung}} > \alpha$ Maka H_0 ditolak

Dimana :

H_0 = Sampel memenuhi syarat yang diuji

H_1 = Sampel tidak memenuhi distribusi yang diuji

Tabel 2. 6 Harga untuk Chi Square Test

dk	Derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,00016	0,00098	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,01	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,21	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,86
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,07	12,832	15,086	16,75
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,69	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,18	2,733	15,507	17,535	20,09	21,955
9	1,735	2,088	2,7	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,94	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,92	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,3
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,66	5,629	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,604	5,229	6,262	7,261	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,39	28,867	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,114	32,852	36,191	38,358
20	7,434	8,26	9,591	10,851	31,41	34,17	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,26	10,196	11,68	13,091	35,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,99	45,558
25	10,52	11,524	13,12	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,16	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,29
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,773	46,97	50,892	53,672

Sumber : (Soewarno, 1995)

2. Uji Smirnov Kolmogorov

Uji Smirnov Kolmogorov adalah digunakan untuk menguji distribusi secara horizontal dari probabilitas (Soewarno, 1995)

$$D = \text{maksimum } |P(X_m) - P'(X_m)| \dots\dots\dots (2.19)$$

Dengan :

D = Selisih terbesar antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis

P (X_m) = Peluang Pengamatan

P' (X_m) = Peluang teoritis dari persamaan distribusi yang dipakai

Dengan pemeriksaan uji ini akan dilakukan :

1. Kebenaran antara hasil pengamatan dengan model distribusi yang diharapkan atau diperoleh secara teoritis
2. Kebenaran hipotesis diterima atau ditolak

Prosedur adalah sebagai berikut :

1. Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan juga besarnya peluang dari masing – masing data tersebut.
2. Tentukan nilai masing – masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusi).
3. Dari kedua nilai peluang tersebut tentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.
4. Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov – Kolmogorov Test*). Tabel 2.7 bisa harga D_0 .
5. Apabila $D < D_0$ maka distribusi teoritis dapat dipakai untuk kelanjutan menentukan persamaan yaitu persamaan distribusi yang dapat diterima. Apabila $D > D_0$ maka distribusi teoritis tidak dapat dipakai atau diterima.

Tabel 2. 7 Nilai Kritis D_0 untuk Uji Smirnov - Kolmogorov

n	α (derajat kepercayaan)			
	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,3	0,34	0,4
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	0,2	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,2	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
n > 50	<u>1,07</u>	<u>1,22</u>	<u>1,36</u>	<u>1,63</u>
	$n^{0,5}$	$n^{0,5}$	$n^{0,5}$	$n^{0,5}$

Sumber : (Soewarno, 1995)

2.2.5 Analisis Debit Banjir Rencana

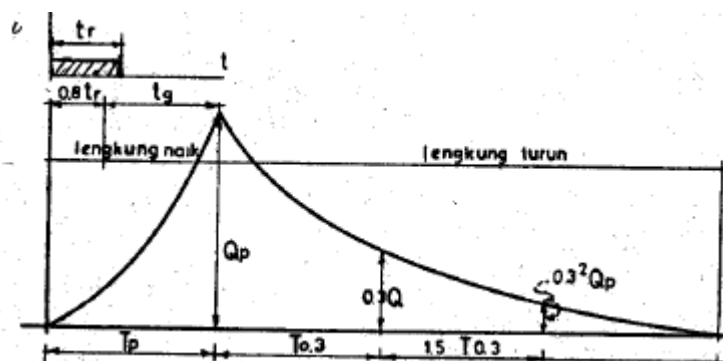
Analisa debit banjir rencana (Q) adalah proses memperkirakan besaran debit banjir maksimum yang mungkin terjadi di suatu lokasi pada periode ulang tertentu, dengan mempertimbangkan faktor – faktor hidrologi dan karakteristik daerah aliran sungai (DAS). Yang bertujuan untuk merencanakan bangunan air dan sistem drainase yang mampu menampung atau mengalirkan debit banjir tersebut tanpa menyebabkan kerusakan atau banjir yang merugikan. (Triatmodjo, 2010)

Analisis debit banjir rencana memiliki beberapa metode perhitungan yang dapat digunakan untuk menghitung debit banjir rencana. Terdapat metode yang digunakan untuk menghitung debit banjir rencana, yaitu metode hidrograf satuan sintetis, dan metode non hidrograf rasional.

Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

Nakayasu berasal dari Jepang, telah menyelidiki hidrograf satuan pada beberapa sungai di Jepang. Ia membuat rumus hidrograf satuan sintetis dari hasil penelitiannya. Rumus tersebut adalah

Bagian lengkung (*rising limb*) hidrograf satuan (lihat gambar 2.4). Mempunyai persamaan



Sumber : (C. D. Soemarto, 1997)

Gambar 2. 4 Bagian Lengkung Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

Time Lag (Tg) dan Waktu Puncak (Tp)

Time Lag dan Waktu Puncak ditentukan dari persamaan berikut

$$Tg = 0,4 + 0,05L \dots\dots\dots \text{ untuk } L > 15 \text{ km} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$Tg = 0,21L^{0,7} \dots\dots\dots \text{ untuk } L < 15 \text{ km} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$Tp = Tg + 0,8tr \dots\dots\dots (2.22)$$

$$Tr = 0,5 tg \text{ sampai } tg \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan :

Tp = Peak Time (jam)

Tg = Time Lag yaitu waktu terjadinya hujan sampai terjadinya debit puncak (jam)

$$\begin{aligned}
 Tr &= \text{Satuan waktu curah hujan (jam)} \\
 L &= \text{Panjang Sungai} \\
 Qp &= \frac{A \times R_0}{3,6(0,3Tp + T_{0,3})} \dots\dots\dots (2.24)
 \end{aligned}$$

- Dimana :
- Qp = Debit banjir puncak (m³/detik)
 - R₀ = Hujan satuan (mm)
 - Tp = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)
 - T_{0,3} = Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak menjadi 30 % dari debit puncak (jam)
 - α = Parameter hidrograf, dimana
 - α = 2.0 → Pada daerah pengaliran biasa
 - α = 1.5 → Pada bagian naik hidrograf lambat dan turun cepat
 - α = 3.0 → Pada bagian naik hidrograf cepat dan turun lambat

Berdasarkan parameter untuk mencari ordinat satuan sintetis nakayasu akan dilakukan perbandingan berdasarkan karakteristik lengkung Hidrograf Nakayasu

Tabel 2. 8 Karakteristik Lengkung Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

Karakteristik	Notasi	Persamaan
Lengkung Naik	$0 < t < T_p$	$Q_a = \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4}$
Lengkung turun tahap 1	$T_p < t < T_p + T_{0,3}$	$Q_{d1} = Q_p 0,3^{\left(\frac{t-T_p}{T_{0,3}}\right)}$
Lengkung turun tahap 2	$T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5 T_p$	$Q_{d2} = Q_p 0,3^{\left(\frac{t-T_p+0,5T_{0,3}}{1,5T_{0,3}}\right)}$
Lengkung turun tahap 3	$T > T_p + T_{0,3} + 1,5 T_p$	$Q_{d3} = Q_p 0,3^{\left(\frac{t-T_p+1,5T_{0,3}}{2,0T_{0,3}}\right)}$

Sumber : (C. D. Soemarto, 1997)

Non Hidrograf Rasional

Metode rasional banyak digunakan untuk memperkirakan debit puncak yang ditimbulkan oleh hujan deras pada daerah tangkapan (DAS) kecil. Suatu DAS disebut kecil apabila distribusi hujan dapat dianggap seragam dalam ruang dan waktu, dan biasanya durasi hujan melebihi waktu konsentrasi. Beberapa ahli memandang bahwa luas DAS kurang dari 2,5 km² dapat dianggap sebagai DAS kecil. (Triatmodjo, 2010)

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \dots\dots\dots (2.20)$$

Dengan :

- Q = Debit puncak yang ditimbulkan oleh hujan dengan intensitas, durasi dan frekuensi tertentu (m³/d)
- C = Koefisien aliran yang tergantung pada jenis permukaan lahan, yang nilainya diberikan pada

I = Intensitas hujan (mm/jam)
A = Luas daerah tangkapan (km²)
(Sumber Soemarto, 1986)

a. Koefisien Aliran Limpasan Permukaan (C)

Definisi sederhana dari koefisien ini adalah nilai konstanta yang berasal dari perbandingan antara nilai air yang mengalir di permukaan tanah dengan nilai hujan yang jatuh dalam suatu wilayah DAS. Beberapa parameter yang menentukan nilai dari koefisien ini adalah karakteristik tata guna lahan, karakteristik tanah maupun karakteristik DAS. Koefisien ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari karakteristik tata guna lahan terhadap nilai kehilangan dari curah hujan hingga menjadi aliran permukaan yang terkait dengan karakteristik vegetasi di atas permukaan tata guna lahan tersebut. Besarnya nilai koefisien aliran limpasan permukaan (C) dapat digunakan seperti pada tabel 2.8. (Tallar, 2023)

Tabel 2. 9 Koefisien Aliran Limpasan Permukaan (C)

Jenis Lahan Permukaan	Koefisien
Wilayah hutan dengan ketinggian yang berelevasi ekstrim	0,80 - 0,90
Wilayah hutan di perbukitan	0,70 - 0,80
Wilayah hutan yang memiliki sungai	0,50 - 0,70
Tanah bervegetasi	0,45 - 0,60
Sawah	0,70 - 0,80
Wilayah Perkotaan	0,25 - 0,50
Wilayah Industri padat	0,15 - 0,25

(Sumber : Tallar, 2023 : 97)

b. Waktu Konsentrasi (Tc)

Waktu Konsentrasi (Tc) adalah waktu yang diperlukan untuk mengalirkan air dari titik yang paling jauh pada daerah aliran ke titik yang ditinjau (kontrol) yang ditentukan di bagian hilir suatu saluran. Besarnya nilai Tc dapat dihitung dengan beberapa rumus, salah satunya rumus *Kirpich* (1940) di bawah ini :

$$T_c = \frac{0,06628L^{0,77}}{S^{0,385}} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dengan :

Tc = Waktu konsentrasi (m)
L = Panjang sungai / lereng (m)
S = Kemiringan lereng
(Tallar, 2023)

c. Intensitas Hujan (I)

Definisi intensitas curah hujan secara sederhana adalah jumlah air hujan yang jatuh pada suatu wilayah tertentu. Sebagai contoh untuk curah hujan 1 mm, artinya jumlah curah hujan yang jatuh pada suatu wilayah sebesar 1 liter/m². Satuan curah hujan dinyatakan dalam mm sedangkan derajat curah hujan dinyatakan dalam curah hujan per satuan waktu yang dikenal sebagai intensitas hujan. Untuk menentukan besar intensitas hujan dipergunakan rumus *Mononobe* yaitu :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dengan :

I = Intensitas hujan (mm/jam)

R₂₄ = Curah hujan harian maksimum (mm)

T = Waktu curah hujan (jam)

(Tallar, 2023)

d. Luas Daerah Tangkapan (A)

Luas daerah aliran sungai (DAS) adalah total luas daratan yang dialiri oleh sungai dan semua anak sungainya. Ini mencakup semua area dimana air hujan atau sumber air lainnya akan mengalir ke sungai utama. DAS bisa sangat bervariasi ukurannya, dari yang kecil hingga yang sangat besar.

