

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

3.1. Tinjauan Umum

Kelongsoran yang terjadi di sepanjang alur Sungai Rambut diduga diakibatkan oleh ketidakstabilan alur akibat adanya gerusan oleh air dan kecilnya faktor keamanan tebing. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan terhadap stabilitas alur yang meliputi gaya seret air pada tebing dan dasar saluran dan pengujian terhadap kondisi tanah pada titik – titik longsor. Untuk mencari penyebab kerusakan tebing ini diperlukan analisis dari berbagai disiplin ilmu. Disiplin ilmu tersebut adalah Hidrologi, Hidrolika, Stabilitas Alur dan Geoteknik.

Hidrologi digunakan untuk mengolah data curah hujan. Data curah hujan yang ada dianalisis sehingga didapatkan besarnya curah hujan harian maksimum rerata untuk setiap tahun. Data – data curah hujan tersebut kembali dianalisis untuk mendapatkan besar curah hujan rencana. Berdasarkan curah hujan rencana ini kemudian dihitung besarnya intensitas hujan yang terjadi. Setelah besar curah hujan rencana dan intensitas hujan diketahui, maka debit banjir rencana dapat dihitung.

Hidrolika digunakan dalam perhitungan tinggi muka air dan kecepatan aliran. Hidrolika juga digunakan dalam menghitung *passing capacity* guna mendapatkan debit pembanding yang perhitungannya didasarkan pada tinggi muka air hasil pengamatan di lapangan.

Stabilitas alur digunakan untuk mengetahui apakah terjadi erosi di dasar sungai, tebing sungai maupun belokan sungai yang diakibatkan oleh aliran air. Stabilitas alur juga bisa disebabkan karena erosi akibat kecepatan aliran yang melebihi kecepatan kritis (V_{cr}). Erosi sungai terjadi jika τ_b lebih besar dari gaya seret kritis (τ_{cr}) pada dasar dan tebing sungai. Besarnya gaya seret kritis (τ_{cr}) tergantung dari diameter material dasar/tebing sungai.

Geoteknik digunakan untuk menguji stabilitas tebing sungai terhadap longsor (*sliding*). Tebing yang memiliki stabilitas kecil memiliki potensi longsor lebih besar. Tanpa ada aliran sungai dibawahnyapun, tebing yang memiliki stabilitas kecil dapat mengalami longsor. Alternatif yang digunakan untuk

penanganan kerusakan tebing dalam perencanaan ini adalah dinding turap (*sheetpile*) berjangkar.

3.2. Analisis Hidrologi

Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi, seperti besarnya curah hujan, debit sungai, tinggi muka air sungai, kecepatan aliran, konsentrasi sedimen sungai dan lain – lain yang akan selalu berubah terhadap waktu.

Data hidrologi digunakan untuk menentukan besarnya debit maksimum rencana di sungai atau saluran alamiah dengan periode ulang tertentu (Q_{th}) yang dapat dialirkan tanpa membahayakan lingkungan sekitar dan stabilitas sungai. Untuk mendapatkan debit maksimum rencana dapat dilakukan melalui dua cara yaitu melalui pengolahan data debit dan melalui pengolahan data hujan.

Sehubungan data debit susah dicari juga sering tidak lengkap, maka digunakan pengolahan data curah hujan harian menjadi curah hujan harian maksimum tahunan. Sebab data curah hujan lebih mudah didapatkan dan tersimpan pada stasiun pengamatan hujan yang letaknya tersebar di daerah pengaliran sungai yang ditinjau.

Data curah hujan dari stasiun pengamatan diolah menjadi data hujan harian maksimum rerata, kemudian dilakukan pemilihan distribusi dimana data dapat diolah dengan dua cara yaitu cara analisis dan cara grafis. Data hujan harian rencana ini dengan formula Dr. Mononobe dinyatakan dalam intensitas hujan. Intensitas hujan dalam periode tertentu kemudian digunakan pada perhitungan debit banjir rencana.

3.2.1. Curah Hujan Harian Maksimum Rerata

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata - rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan harian maksimum rerata dan dinyatakan dalam mm. Pengamatan curah hujan dilakukan pada stasiun - stasiun penakar yang terletak di dalam atau di sekitar Daerah Aliran Sungai (DAS) untuk mendapatkan curah hujan maksimum harian (R_{24}). Penentuan curah hujan maksimum harian (R_{24}) rata - rata wilayah DAS dari beberapa stasiun penakar

tersebut dapat dihitung dengan beberapa metode antara lain : metode rata-rata aljabar, metode poligon *thiessen*, dan metode *isohyet*.