2.3 Perhitungan Aliran Dasar (*Base Flow*)

Perhitungan aliran dasar (*base flow*) dapat dilakukan dengan pendekatan sebagai fungsi DAS, antara lain : kerapatan jaringan sungai dan panjang sungai utama.

$$D_d = \frac{L}{A} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$Q_B = 0,475 \times A^{0,6444} \times D_d^{0,6444} \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana :

Q_B = Aliran Dasar (*Base Flow*) m³/detik

A = Luas DAS (km²)

D_d = Kerapatan Jaringan Sungai

L = Panjang Sungai Utama (km)

2.4 Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah daerah yang dibatasi oleh punggung – punggung / pegunungan dimana air hujan yang akan jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai utama pada suatu titik / stasiun yang ditinjau. DAS kemudian ditentukan dengan menggunakan peta topografi yang akan dilengkapi dengan garis – garis kontur. Garis – garis kontur dipelajari untuk menentukan suatu arah dari limpasan permukaan. Limpasan berasal dari titik – titik tertinggi dan bergerak menuju titik – titik yang lebih rendah dalam arah tegak lurus dengan garis – garis kontur. Luas DAS diperkirakan dengan mengukur

suatu daerah itu pada peta topografi. Luas DAS sangat berpengaruh terhadap debit sungai. Pada umumnya semakin besar DAS semakin besar jumlah limpasan sehingga semakin besar pula suatu aliran permukaan atau debit sungai. (Triatmodjo, 2010)

2.4 Analisa Hidrolika

Analisa hidrolika merupakan bagian yang sangat penting dalam suatu perencanaan tanggul atau bangunan – bangunan air lainnya. Tujuan analisa hidrolika adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya debit banjir rencana (*flood design*) terhadap elevasi tanggul. Dimana besarnya debit banjir yang digunakan sebagai dasar untuk merencanakan kapasitas penampang sungai, dan ketinggian tanggul yang akan dibangun pada alur suatu sungai. Pada analisis ini dibutuhkan data – data pengukuran melintang sungai (*Cross Section*) dan hasil analisis banjir rencana periode ulang 5 tahun (Q5 th). Analisis hidrolika bertujuan pula untuk mengetahui kemampuan penampang dalam debit rencana. Salah satu penyebab banjir adalah karena ketidakmampuan penampang dalam menampung debit banjir yang terjadi. (Chow et al., 1988)

Perhitungan hidrolika ini dikenal sebagai *Standard Step Method* yaitu menghitung profil muka air pada setiap penampang melintang yang diselesaikan dengan metode iterasi. (Chow et al., 1988)



Gambar 2. 5 *Standard Step Method* (Chow et al., 1988)

Rumus :

$$Z_1 + \frac{a_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{a_2 v_2^2}{2g} + h_f + h_g \dots \dots \dots (2.25)$$

$$h_1 = LS_w + C \left[\frac{a_1 v_1^2}{2g} - \frac{a_2 v_2^2}{2g} \right] \dots \dots \dots (2.26)$$

Dengan

Z_1, Z_2 = Elevasi muka air pada setiap penampang melintang

- V_1, V_2 = Kecepatan aliran rata – rata penampang (m/det)
 α_1, α_2 = Koefisien kecepatan aliran
 g = Percepatan gravitasi (m/det²)
 h^f = Kehilangan tinggi energi karena gesekan (m)
 h_e = Kehilangan tinggi energi karena pusaran, dalam perhitungan praktis dianggap nol (m)
 L = Panjang pias yang ditinjau (m)
 S_w = Kemiringan garis permukaan air
 C = Koefisien ekspansi / kontraksi

Pembuatan model sungai dilakukan dengan model eksisting dan model desain berdasarkan data perencanaan untuk berbagai debit dengan menggunakan nilai koefisien kekasaran *Manning* yang didapat dengan perkiraan berdasarkan pengamatan kondisi alur sungai di lapangan. (Chow et al., 1988)

Rumus *Manning* :

$$\frac{Q}{A} = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \dots\dots\dots (2.27)$$

$$A = B \times H \dots\dots\dots (2.28)$$

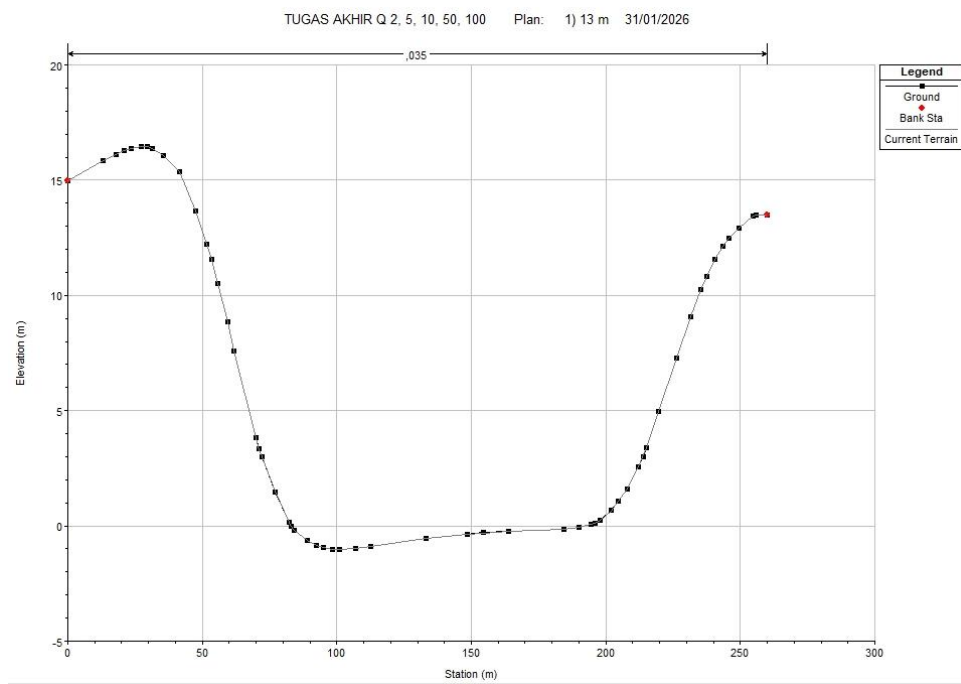
Dengan :

- Q = Debit aliran (m³/det)
 A = Luas tampang basah (m²)
 R = A/P = Radius Hidraulik (m)
 I = Kemiringan garis energi
 n = Koefisien kekasaran *Manning*
 B = Lebar basah (m)
 H = Kedalaman air (m)

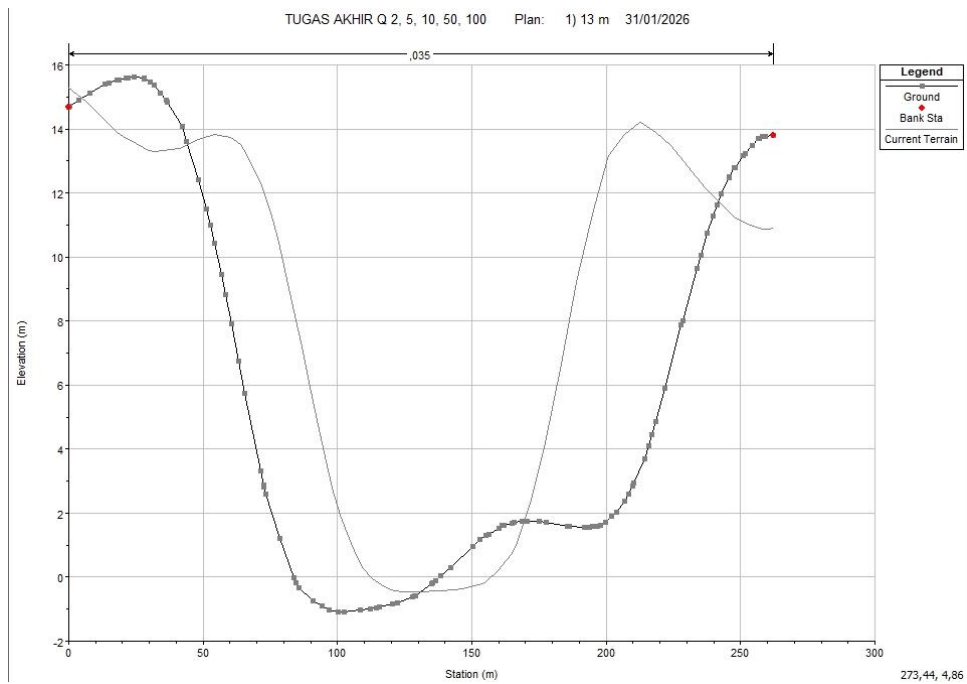
Analisis hidraulika dilakukan dengan pendekatan model aliran seragam (*Steady Flow Model*) menggunakan *software* HEC-RAS. (Chow et al., 1988)

2.4.1 Cross Section dan Long Section

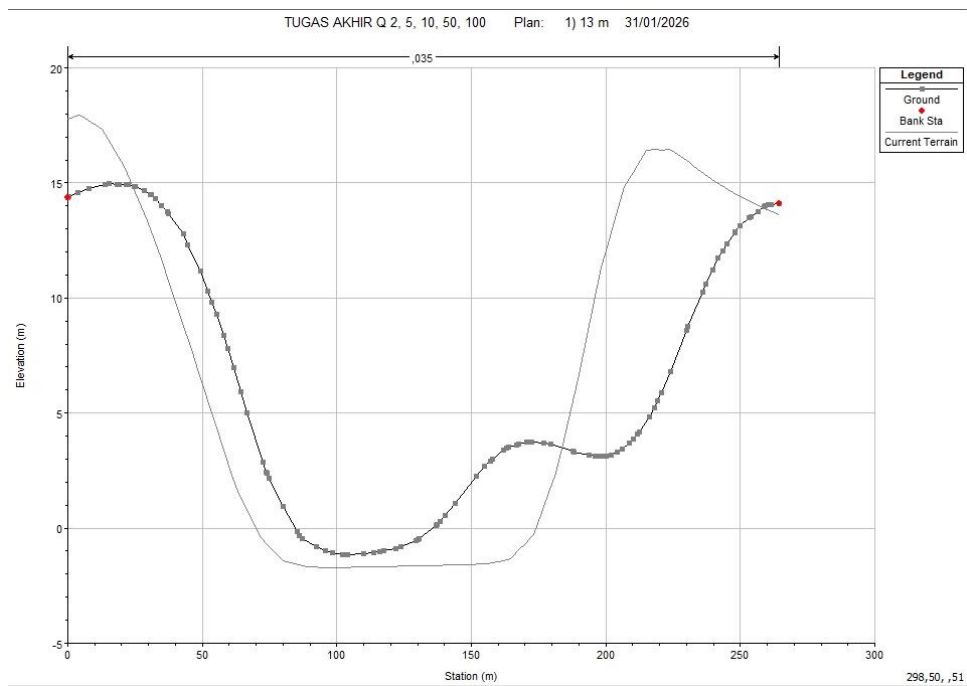
Cross section merupakan gambar irisan vertikal yang diambil tegak lurus terhadap arah memanjang tanggul (atau aliran sungai di dekatnya). Gambar ini menyajikan konfigurasi, dimensi, dan material penyusun tanggul secara rinci, yang berfungsi sebagai dasar untuk perencanaan, pembangunan, dan perhitungan kuantitas pekerjaan.