Metode yang digunakan untuk menghitung curah hujan daerah dalam penelitian ini adalah dengan metode poligon *thiessen*. Metode ini sering digunakan pada analisis hidrologi karena metode ini lebih baik dan obyektif dibanding dengan metode lainnya. Cara poligon *thiessen* ini dipakai apabila daerah pengaruh dan curah hujan rata-rata tiap stasiun berbeda-beda, dipakai stasiun hujan minimum 3 buah dan tersebar tidak merata. Cara ini memperhitungkan luas daerah yang mewakili dari pos-pos hujan yang bersangkutan, untuk digunakan sebagai faktor bobot dalam perhitungan curah hujan rata-rata.

Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Tentukan stasiun penakar curah hujan yang berpengaruh pada daerah pengaliran.
2. Tarik garis hubungan dari stasiun penakar hujan /pos hujan.
3. Tarik garis sumbu secara tegak lurus dari tiap-tiap garis hubung.
4. Hitung luas DAS pada wilayah yang dipengaruhi oleh stasiun penakar curah hujan tersebut.

Cara ini dipandang cukup baik karena memberikan koreksi terhadap kedalaman hujan sebagai fungsi luas daerah yang diwakili. Dimana rumus yang digunakan untuk menghitung curah hujannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Rumus: } R = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots(3.1)$$

dimana:

R_1, \dots, R_n = curah hujan di tiap stasiun pengukuran (mm)

A_1, \dots, A_n = luas bagian daerah yang mewakili tiap stasiun pengukuran (km²)

R = besarnya curah hujan rata-rata DAS (mm).

Setelah luas pengaruh pada tiap-tiap stasiun didapat, koefisien *thiessen* dapat dihitung:

$$C_i = \frac{A_i}{A} * 100\% \dots\dots\dots(3.2)$$

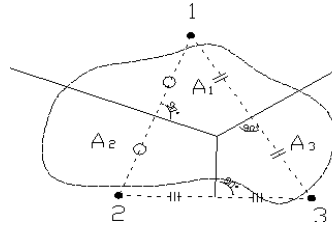
dimana:

C_i = koefisien *thiessen*

A = luas total DAS (km²)

A_i = luas bagian daerah di tiap stasiun pengamatan (km^2)

$$R = (R_1 * C_1) + (R_2 * C_2) + \dots + (R_n * C_n) \dots \dots \dots (3.3)$$



(Sumber: Sri Harto, Analisis Hidrologi, 1993)

Gambar 3.1. Polygon Thiessen

Curah hujan yang dipakai adalah curah hujan harian maksimum dalam satu tahun yang terjadi pada stasiun pengukur dengan luas daerah tangkapan dominan. Sedangkan untuk stasiun pengukur yang lain, curah hujan harian yang terpakai adalah curah hujan harian yang terjadi pada hari yang sama dengan hari terjadinya curah hujan maksimum pada stasiun tersebut.

3.2.2. Penentuan Curah Hujan Harian Rencana

Analisis curah hujan rencana ditujukan untuk mengetahui besarnya curah hujan maksimum dalam periode ulang tertentu. Hasil perhitungan hujan harian maksimum rerata kemudian dilakukan pemilihan distribusi, dimana dapat diolah dengan dua cara yaitu cara analisis dan cara grafis. Cara analisis menggunakan perbandingan parameter statistik untuk mendapatkan jenis sebaran (distribusi) yang sesuai. Cara grafis adalah dengan mengplot di kertas probabilitas. Plotting ini kemudian harus dicek dengan melakukan uji keselarasan.

3.2.2.1. Parameter Statistik

Untuk perhitungan hujan rencana digunakan analisa frekuensi, cara yang dipakai adalah dengan menggunakan metode kemungkinan (*Probability Distribution*) teoritis yang ada. Dalam penentuan metode yang akan digunakan, diperlukan syarat – syarat statistik. Syarat tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Pedoman Umum Penggunaan Metode Distribusi Sebaran

No.	Jenis Sebaran	Syarat
1.	Log <i>Pearson</i> type III	$C_s \neq 0$; $C_v1 = 0,3$
2.	Log Normal	$C_s = 1,104$; $C_k = 5,24$
3.	Gumbel	$C_s \approx 1,14$; $C_k \approx 5,4002$

Parameter-parameter statistik yang diperlukan sebagai berikut :

1. Deviasi Standar (δx)

Deviasi standar (*Standard Deviation*) merupakan ukuran sebaran yang paling banyak digunakan. Apabila penyebaran sangat besar terhadap nilai rata-rata, maka nilai δx akan besar, akan tetapi jika penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata-rata maka nilai δx akan kecil pula. Deviasi standar dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\delta x = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}{(n - 1)} \dots\dots\dots(3.4)$$