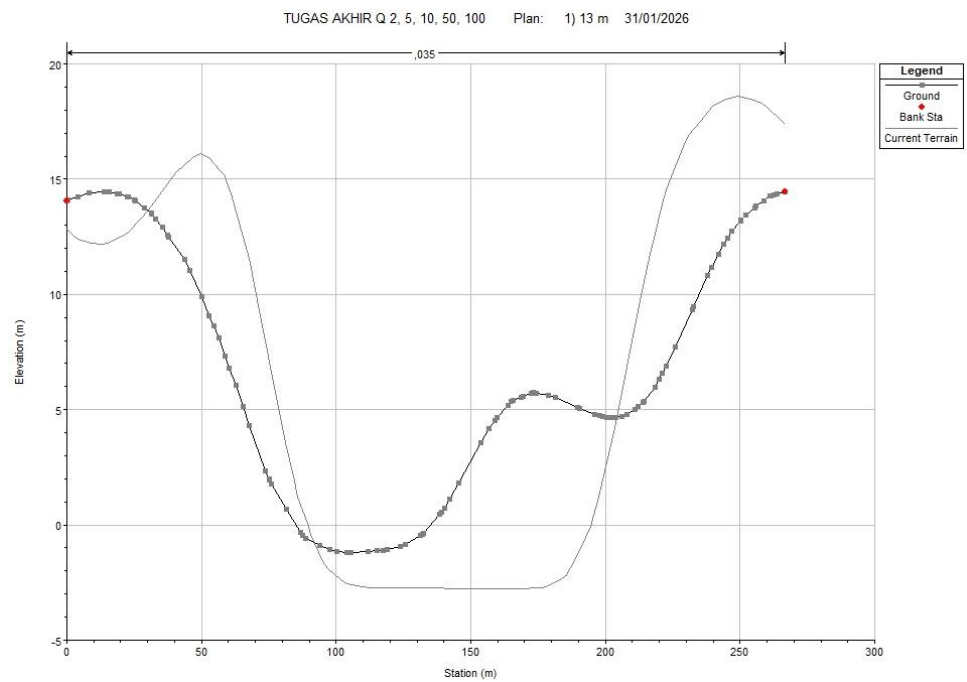
Gambar 2. 6 Cross Section Sta. 11



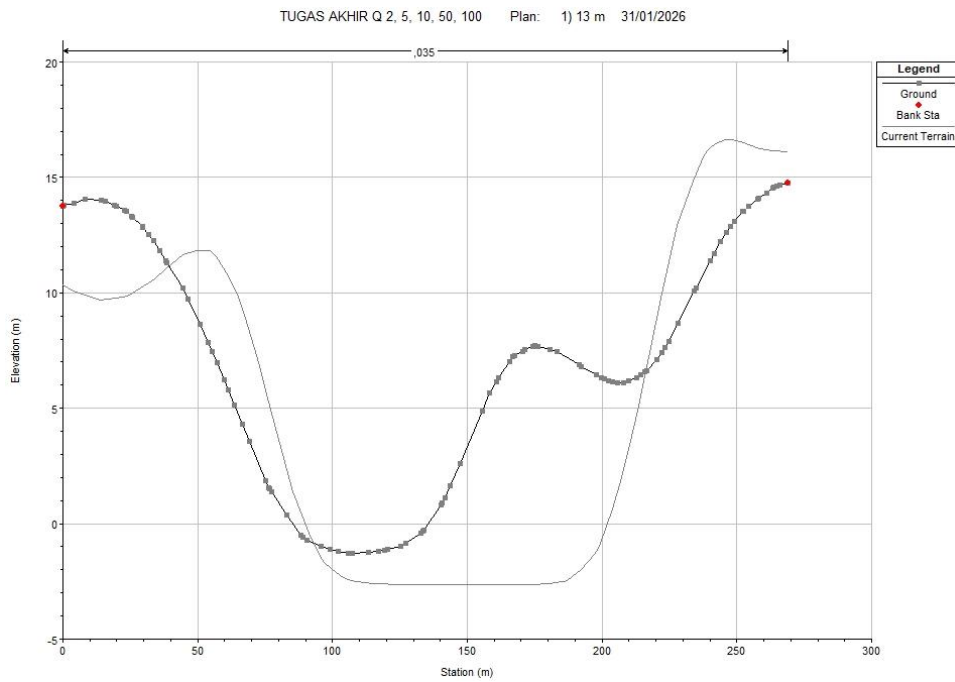
Gambar 2. 7 Cross Section Sta. 10



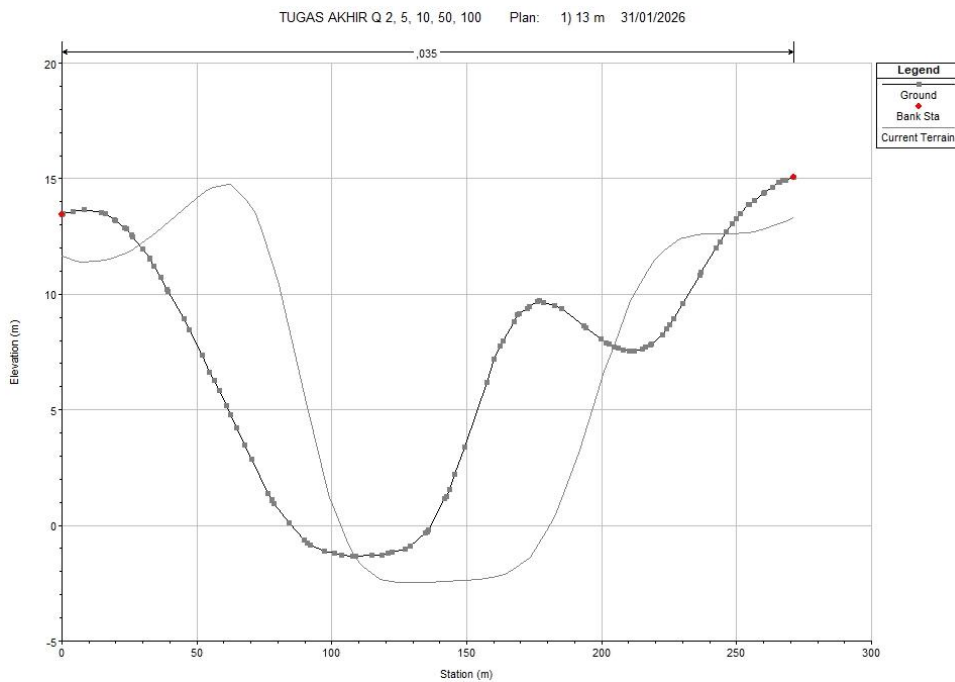
Gambar 2. 8 Cross Section Sta. 9



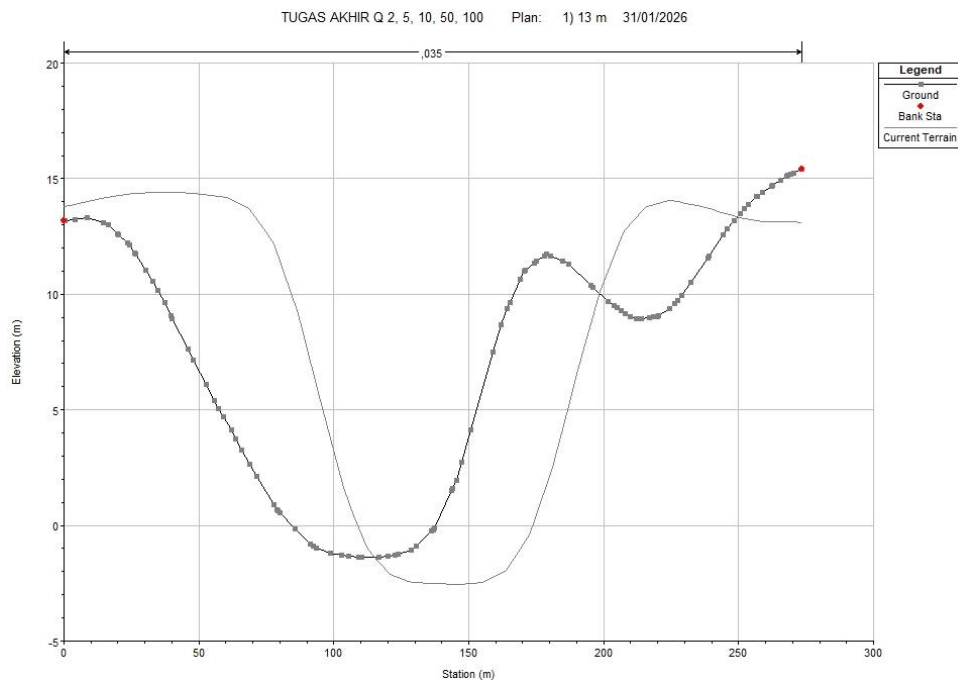
Gambar 2. 9 Cross Section Sta. 8



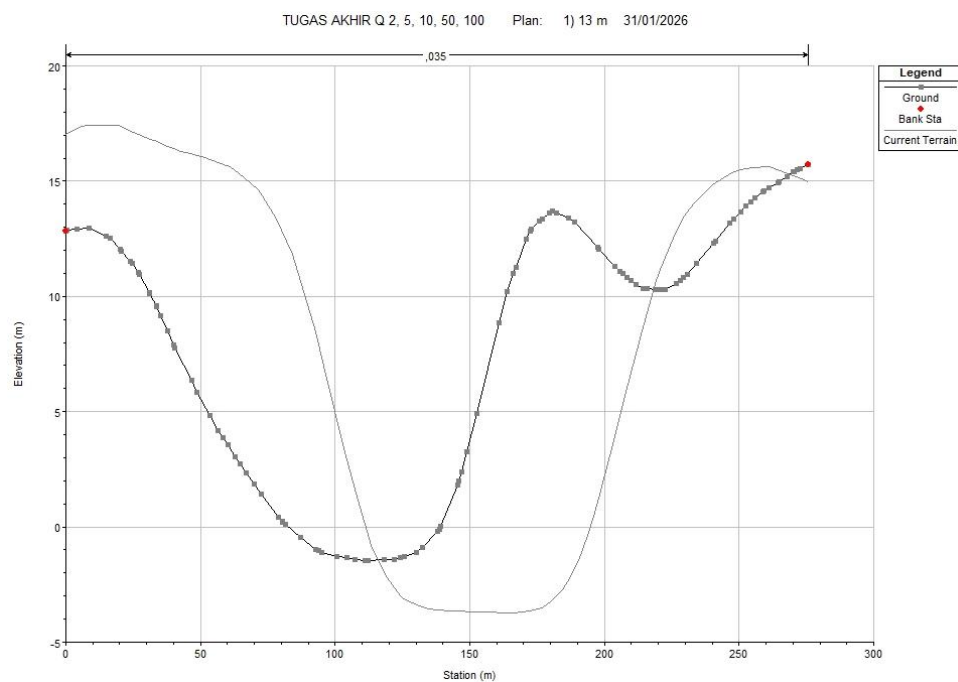
Gambar 2. 10 Cross Section Sta. 7



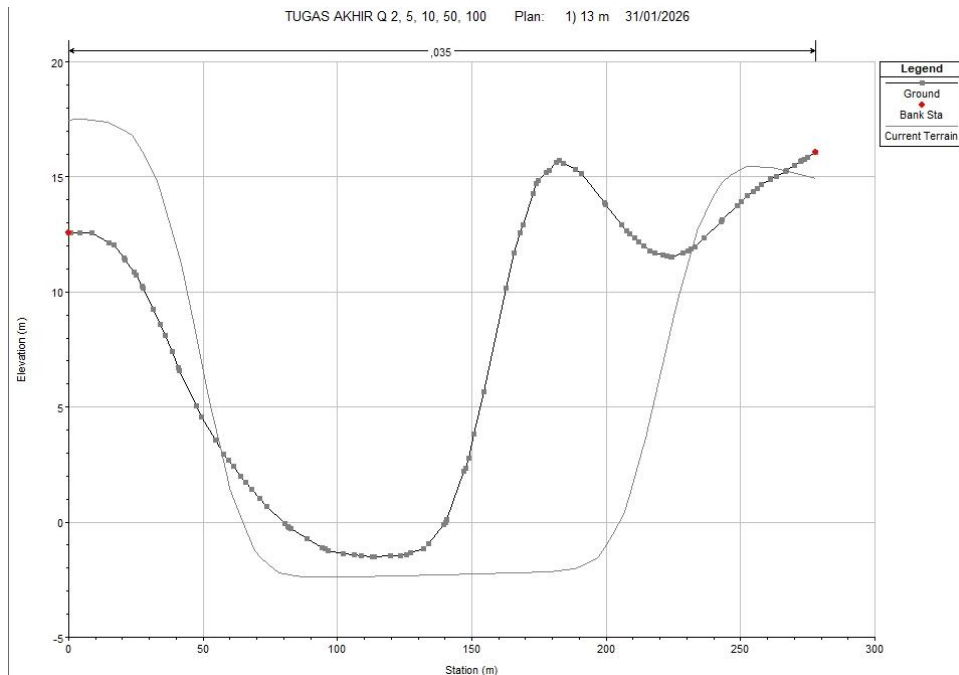
Gambar 2. 11 Cross Section Sta. 6



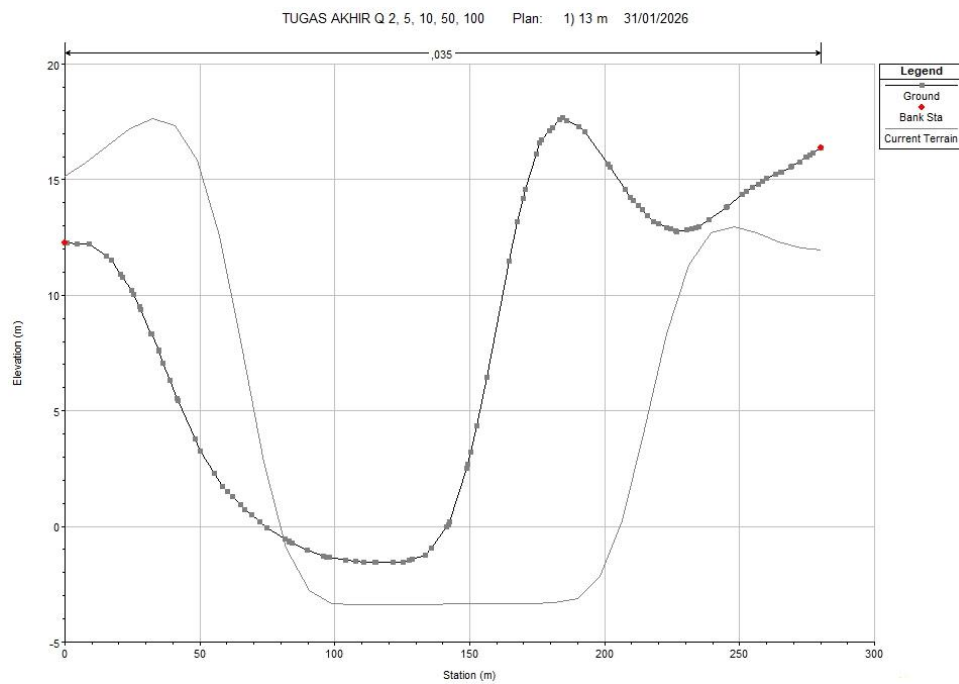
Gambar 2. 12 Cross Section Sta. 5



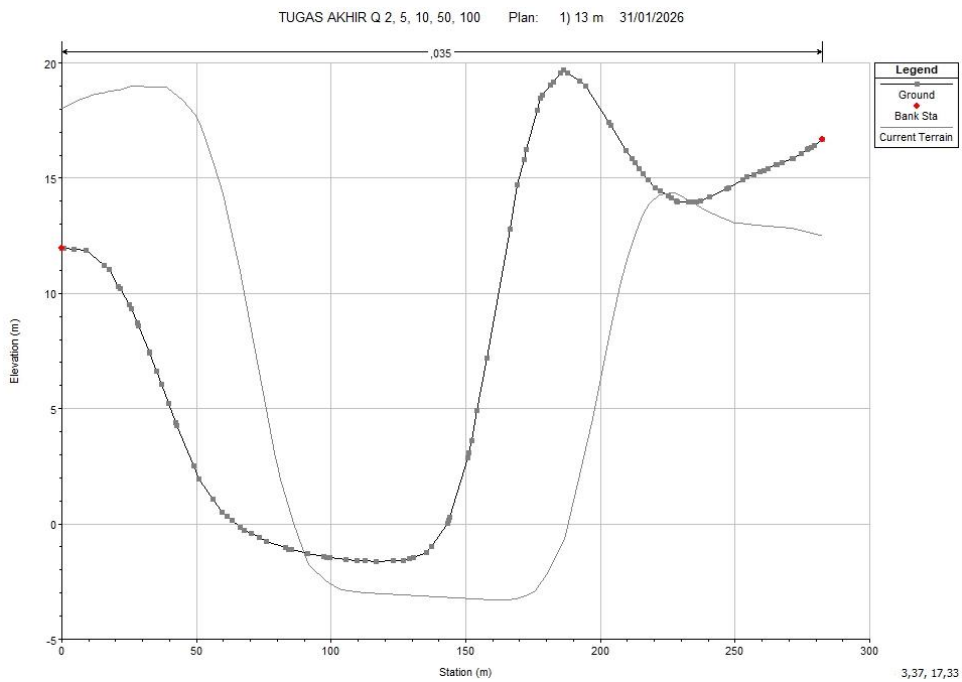
Gambar 2. 13 Cross Section Sta. 4



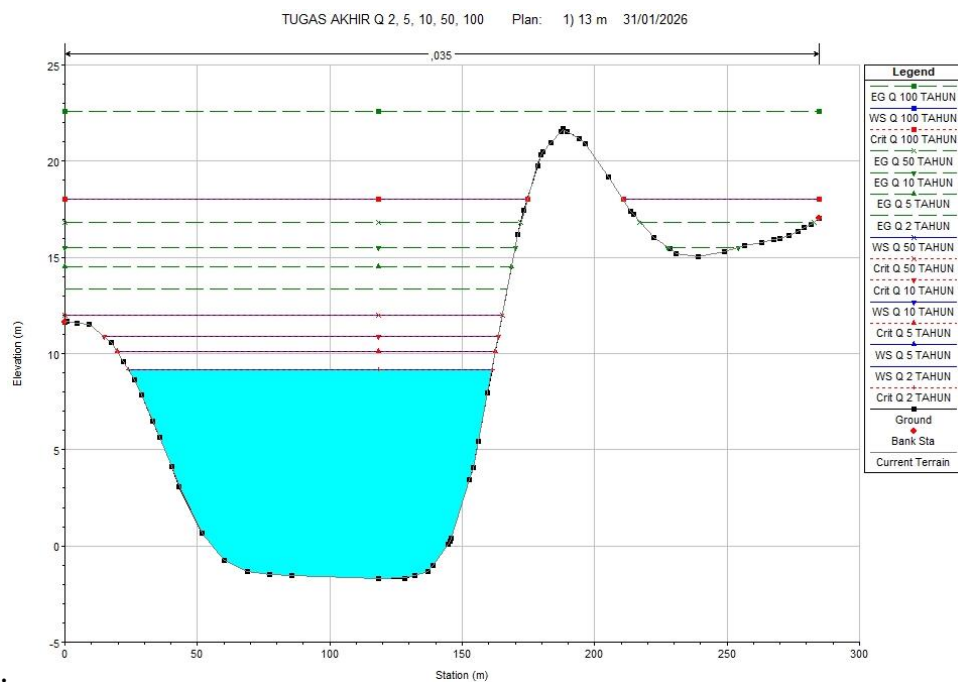
Gambar 2. 14 Cross Section Sta. 3



Gambar 2. 15 Cross Section Sta. 2

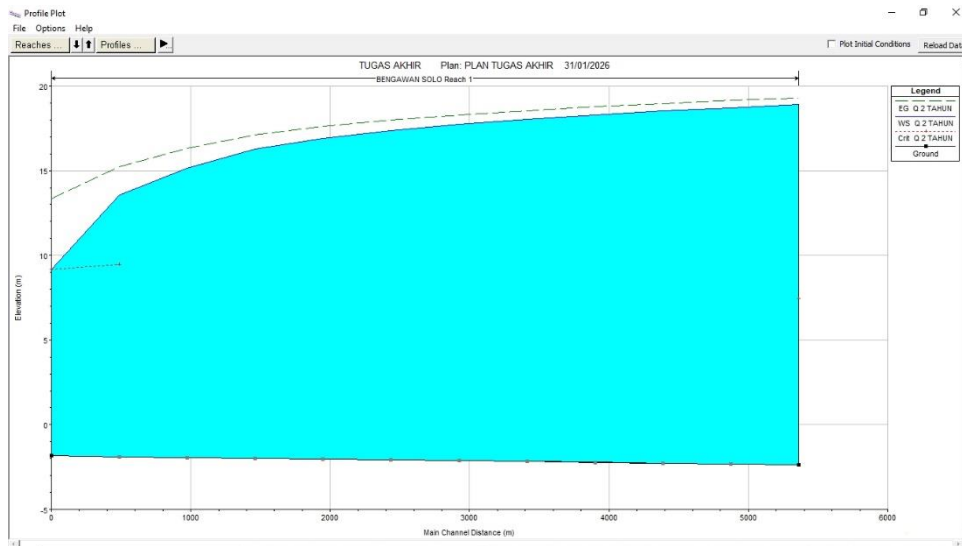


Gambar 2. 16 Cross Section Sta. 1



Gambar 2. 17 Cross Section Sta 0

Long section adalah representasi grafis atau gambar teknik yang menunjukkan “tampilan samping” dari tanggul tersebut sepanjang sumbu memanjangnya. Perbedaan dengan *cross section* (penampang melintang) yang menunjukkan irisan melintang tanggul pada titik tertentu.



Gambar 2. 18 Potongan Memanjang

2.5 Perencanaan Penanggulangan Banjir

Pada suatu daerah perlu dibuat sistem pengendalian yang baik dan efisien, dengan memperhatikan kondisi yang ada dan mengembangkan pemanfaatan sumber air yang mendatang.

Rencana pengendalian banjir tersebut dibuat dengan beberapa alternatif dan berbagai kombinasi. Dari alternatif sistem pengendalian yang ada, dipilih yang paling optimal, dengan pemberian angka nilai atau *score* untuk berbagai aspek peninjauan, sehingga salah satu sistem yang mempunyai total nilai yang tertinggi merupakan sistem terpilih.

2.5.1 Penanggulangan dengan Sistem Struktural

Penanggulangan menggunakan sistem struktur atau bangunan pengendali banjir yang memiliki klasifikasi dan juga sesuai dengan beberapa aspek pada suatu wilayah di sekitar sungai.

a. Bendungan

Bendungan adalah bangunan yang berupa urugan tanah, urugan batu, beton, dan / atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (*tailing*), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk (PP No 37 Tahun 2010). Bendungan atau dam adalah konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air menjadi waduk, danau, atau tempat rekreasi termasuk diantaranya menahan laju sedimentasi yang ditampung dalam tampungan mati / *dead storage* (Kodoatie, 1985)

b. Tanggul

Tanggul adalah penghalang yang didesain untuk menahan air banjir di palung sungai untuk melindungi daerah di sekitarnya. Tanggul juga berfungsi untuk melokalisasi banjir di sungai, sehingga tidak melimpas ke kanan dan ke kiri sungai yang merupakan daerah peruntukan. (Kodoatie, 1985)

c. Polder

Polder adalah sebidang tanah yang rendah, dikelilingi oleh *embankment* baik bisa berupa tanah urugan / timbunan atau tanggul pasangan beton atau batu kali yang membentuk semacam kesatuan hidrologi buatan, yang berarti tidak ada kontak dengan air dari daerah luar polder selain yang dialirkan melalui saluran buatan manusia bisa berupa saluran terbuka atau pipa.

Polder berfungsi sementara untuk menampung aliran banjir ketika sungai atau saluran tak bisa mengalir ke hilir secara gravitasi karena di sungai tersebut terjadi banjir dan ada air pasang di laut untuk daerah pantai. Bila mana polder penuh maka dipakai pompa untuk mengeluarkan air dalam polder tersebut sehingga daerah yang dilindungi tidak kebanjiran.

Untuk daerah rendah namun bila mempunyai nilai ekonomi tinggi, polder cukup efektif (misal perumahan elite) dibuat karena biaya operasional pompa cukup besar. Namun, untuk pemukiman padat dengan penghasilan penduduk rendah pemerintah setempat perlu memberi subsidi untuk operasional pipa.

d. Normalisasi Sungai

Normalisasi sungai adalah serangkaian tindakan yang dilakukan untuk memperbaiki tata air alami dari suatu sungai atau saluran air. Normalisasi sungai bertujuan untuk mengembalikan atau mempertahankan keadaan alami sungai, sehingga dapat mengalir dengan baik tanpa menimbulkan ancaman banjir atau erosi.

e. *Retarding Basin* (Kolam Retensi)

Retarding Basin adalah suatu kawasan (cekungan) yang didesain dan dioperasikan untuk tampungan (*storage*) sementara sehingga bisa mengurangi puncak banjir dari suatu sungai. Dapat dikatakan pada suatu tampungan (*reservoir*) yang mengurangi puncak banjir melalui simpanan sementara. *Retard* berarti memperlambat. (Kodoatie, 1985)

f. *Check Dam* (Penangkap Sedimen)

Check dam adalah bangunan kecil temporer atau tetap yang dibangun melintang / sungai untuk memperkecil kemiringan dasar memanjang sungai sehingga bisa mereduksi kecepatan air, erosi dan membuat sedimen bisa tinggal di bagian hulu bangunan. Sehingga bangunan ini bisa menstabilkan saluran atau sungai. (Aswar, 2021)

2.5.2 Penanggulangan dengan Sistem Non – Struktural

Analisis pengendalian banjir dengan tidak menggunakan bangunan pengendali akan memberikan pengaruh cukup baik terhadap regim sungai. Contoh aktivitas penanganan tanpa bangunan adalah sebagai berikut :

- a. Peraturan tata guna lahan,
- b. Pengendalian erosi,
- c. Pengembangan dan pengaturan daerah banjir,
- d. Penanganan kondisi darurat,
- e. Peramalan dan sistem peringatan banjir,
- f. Asuransi.

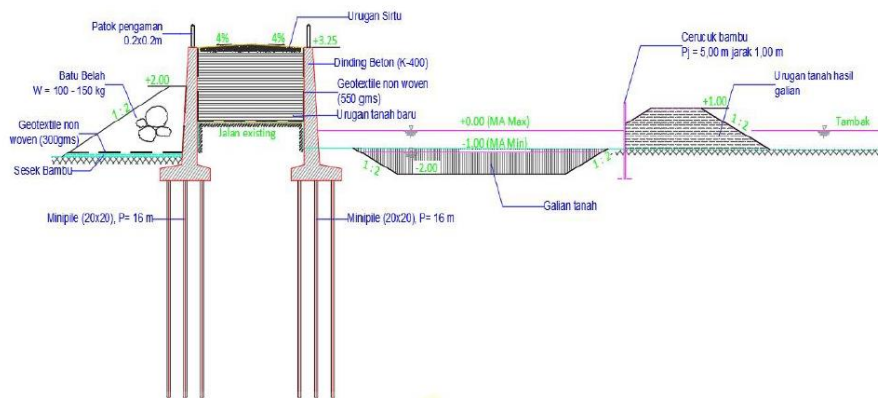
2.6 Perencanaan Tanggul

Tanggul di sepanjang sungai adalah bangunan yang paling penting dalam usaha untuk melindungi kehidupan dan harta benda manusia terhadap limpasan air yang terjadi karena banjir. Tanggul yang dibangun dan diutamakan konstruksi urugan tanah, serta tanggul merupakan bangunan menerus yang begitu panjang dan akan membutuhkan urugan yang bervolume yang sangat besar (Sosrodarsono & Takeda, 2003)

Dalam merencanakan suatu perencanaan tanggul memiliki kriteria-kriteria sebelum mau dibangun tanggul. Contoh dokumentasi tanggul dapat dilihat dalam Gambar 2.14 sampai Gambar 2.16. (Sosrodarsono & Takeda, 2003)



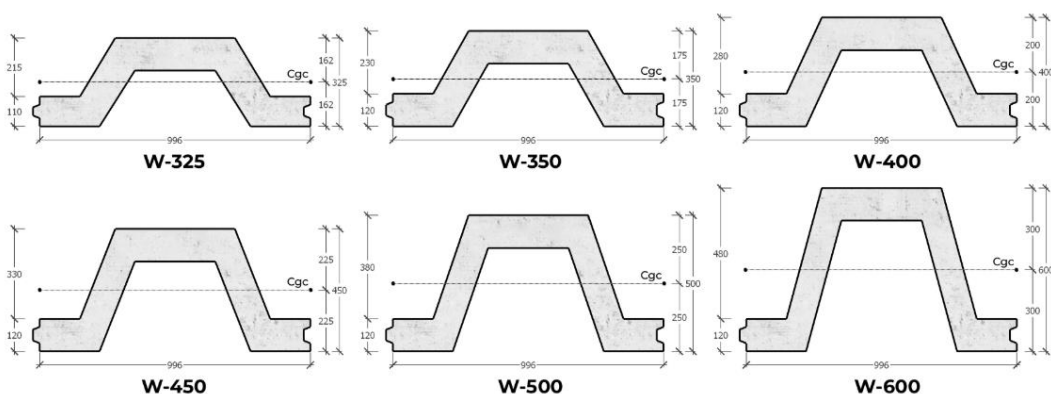
Gambar 2. 19 Tanggul *Minipile*



Gambar 2. 20 Visualisasi untuk tipe tanggul : Dinding beton penahan tanah dengan kekuatan *minipile*



Gambar 2. 21 Tanggul Sistem Panel Serbaguna (SPS)



Gambar 2. 22 Bahan *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP)

1. Tubuh tanggul harus kuat menerima tekanan air

2. Tubuh tanggul harus cukup stabil
3. Tubuh tanggul harus cukup tingginya.

2.6.1 Trase Tempat Kedudukan Tanggul

Garis bahu depan yang dimiliki suatu tanggul disebut sebagai trase (tempat kedudukan tanggul) lebih singkatnya trase tanggul. Hal-hal yang perlu dan sangat diperhatikan dalam menetapkan trase tanggul adalah. (Permatasari, 2015)

1. Lokasi Trase Tanggul

Menurut (Permatasari, 2015) berpendapat supaya trase tanggul atau kedudukan tanggul melintas tanah fondasi yang kedap airnya diusahakan agar dihindarkan dari fondasi tanah yang lemah, seperti contohnya rawa – rawa, lumpur lunak dan gambut.