2. Koefisien Variasi (C_v)

Koefisien variasi (*Variation of Coefficient*) adalah nilai perbandingan antara standar deviasi dengan nilai rata-rata hitung dari suatu distribusi normal. Koefisien variasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$C_v = \frac{\delta x}{\bar{X}} \dots\dots\dots(3.5)$$

3. Koefisien Skewness (C_s)

Koefisien *skewness* (kecondongan) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan (asimetri) dari suatu bentuk distribusi. Apabila kurva frekuensi dari suatu distribusi mempunyai ekor memanjang ke kanan atau ke kiri terhadap titik pusat maksimum, maka kurva tersebut tidak akan berbentuk simetri. Keadaan tersebut disebut condong ke kanan atau ke kiri. Pengukuran kecondongan adalah untuk mengukur seberapa besar kurva frekuensi dari suatu distribusi tidak simetri atau condong. Ukuran kecondongan dinyatakan dengan besarnya koefisien kecondongan atau koefisien *skewness*, dan dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini:

$$C_s = \frac{n * \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n - 1) * (n - 2) * \delta x^3} \dots\dots\dots(3.6)$$

4. Koefisien Kurtosis (C_k)

Pengukuran kurtosis dimaksudkan untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi dan sebagai pembandingnya adalah distribusi normal. Koefisien kurtosis (*Coefficient of Kurtosis*) dirumuskan sebagai berikut:

$$Ck = \frac{n^2 * \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1) * (n-2) * (n-3) * \delta x^4} \dots\dots\dots(3.7)$$

Dari harga parameter statistik tersebut akan dipilih jenis distribusi yang sesuai. Dengan menggunakan cara penyelesaian analisa frekuensi, penggambaran ini dimungkinkan lebih banyak terjadinya kesalahan. Maka untuk mengetahui tingkat pendekatan dari hasil penggambaran tersebut, dapat dilakukan pengujian kecocokan data.

3.2.2.2. Distribusi Sebaran

Setelah didapatkan Standar Deviasi (δx), Koefisien Variasi (Cv), Koefisien Skewness (Cs), Koefisien Kurtosis (Ck) dari data curah hujan, maka sesuai dengan syarat – syarat statistik pada Tabel 3.1, akan didapatkan metode yang akan digunakan untuk pengujian sebaran dalam perhitungan curah hujan rencana. Beberapa jenis distribusi yang sering digunakan antara lain Distribusi Log *Pearson* Type III, Distribusi Log Normal, Distribusi Gumbel.

A. Distribusi Log *Pearson* Type III

Diantara 12 tipe metode *pearson, type III* merupakan metode yang banyak digunakan dalam analisis hidrologi. Berdasarkan kajian Benson 1986, disimpulkan bahwa metode *log pearson type III* dapat digunakan sebagai dasar dengan tidak menutup kemungkinan pemakaian metode yang lain, apabila pemakaian sifatnya sesuai. (*Sri Harto, 1981*).

Langkah-langkah yang diperlukan adalah sebagai berikut:

1. Gantilah data $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ menjadi data dalam logaritma, yaitu: $\log X_1, \log X_2, \log X_3, \dots, \log X_n$.
2. Hitung rata-rata dari logaritma data tersebut:

$$\overline{\log X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \dots\dots\dots(3.8)$$

3. Hitung standar deviasi

$$\delta x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots(3.9)$$

4. Hitung koefisien *skewness*

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^3}{(n-1) * (n-2) * S^3} \dots\dots\dots(3.10)$$

5. Hitung logaritma data pada interval pengulangan atau kemungkinan prosentase yang dipilih.

$$\text{Log} X_{Tr} = (\log \bar{X}) + S \log^* K(Tr, Cs) \dots\dots\dots(3.11)$$

dimana:

Log X_{Tr} = logaritma curah hujan rencana (mm)

$\log \bar{X}$ = logaritma curah hujan rata-rata (mm)

$\bar{\delta}x$ = standar deviasi (mm)

$K(Tr, Cs)$ = faktor frekuensi *pearson* tipe III yang tergantung pada harga Tr (periode ulang) dan Cs (koefisien *skewness*), yang dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Harga K untuk Distribusi Log Pearson III

(1/2)