2. Dalam menentukan arah trase tanggul agar diperhatikan hal – hal sebagai berikut :

- 1) Supaya dipilih suatu penampang basah sungai yang paling efektif
- 2) Kapasitas pengaliran maksimum
- 3) Trase tanggul harus searah dengan arus sungai dan harus dihindarkan terjadinya belokan yang tajam
- 4) Disahkan agar arah trase tanggul dipilih kiri dan kanan tanggul paralel mungkin lakukan dengan alur sungai, dan dihindarkan adanya perubahan lebar sungai. Yang paling mendadak adalah diusahakan agar bantaran sungai cukup besar, sehingga jarak antara sungai dan kaki tanggul cukup jauh. (Permatasari, 2015)

3. Jarak antara trase tanggul sungai

- 1) Jarak antara trase tanggul dianggap sebagai jarak antara kedua tanggul yang membujur di bagian kanan dan kiri sungai, yang ditetapkan berdasarkan sesuai dengan debit banjir rencana untuk sungai tersebut. Kemiringan dan tinggi muka air yang terjadi pada air banjir perlu adanya pelebaran jika terjadi arah serta kecepatan arus sungai menurut (Permatasari, 2015)
- 2) Guna menentukan debit sungai umumnya digunakan formula *Chezy* sebagai berikut :

$$Q = CBH \frac{3}{1} / \frac{1}{2} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana :

- Q = Debit (m³/detik)
- C = Koefisien Chezy
- B = Lebar Sungai
- H = Kedalaman Rata – rata
- I = Kemiringan Permukaan Sungai

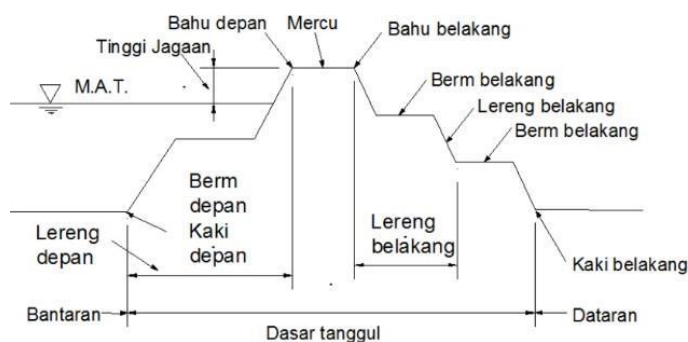
2.6.2 Bentuk Penampang Melintang Tanggul

1. Bagian Tanggul

Bentuk standar dan nama bagian dari tanggul lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.22.

2. Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan adalah sebagai tambahan tinggi untuk sebuah tanggul dan untuk penampang loncatan air melalui permukaan air sungai yang mengalir. Loncatan ini terjadi karena adanya ombak dan gelombang. Loncatan hidrolik pada waktu terjadinya banjir kenaikan permukaan air sungai dapat terjadi akibat gejala naik turunnya dasar sungai yang disebabkan oleh beberapa proses penggerusan dan terjadinya pengendapan pada dasar sungai tersebut yang biasa disebut sebagai evolusi dasar sungai. (Kodoatie, 1985)



Gambar 2. 23 Bentuk standar dan nama bagian tanggul
Sumber : (Kodoatie, 1985)

Tabel 2. 10 Hubungan antara debit banjir rencana dan tinggi jagaan

No	Debit banjir rencana (m^3/detik)	Jagaan (m)
1	≤ 200	0,6
2	200 - 500	0,8
3	500 - 2000	1,0
4	2000 - 5000	1,2
5	5000 - 10000	1,5
6	≥ 10000	2,0

Sumber : (Kodoatie, 1985)

3. Lebar Mercu Tanggul

Pada daerah yang padat dimana areal pertanian memperoleh tanah untuk sebagai tempat kedudukan tanggul sukar atau mahal. Pembangunan tanggul dengan mercu yang lereng dan lebarnya cukup curam. Sehingga kelihatannya cukup memadai khususnya apabila ditinjau dari segi stabilitas tanggulnya. Akan tetapi mercu yang biasanya memiliki lebar 3-7 meter dan diperlukan apabila ditinjau dari keperluan dan perondaan di waktu banjir dan sebagai jalan-jalan inspeksi serat logistik sebagai pemeliharaan tanggul. Berikut ini merupakan standar lebar mercu berdasarkan sesuai dengan debit rencana. (Kodoatie, 1985)

Tabel 2. 11 Lebar standar mercu

No	Debit banjir rencana (m ³ /detik)	Jagaan (m)
1	≤ 500	3,0
2	500 - 2000	4,0
3	2000 - 5000	5,0
4	5000 - 10000	6,0
5	≥ 10000	7,0

(Sumber : Kodoatie, 1985)

4. Kemiringan Lereng Tanggul

Penentuan kemiringan lereng tanggul merupakan tahapan yang terpenting dalam merencanakan sebuah tanggul yang berkaitan dengan infiltrasi air dalam tubuh tanggul dan serta karakteristik mekanika tanah tubuh bendungan tersebut. Dalam keadaan biasa tanpa perkuatan lereng tanggul direncanakan dengan kemiringan 1:2 atau lebih kecil (Permatasari, 2015)

Berm (tanggul) dan elevasi kemiringan tanggul dasar memiliki hubungan yang sangat begitu erat satu sama lainnya. Kedua harus ditentukan melalui suatu pengujian terhadap bahan badan tanggul, durasi banjir, stabilitas terhadap kebocoran dari air hingga fondasi subsoil pada tanggul tersebut. Dengan cara mengetahui hal – hal sebagai berikut. (Permatasari, 2015)

1. *Berm* harus disediakan tiap 3 – 5 m dari puncak pada sisi bagian air bila tinggi tanggul 6 m atau lebih, dan tiap – tiap 3 meter dari puncak pada sisi bagian tanah bila tinggi tanggul 4 m atau lebih.
2. Lebar 3 m atau lebih miring tanggul harus merupakan kemiringan landai 1:2 atau lebih, namun hal itu tidak perlu bila tanggul permukaan dilapisi dengan beton atau bahan serupa. (Permatasari, 2015)

2.6.3 Analisa Stabilitas Lereng

Pada permukaan tanah yang tidak horizontal, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini, disebut analisis stabilitas lereng. Analisis ini sering digunakan dalam perancangan- perancangan bangunan seperti jalan kereta api, jalan raya, bandara, bendungan urugan tanah, saluran, dan lain-lainnya. Umumnya, analisis stabilitas dilakukan untuk mengecek keamanan dari lereng alam, lereng galian, dan lereng urugan tanah. (Hardiyatmo, 2002)

Maksud analisis stabilitas lereng adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor. Faktor aman didefinisikan sebagai nilai banding antar gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan.

$$Fk = \frac{\tau}{\tau_d} \dots\dots\dots (2.30)$$

Dimana :

- τ = Tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah
- τ_d = Tegangan geser yang terjadi akibat gaya tanah yang akan longsor
- Fk = Faktor keamanan

Untuk maksud memberikan faktor aman terhadap masing – masing komponen kuat geser, faktor aman dapat dinyatakan oleh :

$$Fc = \frac{c}{c_d} \dots\dots\dots (2.31)$$

$$F\phi = \frac{tg\phi}{tg\phi_d} \dots\dots\dots (2.32)$$

Dengan Fc = faktor aman pada komponen kohesi dan F = faktor keamanan pada komponen gesekan. Secara teoritis tingkat nilai faktor keamanan.

Tabel 2. 12 Tingkat Nilai Faktor Keamanan (FK)

Fk	Keterangan
$Fk < 1,07$	Labil
$1,07 < Fk < 1,25$	Kritis
$Fk > 1,25$	Stabil

Sumber : (Craig, 1989)

1. Metode Irisan (*Slice of Method*)

Dalam metode ini, permukaan runtuh potensial pada potongan, diasumsikan berbentuk busur lingkaran dengan pusat O dengan jari – jari r . Massa tanah

(ABCD) di atas permukaan runtuh coba – coba (AC) dibagi oleh bidang – bidang vertikal menjadi sejumlah irisan dengan lebar b , seperti diperlihatkan pada gambar 2.5. Dasar dari setiap irisan diasumsikan sebagai garis lurus. Untuk setiap irisan, sudut yang dibentuk oleh dasar irisan dan sumbu horizontal adalah α dan tingginya, yang diukur pada garis sumbu, adalah h . Faktor keamanan didefinisikan sebagai rasio kekuatan geser yang ada (τ_f) terhadap kekuatan geser (τ_m) yang harus dikerahkan untuk mempertahankan syarat batas keseimbangan, yaitu : (Craig, 1989)

$$F = \frac{\tau_f}{\tau_m} \dots\dots\dots (2.33)$$

Faktor keamanan diambil sama untuk setiap irisan, agar terdapat keadaan yang saling mendukung di antara irisan – irisan, jadi harus ada gaya yang bekerja di antara irisan – irisan tersebut.

Gaya (per satuan yang tegak lurus terhadap potongan) yang bekerja pada irisan adalah : (Craig, 1989)

- 1) Berat total irisan, $W = \gamma b h$ (γ_{sat} bila diperlukan).
- 2) Gaya normal total pada dasar, N (sama dengan σl). Umumnya, gaya ini memiliki dua buah komponen, yaitu gaya normal efektif N' (sama dengan $\sigma' l$) dan gaya air batas U (*boundary water force*), (sama dengan $u l$), dimana u adalah tekanan air pori pada pusat dasar dan l adalah panjang dasar.
- 3) Gaya geser pada dasar, $T = \tau_m l$.
- 4) Gaya normal total pada sisi – sisi E_1 dan E_2 .
- 5) Gaya geser pada sisi – sisi, X_1 dan X_2 .