Kemencengan (Cs)	Periode Ulang (Tahun)							
	2	5	13	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
3,0	-0,3986	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
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990	5,390
1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828	5,110
1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661	4,820
1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489	4,540
0,9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401	4,395
0,8	-0,132	0,780	1,336	2,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	-0,116	0,790	1,333	2,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	-0,099	0,800	1,328	2,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0,5	-0,083	0,808	1,323	2,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-0,066	0,816	1,317	2,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-0,050	0,824	1,309	2,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-0,033	0,830	1,301	2,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0,1	-0,017	0,836	1,292	2,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0	0,000	0,842	1,282	2,751	2,054	2,3269	2,576	3,090
-0,1	0,017	0,836	1,270	2,761	2,000	2,262	2,482	3,950
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178	2,388	2,810
-0,3	0,050	0,853	1,245	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675

(2/2)

-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	1,488	1,606	1,733	1,837	2,035
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318	1,351	1,465
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,200	1,216	1,280
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,089	1,197	1,130
-2,0	0,307	0,777	0,895	1,959	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
-2,5	0,360	0,711	0,771	0,793	0,798	0,799	0,800	0,802
-3,0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

(Sumber : CD Soemarto, 1999)

B. Distribusi Log Normal

Rumus yang digunakan dalam perhitungan dengan metode ini adalah sebagai berikut :

$$\log X_t = \log X_n + S * K_t \dots\dots\dots(3.12)$$

dimana :

X_t = besarnya curah hujan yang mungkin terjadi dengan periode ulang T tahun.

X_n = curah hujan rata – rata

S = standar deviasi data hujan maksimum tahunan.

K_t = standar variable untuk periode ulang t tahun yang besarnya diberikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Standard Variable (K_t)

(1/2)

T	K _t	T	K _t	T	K _t
1	-1,86	20	1,89	90	3,34
2	-0,22	25	2,10	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

(2/2)

11	1,35	70	3,08	190	4,09
12	1,43	75	3,60	200	4,14
13	1,50	80	3,21	221	4,24
14	1,57	85	3,28	240	4,33
15	1,63	90	3,33	260	4,42

(Sumber : CD Soemarto, 1999)

Tabel 3.4 Koefisien untuk metode sebaran *Log Normal*

Cv	Periode Ulang T tahun					
	2	5	10	20	50	100
0,0500	-0.2500	0.8334	1.2965	1.6863	2.1341	2.4370
0,1000	-0.0496	0.8222	1.3078	1.7247	2.2130	2.5489
0,1500	-0.0738	0.8085	1.3156	1.7598	2.2899	2.6607
0,2000	-0.0971	0.7926	1.3200	1.7911	2.3640	2.7716
0,2500	-0.1194	0.7748	1.3209	1.8183	2.4348	2.8805
0,3000	-0.1406	0.7547	1.3183	1.8414	2.5316	2.9866
0,3500	-0.1604	0.7333	1.3126	1.8602	2.5638	3.0890
0,4000	-0.1788	0.7100	1.3037	1.8746	2.6212	3.1870
0,4500	-0.1957	0.6870	1.2920	1.8848	2.6734	3.2109
0,5000	-0.2111	0.6626	1.2778	1.8909	2.7202	3.3673
0,5500	-0.2251	0.6129	1.2513	1.8931	2.7615	3.4488
0,6000	-0.2375	0.5879	1.2428	1.8916	2.7974	3.5241
0,6500	-0.2485	0.5879	1.2226	1.8866	2.8279	3.5930
0,7000	-0.2582	0.5631	1.2011	1.8786	2.8532	3.6568
0,7500	-0.2667	0.5387	1.1784	1.8577	2.8735	3.7118
0,8000	-0.2739	0.5184	1.1584	1.8543	2.8891	3.7617
0,8500	-0.2801	0.4914	1.1306	1.8388	2.9002	3.8056
0,9000	-0.2852	0.4886	1.1060	1.8212	2.9071	3.8437
0,9500	-0.2895	0.4466	1.0810	1.8021	2.9102	3.8762
1,000	-0.2929	0.4254	1.0560	1.7815	2.9098	3.9036

(Sumber : Soewarno, Jilid I , 1995)

C. Distribusi Gumbel

Metode ini merupakan metode dari nilai-nilai ekstrim (maksimum atau minimum). Fungsi metode gumbel merupakan fungsi eksponensial ganda. (Sri Harto, 1991).

Rumus Umum:

$$X_{Tr} = \bar{x} + \delta \bar{x} * Kr \dots\dots\dots(3.13)$$

(Soewarno, Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data, Jilid 1)

dimana:

X_{Tr} = tinggi hujan untuk periode ulang T tahun (mm)

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

δx = standar deviasi bentuk normal (mm)

Kr = faktor frekuensi gumbel.

Faktor frekuensi gumbel merupakan fungsi dan masa ulang dari distribusi

$$K_r = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \dots\dots\dots(3.14)$$

dimana:

Yt = *Reduced Variate* (fungsi periode ulang T tahun) (Tabel 3.5)

Yn = harga rata-rata *Reduced Mean* (Tabel 3.6)

Sn = *Reduced Standard Deviation* (Tabel 3.7)

Tabel 3.5 Harga *Reduced Variate* Pada Periode Ulang Hujan T tahun

Periode Ulang Hujan T tahun	<i>Reduced Variate</i>
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001

(Sumber : Joesron Loebis, 1987)

Tabel 3.6 Hubungan *Reduced mean* (Yn) dengan jumlah data (n)

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5520
20	0,5236	0,5252	0,5269	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5402	0,5402	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5463	0,5472	0,5477	0,5481
50	0,5486	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	0,5530	0,5530	0,5533	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5557	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5572	0,5572	0,5574	0,5576	0,5576	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5573	,05595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5586									

(Sumber : Joesron Loebis, 1987)

Tabel 3.7 Hubungan *reduced standard deviation (Sn)* dengan jumlah data (*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	1,0315	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0664	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1086
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	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1638	1,1667	1,1681	1,1696	1,1706	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1770	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1873	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1953	1,9670	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065									

(Sumber : Joesron Loebis, 1987)

3.2.2.3. Uji Keselarasan

Untuk menentukan pola distribusi dan curah hujan rata – rata yang paling sesuai dengan beberapa metode distribusi statistik yang telah dilakukan maka dilakukan uji keselarasan. Pada tes ini biasanya yang diamati adalah hasil perhitungan yang diharapkan. Ada dua jenis uji keselarasan (*Goodness of fit tes*) yaitu *Chi Square* (Chi-kuadrat) dan *Smirnov Kolmogorov*.

Metode yang digunakan untuk menguji kecocokan sebaran data dengan sebaran empiris dalam penelitian ini adalah dengan metode Chi Kuadrat. Prinsip pengujian dengan metode *chi* kuadrat didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas, dan ditentukan terhadap jumlah data pengamatan yang terbaca didalam kelas tersebut. Atau bisa juga dengan membandingkan nilai *chi* kuadrat (χ^2) dengan *chi* kuadrat kritis (χ^2_{cr}).

Rumus:

$$\chi^2 = \sum \frac{(E_i - O_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots(3.15)$$

(Soewarno, *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik ntuk Analisis Data, Jilid 1*)

dimana:

- χ^2 = harga *chi* kuadrat (*chi square*)
- O_i = jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke-i
- E_i = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-i.

Dari hasil pengamatan yang didapat, dicari penyimpangannya dengan *chi* kuadrat kritis yang didapat dari Tabel 3.8. Untuk suatu nilai nyata tertentu (*level of significant*) yang sering diambil adalah 5%. Derajat kebebasan ini secara umum dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Dk = n - (P + 1) \dots\dots\dots(3.16)$$

dimana:

- Dk = derajat kebebasan
- n = banyaknya rata-rata
- P = banyaknya keterikatan (parameter).

Adapun kriteria penilaian hasilnya adalah sebagai berikut :

- a. Apabila peluang lebih besar dari 5% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- b. Apabila peluang lebih kecil dari 1% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- c. Apabila peluang antara 1%-5%, maka tidak mungkin mengambil keputusan, maka perlu penambahan data.

Nilai kritis untuk distribusi Chi Kuadrat dapat dilihat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Nilai Kritis Untuk Distribusi *Chi Kuadrat (Chi Square)*

(1/2)

dk	α derajat kepercayaan							
	0,995	0,990	0,975	0,950	0,050	0,025	0,010	0,005
1	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	0,1150	0,2160	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,2070	0,2970	0,4840	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,4120	0,5540	0,8310	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	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	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,400	35,718

dk	α derajat kepercayaan							
	0,995	0,990	0,975	0,950	0,050	0,025	0,010	0,005
18	6,265	7,015	8,231	9,390	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,891	10,851	31,410	34,170	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	9,260	10,196	11,689	13,091	36,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,980	45,558
25	10,520	11,524	13,120	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,290
27	22,808	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	46,979	50,892	53,672

(Sumber : Soewarno, 1995)

3.2.3. Analisis Intensitas Curah Hujan Rencana

Intensitas curah hujan adalah jumlah hujan yang dinyatakan dalam tinggi curah hujan atau volume hujan tiap satuan waktu. Besarnya intensitas hujan berbeda-beda tergantung dari lamanya curah hujan dan frekuensi kejadiannya. Perhitungan curah hujan rencana digunakan formula Dr. Mononobe, Jika data curah hujan yang ada hanya curah hujan harian