Setiap gaya luar juga harus diperhitungkan dalam analisis. Masalah ini adalah statis tak tentu dan untuk mendapatkan penyelesaian, harus dibuat asumsi tentang gaya – gaya antar irisan (*interslice forces*) E dan X , di mana faktor keamanan yang didapat tidak akurat. (Craig, 1989)

Dengan meninjau momen terhadap O , maka jumlah momen akibat gaya – gaya geser T pada busur keruntuhan AC harus sama dengan momen akibat berat massa tanah ABCD. Untuk setiap irisan, lengan momen W adalah $r \sin \alpha$, sehingga : (Craig, 1989)

$$\sum Tr = \sum W \sin \alpha \dots\dots\dots (2.34)$$

Sekarang,

$$T = \tau_m l = \frac{\tau_f}{F} l \dots\dots\dots (2.35)$$

$$\sum \frac{\tau_f}{F} l = \sum W \sin \alpha \dots\dots\dots (2.36)$$

$$F = \frac{\sum \tau_f l}{\sum W \sin \alpha} \dots\dots\dots (2.37)$$

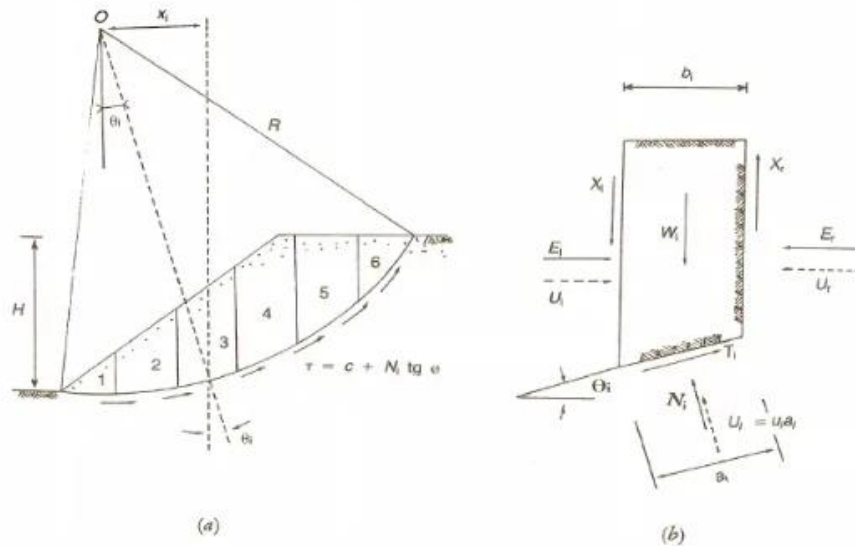
Untuk analisis yang menggunakan tegangan efektif,

$$F = \frac{\sum (c' + \sigma' \tan \phi') l}{\sum W \sin \alpha} \dots\dots\dots (2.38)$$

atau

$$F = \frac{c' L_a + \tan \phi' \sum N'}{\sum W \sin \alpha} \dots\dots\dots (2.39)$$

Dimana L_a adalah panjang busur AC. Persamaan 2.39 cukup tepat tetapi tetap ada pendekatan dalam menentukan gaya N' . Untuk busur keruntuhan yang diberikan, nilai F akan tergantung pada bagaimana gaya N' tersebut diperkirakan. (Craig, 1989)



Gambar 2. 24 Gaya - gaya yang ada pada tiap bidang longsor

2. Methode Fellenius

Dalam penyelesaian ini diasumsikan bahwa untuk setiap irisan, resultan gaya – gaya antar irisan adalah nol. Penyelesaian tersebut meliputi penyelesaian ulang untuk gaya – gaya pada setiap irisan yang tegak lurus terhadap dasar, yaitu : (Craig, 1989)

$$N' = W \cos \alpha - ul \dots\dots\dots (2.40)$$

Kemudian, faktor keamanan yang dinyatakan dalam tegangan efektif (persamaan 2.33) diberikan oleh

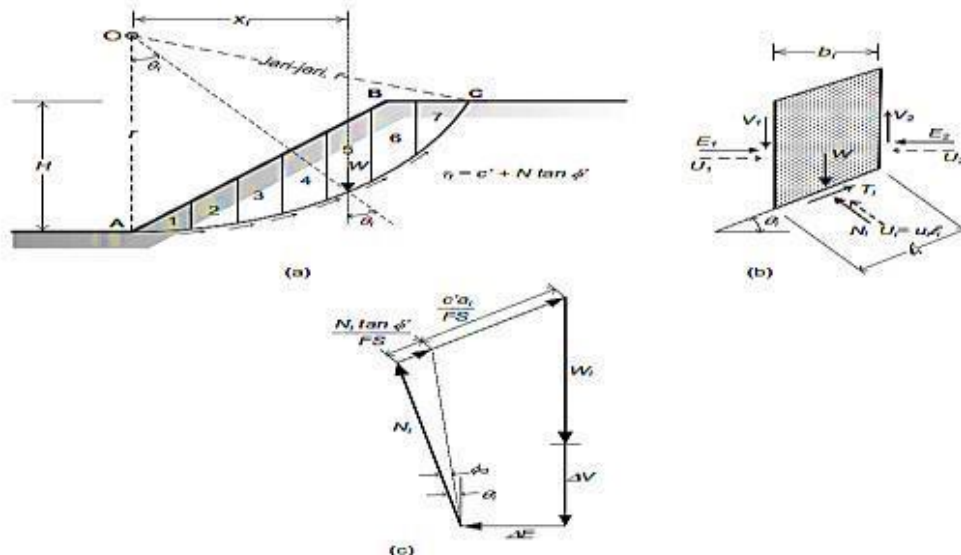
$$F = \frac{c_u L_a + \tan \phi' (W \cos \alpha - ul)}{\sum W \sin \alpha} \dots\dots\dots (2.41)$$

Komponen – komponen $W \cos \alpha$ dan $W \sin \alpha$ dapat ditentukan secara grafis untuk setiap irisan. Alternatif lain, nilai α dapat diukur atau dihitung. Sekali lagi, sejumlah permukaan keruntuhan coba – coba harus dipilih untuk mendapatkan faktor keamanan yang minimum. Penyelesaian ini menghasilkan perkiraan faktor keamanan yang lebih kecil. Kesalahannya, jika dibandingkan dengan metode analisis yang lebih akurat, biasanya berada dalam rentang 5 – 20 %. (Craig, 1989)

Untuk suatu analisis yang menggunakan tegangan total, digunakan parameter – parameter c_u dan ϕ_u dan nilai u pada Persamaan 2.41 adalah nol. Bila $\phi_u = 0$ faktor keamanannya adalah (Craig, 1989)

$$F = \frac{c_u L a}{\Sigma_l W \sin \alpha} \dots\dots\dots (2.42)$$

Karena N' tidak tampak dalam Persamaan 2.42, maka didapat nilai F yang akurat.



Gambar 2. 25 Gaya - gaya yang bekerja pada irisan

3. Metode Bishop

Dalam penyelesaian ini diasumsikan bahwa resultan gaya pada sisi irisan adalah horizontal, yaitu : (Craig, 1989)

$$X_1 - X_2 = 0 \dots\dots\dots (2.43)$$

Untuk keseimbangan gaya geser pada setiap irisan adalah (Craig, 1989)

$$T = \frac{1}{F} (c'l + N' \tan \phi') \dots\dots\dots (2.44)$$

Dengan menyelesaikan kembali gaya – gaya dalam arah vertikal (Craig, 1989)

$$W = N' \cos \alpha + ul \cos \alpha + \frac{c'l}{F} \sin \alpha + \frac{N'}{F} \tan \phi \sin \alpha \dots\dots\dots (2.45)$$

$$N' = \left(W - \frac{c'l}{F} \sin \alpha - ul \cos \alpha \right) / \left(\cos \alpha + \frac{\tan \phi' \sin \alpha}{F} \right) \dots\dots\dots (2.46)$$

Dengan menstubsitusikan

$$1 = b \sec \alpha' \dots\dots\dots (2.47)$$

Maka, dari persamaan 2.33, sesudah disusun kembali, didapatkan :

$$F = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum \left[\{c'b + (W - ub) \tan \phi'\} \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi'}{F}} \right] \dots\dots\dots (2.48)$$

Tekanan air pori dapat dihubungkan dengan “tekanan pengisian total” (*total fill press-sure*) pada setiap titik dengan menggunakan *rasio tekanan pori* yang tak berdimensi, yang didefinisikan sebagai (Craig, 1989)

$$\gamma_u = \frac{u}{\gamma h} \dots\dots\dots (2.49)$$

(γ_{sat} bila diperlukan). Untuk setiap irisan,

$$\gamma_u = \frac{u}{W/b} \dots\dots\dots (2.50)$$

Sehingga persamaan 2.42 dapat ditulis : (Craig, 1989)

$$F = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum \left[\{c'b + W(1 - \gamma_u) \tan \phi'\} \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi'}{F}} \right] \dots\dots\dots (2.51)$$

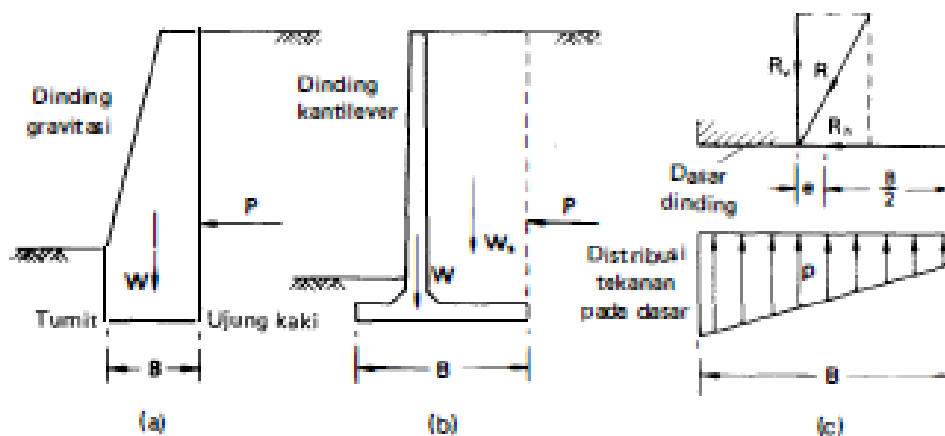
Karena faktor keamanan ada pada kedua ruas Persamaan 2.51, maka harus digunakan suatu proses pendekatan bertahap untuk memperoleh penyelesaian tetapi dengan konvergensi yang tepat.