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(3.17)$$

dimana :

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

t = Lamanya curah hujan (jam)

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

(Joesron Loebis, 1987, "Banjir Rencana untuk Bangunan Air")

3.2.4. Analisis Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana adalah besarnya debit yang direncanakan melewati penampang sungai dengan periode ulang tertentu. Besarnya debit banjir ditentukan berdasarkan besarnya hujan, intensitas hujan, dan luas Daerah Aliran

Sungai (DAS). Luas DAS dalam hal ini cukup berpengaruh dalam menentukan metode-metode yang akan sesuai dalam analisis debit banjir rencana dengan luas DAS Sungai Rambut 166,1 km². Metode yang digunakan yaitu Metode *Haspers*, Metode *Melchior*, Metode Rasional dan Metode FSR Jawa-Sumatera. Untuk memilih debit banjir dari kedua metode tersebut maka akan digunakan debit pembanding passing capacity dengan bantuan software HEC-RAS.

3.2.4.1. Metode *Haspers*

Syarat batas dalam perhitungan debit banjir dengan metode *Haspers* ini adalah dengan luas DAS >100 km².

Untuk menghitung besarnya debit dengan metode *Haspers* digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Qt = \alpha * \beta * q * F \dots\dots\dots(3.18)$$

(Joesron Loebis, 1987, "Banjir Rencana untuk Bangunan Air")

Untuk melengkapi persamaan diatas dibutuhkan parameter-parameter seperti koefisien runoff (α), waktu konsentrasi (t), koefisien reduksi (β), intensitas hujan serta hujan maksimum (q).

Koefisien *Runoff* (α) dinyatakan dalam persamaan,

$$\alpha = \frac{1 + 0.012 * F^{0.7}}{1 + 0.75 * F^{0.7}} \dots\dots\dots(3.19)$$

Waktu Konsentrasi (t) dinyatakan dalam persamaan,

$$t = 0,1 L^{0.8} * i^{-0.3} \dots\dots\dots(3.20)$$

Koefisien Reduksi (β) dinyatakan dalam persamaan,

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3,7.10^{-0.4t}}{t^2 + 15} * \frac{F^{3/4}}{12} \dots\dots\dots(3.21)$$

Untuk intensitas hujan dengan t < 2jam dinyatakan dalam persamaan,

$$Rt = \frac{t * R_{24}}{t + 1 - 0,0008.(260 - R_{24}) * (2 - t)^2} \dots\dots\dots(3.22)$$

Untuk intensitas hujan dengan 2 jam ≤ t ≤ 19 jam dinyatakan dalam persamaan,

$$Rt = \frac{t * R_{24}}{t + 1} \dots\dots\dots(3.23)$$

Untuk intensitas hujan dengan 19 jam ≤ t ≤ 30 jam dinyatakan dalam persamaan,

$$Rt = 0,707R_{24} * \sqrt{t+1} \dots\dots\dots(3.24)$$

Dan hujan maksimum (q) dinyatakan dalam persamaan,

$$q = \frac{Rt}{3.6 * t} \dots\dots\dots(3.25)$$

dimana :

- Qt = debit banjir rencana (m³/det)
- α = koefisien *runoff*
- β = koefisien reduksi daerah untuk curah hujan DAS
- q = hujan maksimum (m³/km²/det)
- t = waktu konsentrasi (jam)
- F = luas daerah pengaliran (km²)
- Rt = intensitas curah hujan selama durasi t (mm/hari)
- L = panjang sungai (km)
- I = gradien sungai atau medan yaitu kemiringan rata-rata sungai (10% bagian hulu dari panjang sungai tidak dihitung. Beda tinggi dan panjang diambil dari suatu titik 0,1 L dari batas hulu DAS

3.2.4.2. Metode Melchior

Syarat batas dalam perhitungan debit banjir dengan metode Melchor ini adalah dengan luas DAS >100 km². Hasil perhitungan debit maksimum dengan metode Melchor untuk sungai-sungai di Pulau Jawa cukup memuaskan, tetapi untuk daerah-daerah pengaliran yang sangat luas hasil-hasil tersebut terlalu kecil

Untuk menghitung besarnya debit dengan metode Melchior digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Qt = \alpha * R * F * \frac{R_{24}}{200} \dots\dots\dots(3.26)$$

(*Imam Subarkah, 1980, "Hidrologi untuk Perencanaan Bangunan Air"*)

Untuk melengkapi persamaan diatas dibutuhkan parameter-parameter seperti koefisien runoff (α), koefisien reduksi (β), waktu konsentrasi (t), kecepatan aliran (v), hujan maksimum sehari (R₁).