Berhubung adanya perhitungan berulang dan diperlukannya pilihan sejumlah permukaan keruntuhan coba – coba yang tepat, maka metode irisan biasanya diselesaikan dengan menggunakan komputer geometri lereng yang lebih kompleks dan lapisan tanah yang berbeda akan dapat diselesaikan dengan metode ini.

2.7 Dinding Penahan Tanah

Stabilitas suatu dinding penahan gravitasi (*gravity retaining wall*, Gambar 2.25a) diakibatkan oleh berat sendiri dinding, dan mungkin dibantu oleh tahanan pasif yang terbentuk di depan dinding tersebut. Dinding jenis ini tidak ekonomis karena bahan dindingnya (pasangan batu atau beton) hanya dimanfaatkan untuk membentuk berat matinya. Dinding kantilever (*Cantilever Wall*) yang terbuat dari beton bertulang (Gambar 2.25b) lebih ekonomis karena urugan (*backfill*) itu sendiri dimanfaatkan untuk menahan berat sendiri yang diperlukan. Kedua jenis dinding tersebut dapat diandalkan untuk menahan gerakan – gerakan rotasi maupun translasi dan teori – teori *Rankine* dan *Coulomb* digunakan dalam perhitungan tekanan lateral. (Craig, 1989)

Dinding penahan tersebut secara keseluruhan harus memenuhi dua kondisi dasar : (1) tekanan di dasar pada ujung kaki (*toe*) dinding tidak boleh lebih besar dari daya dukung yang diizinkan pada tanah; (2) faktor keamanan terhadap gelinciran antara dasar dan lapisan tanah di bawahnya harus memadai, biasanya ditentukan sebesar 1,5. Tahanan pasif di depan dinding tidak perlu ditinjau kecuali pada hal – hal tertentu di mana tanah dianggap akan tetap keras dan tidak terganggu, suatu asumsi yang jarang dilakukan. (Craig, 1989)



Gambar 2. 26 Dinding Penahan Gravitasi dan Kantilever

Langkah pertama dalam desain adalah menentukan semua gaya yang bekerja pada dinding, dari mana akan diperoleh komponen – komponen horizontal R_h dan vertikal R_v dari resultan gaya R yang bekerja pada dasar dinding. Posisi gaya R (Gambar 2.25c) kemudian ditentukan dengan membagi jumlah aljabar momen – momen dari semua gaya terhadap sembarang titik pada dasar dinding dengan komponen vertikal R_v . Untuk memastikan bahwa tekanan pada dasar dinding tetap berupa kompresi pada sepanjang dasar tersebut, resultan R harus bekerja pada sepertiga bagian tengah dasar dinding, yaitu eksentritas (e) dari resultan pada dasar dinding tidak boleh lebih besar dari $B/6$, dimana B adalah lebar dasar dinding. Jika aturan sepertiga bagian tengah tersebut diobservasi, harus pula dipastikan bahwa faktor keamanan terhadap guling (*overturning*) dari dinding cukup memadai. Jika diasumsikan suatu distribusi tekanan (p) yaitu *linear* pada selebar

dasar dinding, tekanan – tekanan maksimum dan minimum pada dasar dinding dapat dihitung dari pernyataan berikut : (Craig, 1989)

$$p = \frac{R_v}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \dots\dots\dots (2.52)$$

Dimana :

- p = Tekanan
- R_v = Gaya pada vertikal
- B = Lebar fondasi
- e = Eksentritas

Faktor keamanan terhadap gelinciran (*F_g*) dengan mengabaikan tahanan pasif di depan dinding, diberikan oleh : (Craig, 1989)

$$F_g = \frac{R_v \tan \delta}{R_h} \dots\dots\dots (2.53)$$

Dimana :

- F_g = Faktor keamanan terhadap gelinciran
- R_v = Gaya pada vertikal
- R_h = Gaya pada horizontal
- δ = Sudut friksi antara dasar dinding dan lapisan tanah di bawahnya.

Jika suatu dinding dibangun di atas tanah yang kompresibel seperti lempung jenuh sempurna, maka akan dihasilkan suatu tekanan datar tak-merata pada saat dinding tersebut menjadi makin miring akibat konsolidasi yang terjadi pada tanah. Dimensi dinding yang dibangun 'di atas tanah kompresibel harus ditentukan sedemikian rupa sehingga resultan R bekerja sedekat mungkin dengan titik tengah dasar dinding. (Craig, 1989)

Urugan lempung harus dihindarkan jika pada suatu perubahan iklim akan menyebabkan terjadinya pemuaian (*swelling*) dan penyusutan (*shrinkage*) pada tanah tersebut. Pemuaian menyebabkan terjadinya tekanan tak ter amalkan pada dinding dan menyebabkan pula gerakan dinding, dan penyusutan yang terjadi setelah pemuaian tersebut dapat menimbulkan retakan-retakan pada permukaan tanah. (Craig, 1989)

Di belakang dinding perlu diberikan suatu formasi saringan dari bahan butiran kasar yang lolos air untuk melindungi urugan dari terbentuknya tekanan air pori yang tinggi pada urugan tersebut, sehingga air yang berperkolasi ke dalam saringan akan mengalir ke luar melalui celah-celah sempit dalam dinding. (Craig, 1989)

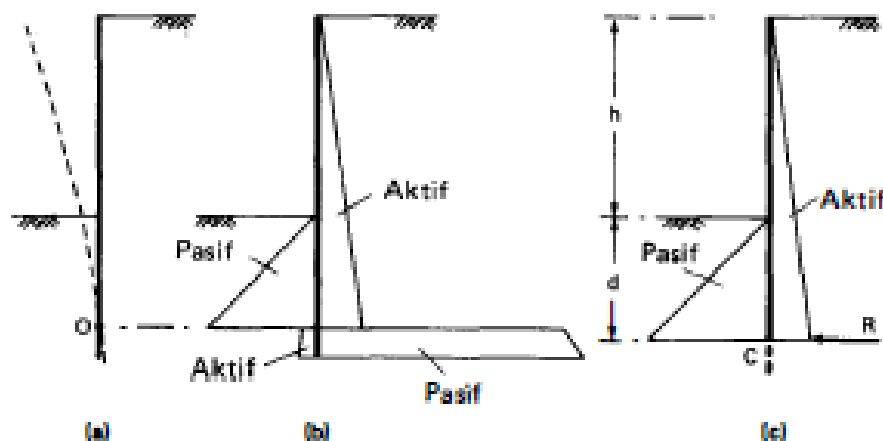
Beberapa macam dinding penahan termasuk dalam kategori tegar, sebagai contoh adalah dinding-dinding fondasi yang disangga oleh sistem lantai gedung dan peletakan jembatan yang ditahan oleh struktur lantainya. Pada kasus tersebut di atas, nilai tekanan

lateral diam, atau tekanan-tekanan di antara nilai diam dan nilai aktif, harus digunakan dalam desain. (Craig, 1989)

2.7.1 Dinding Turap Kantilever

Dinding tipe ini hanya dipakai bila tanah yang akan ditahan tidak terlalu tinggi. Pada pasir dan kerikil, dinding ini mungkin dipakai sebagai struktur permanen, tetapi pada umumnya dimanfaatkan untuk penyangga sementara. Stabilitas dinding turap kantilever ini seluruhnya diakibatkan oleh tahanan pasif yang timbul di bawah permukaan tanah yang lebih rendah. Cara keruntuhannya berupa suatu rotasi terhadap titik O di dekat ujung bawah dinding seperti terlihat pada Gambar 2.17 a. Konsekuensinya, tahanan pasif di depan dinding bekerja di atas titik O dan di belakang dinding bekerja di bawah titik O seperti terlihat pada Gambar 2.17 b, jadi ini melengkapi momen jepit yang terjadi. Akan tetapi, distribusi tekanan ini hanyalah suatu idealisasi saja sebab tidak mungkin terdapat perubahan tekanan pasif secara tiba – tiba dari depan ke belakang dinding pada titik O. (Craig, 1989)

Desain biasanya didasarkan atas suatu penyederhanaan seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.17 c, di mana diasumsikan bahwa tahanan pasif neto di bawah titik O dinyatakan oleh suatu gaya terpusat R pada titik C, sedikit di bawah titik O, pada kedalaman d di bawah permukaan tanah. Kedalaman d dapat ditentukan dengan menyamakan momen – momen terhadap C dengan nol, di mana suatu faktor keamanan F diterapkan pada momen pengimbang, yaitu dengan membagi tahanan pasif yang ada (P_p) di depan dinding dengan F . Besarnya d kemudian dinaikkan secara sembarang sebesar 20% agar didapat penyederhanaan yang diperlukan dalam metode ini, yaitu kedalaman tancapan yang diperlukan adalah sebesar $1,2d$. Tetapi, perlu dilakukan evaluasi terhadap R dengan menyamakan gaya – gaya horizontal dengan nol dan memeriksa bahwa tahanan pasif neto yang ada setelah penambahan kedalaman tancapan sebesar 20% sama dengan atau lebih besar dari R . (Craig, 1989)



Gambar 2. 27 Dinding Turap Kantilever

2.7.2 Dinding Turap dengan Angkur atau Penyangga

Dinding turap dapat dilengkapi dengan penyangga tambahan berupa satu baris kabel pengikat (*tie-back*) atau penyangga (*prop*) yang diletakkan di dekat puncak dinding. Kabel pengikat biasanya berupa kabel – kabel atau batang baja bermutu tinggi yang diangkurkan ke dalam tanah beberapa meter di belakang dinding. Dinding jenis ini digunakan secara luas pada konstruksi penahan air dan sebagai penyangga pada galian – galian yang dalam. Terdapat di acara dasar dalam pembangunan dinding – dinding tersebut. Dinding galian dibangun dengan menancapkan satu baris tiap turap sepanjang garis yang diinginkan diikuti dengan menggali tanah sampai kedalaman yang dibutuhkan di depan turap tersebut. Dinding urugan dibangun dengan menancapkan sebagian tiang pada permukaan tanah yang ada dan di belakang dinding tersebut diisi dengan urugan sampai ketinggian yang diperlukan. Stabilitas dinding ini ditimbulkan oleh tahanan pasif yang terjadi di depan dinding bersama – sama dengan gaya – gaya pada kabel – kabel baja. Metode analisis dinding turap juga dapat diterapkan untuk dinding diafragma. (Craig, 1989)