Koefisien *Runoff* (α) berkisar antara 0,42 – 0,62 dan disarankan memakai 0,52. Koefisien Reduksi (β) dinyatakan dalam persamaan,

$$F = \frac{1970}{\beta - 0,12} - 3970 + 1720\beta \dots\dots\dots(3.27)$$

Taksir besarnya hujan maksimum sehari (R_1) dari tabel 3.9 dibawah ini

Tabel 3.9 Hubungan luas DAS dengan hujan maksimum sehari

Luas (km ²)	R ₁	Luas (km ²)	R ₁	Luas (km ²)	R ₁
0,14	29,60	144	4,75	720	2,30
0,72	22,45	216	4,00	1080	1,85
1,40	19,90	288	3,60	1440	1,55
7,20	14,15	360	3,30	2160	1,20
14	11,85	432	3,05	2880	1,00
29	9,00	504	2,85	4320	0,70
72	6,25	576	2,65	5760	0,54
108	5,25	648	2,45	7200	0,48

(Sumber: Imam Subarkah, 1980, "Hidrologi untuk Perencanaan Bangunan Air")

Menentukan debit sementara sebagai parameter dalam menentukan kecepatan aliran dengan persamaan,

$$Q = \beta \cdot R_1 \cdot F \dots\dots\dots(3.28)$$

Kecepatan aliran (V) dinyatakan dalam persamaan,

$$V = 1,31 \cdot (Q \cdot i^2)^{0,2} \dots\dots\dots(3.29)$$

Waktu Konsentrasi (t) dinyatakan dalam persamaan,

$$t = \frac{10L}{36V} \dots\dots\dots(3.30)$$

Hujan harian (R) dinyatakan dalam persamaan,

$$R = \frac{10 \cdot \beta \cdot R_{24}}{36 \cdot t} \dots\dots\dots(3.31)$$

dimana :

- Qt = debit banjir rencana (m³/det)
- α = koefisien *runoff*
- β = koefisien reduksi daerah untuk curah hujan DAS
- t = waktu konsentrasi (jam)
- F = luas daerah pengaliran (km²)
- V = kecepatan aliran (m/det)
- Rt = intensitas curah hujan selama durasi t (mm/hari)
- L = panjang sungai (km)

i = gradien sungai atau medan yaitu kemiringan rata-rata sungai (10% bagian hulu dari panjang sungai tidak dihitung. Beda tinggi dan panjang diambil dari suatu titik 0,1 L dari batas hulu DAS

Harga R ini harus mendekati dengan nilai R_1 taksiran diatas. Jika besarnya R yang didapat dari perhitungan jauh dengan nilai R_1 yang diperkirakan semula maka perhitungan diulangi sampai mendapatkan nilai R yang besarnya mendekati dengan nilai R perkiraan. Pada perhitungan ulangan, sebagai harga R taksiran yang baru diambil harga R yang didapat dari perhitungan sebelumnya.

Dalam perhitungan debit banjir rencana dengan metode Melchior ini, hasil perhitungan debit akan ditambah persentase tertentu berdasarkan besarnya waktu konsentrasi. Besarnya persentase tersebut dapat dilihat pada tabel 3.10 dibawah ini.

Tabel 3.10 Besarnya tambahan persentase berdasarkan waktu konsentrasi

t (menit)	%	t (menit)	%	t (menit)	%	t (menit)	%
40	2	630-720	10	1330-1420	18	2035-2120	26
40-115	3	720-810	11	1420-1510	19	2120-2210	27
115-190	4	810-895	12	1510-1595	20	2210-2295	28
190-270	5	895-980	13	1595-1680	21	2295-2380	29
270-360	6	980-1070	14	1680-1770	22	2380-2465	30
360-450	7	1070-1155	15	1770-1860	23	2465-2550	31
450-540	8	1155-1240	16	1860-1950	24	2550-2640	32
540-630	9	1240-1330	17	1950-2035	25	2640-2725	33
						2725-2815	34

(Sumber: Imam Subarkah, 1980, "Hidrologi untuk Perencanaan Bangunan Air")

3.2.4.3. Metode Rasional

Metode Rasional dapat dinyatakan secara aljabar dengan persamaan berikut :

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \dots\dots\dots(3.32)$$

dimana :

Q = Debit banjir rencana (m^3/dt)

C = Koefisien Pengaliran

I = Intensitas hujan maksimum selama waktu konsentrasi (mm/jam)

A = Luas daerah aliran (km^2)

Koefisien pengaliran (C) tergantung pada beberapa faktor antara lain jenis tanah, kemiringan, luas dan bentuk pengaliran sungai. Besarnya nilai koefisien pengaliran dapat dilihat pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11 Nilai Koefisien Pengaliran

Kondisi daerah pengaliran	Koefisien pengaliran (C)
Bergunung dan curam	0,75 – 0,90
Pegunungan tersier	0,70 – 0,80
Sungai dengan tanah dan hutan di bagian atas dan bawahnya	0,50 – 0,75
Tanah datar yang ditanami	0,45 – 0,60
Sawah waktu diairi	0,70 – 0,80
Sungai di daerah pegunungan	0,75 – 0,85
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)

3.2.4.4. Metode FSR Jawa-Sumatera

Untuk menghitung besarnya debit dengan metode FSR Jawa-Sumatera digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q = GF * MAF \dots\dots\dots(3.33)$$

(Joesron Loebis, 1987, "Banjir Rencana untuk Bangunan Air")

Untuk melengkapi persamaan diatas dibutuhkan parameter-parameter seperti *growth factor* (GF), faktor reduksi (ARF) serta indeks kemiringan.

Debit maksimum rata-rata tahunan (MAF) dinyatakan dalam persamaan,

$$MAF = 8.10^{-6} \cdot (AREA)^V \cdot APBAR^{2,445} \cdot SIMS^{0,117} \cdot (1 + LAKE)^{-0,85} \dots\dots\dots(3.34)$$

dengan koefisien V dinyatakan dalam persamaan,

$$V = 1,02 - 0,0275 \text{Log} \cdot (AREA) \dots\dots\dots(3.35)$$

koefisien APBAR dinyatakan dalam persamaan,

$$APBAR = PBAR \cdot ARF \dots\dots\dots(3.36)$$

Indeks kemiringan (SIMS) dinyatakan dalam persamaan,

$$SIMS = \frac{H}{MSL} \dots\dots\dots(3.37)$$

$$\text{dengan } MSL = 0,95 \cdot L \dots\dots\dots(3.38)$$

$$LAKE = \frac{LuasDASdihulu\text{ endung}}{LuasDAStotal} \dots\dots\dots(3.39)$$

dimana :

- Q = debit banjir rencana (m³/det)
- AREA = luas DAS (km²)
- PBAR = hujan 24 jam maksimum rerata tahunan (mm)
- ARF = faktor reduksi (lihat Tabel 3.12)
- GF = growth faktor (lihat Tabel 3.13)
- SIMS = indeks kemiringan
- H = beda tinggi titik pengamatan dengan ujung sungai tertinggi (m)
- MSL = panjang sungai sampai titik pengamatan (km)
- L = panjang sungai (km)
- LAKE = indeks
- MAF = debit maksimum rata-rata tahunan (m³/det)

Tabel 3.12 Faktor Reduksi (ARF)

DAS (km ²)	ARF
1 – 10	0,99
10 – 30	0,97
30 – 3000	1,152 - 0,0123 Log(AREA)

(Sumber : Joesron Loebis, 1987)

Tabel 3.13 Growth Factor (GF)

Periode Ulang (tahun)	Luas DAS (km ²)					
	<180	300	600	900	1200	>1500
5	1,28	1,27	1,24	1,22	1,19	1,17
10	1,56	1,54	1,48	1,44	1,41	1,37
20	1,88	1,88	1,75	1,70	1,64	1,59
50	2,55	2,30	2,18	2,10	2,03	1,95
100	2,78	2,72	2,57	2,47	2,37	2,27
200	3,27	3,20	3,01	2,89	2,78	2,66
500	4,01	3,92	3,70	3,56	3,41	3,27
1000	4,68	4,58	4,32	4,16	4,01	3,85

(Sumber : Joesron Loebis, 1987)

3.3. Analisis Hidrolika

Hidrolika adalah ilmu yang mempelajari tentang sifat-sifat zat cair dan menyelenggarakan pemeriksaan untuk mendapatkan rumus-rumus dan hukum-

hukum zat cair dalam keadaan setimbang (diam) dan dalam keadaan bergerak. Analisis hidrolika dimaksud untuk mengetahui kapasitas alur sungai pada kondisi sekarang terhadap banjir rencana dari studi terdahulu dan hasil pengamatan yang diperoleh. Analisis hidrolika dilakukan pada seluruh saluran untuk mendapatkan dimensi saluran yang diinginkan, yaitu ketinggian muka air sepanjang alur sungai yang ditinjau.

Profil muka air dihitung dengan cara membagi saluran menjadi bagian-bagian saluran yang pendek, lalu menghitung secara bertahap dari satu ujung keujung saluran lainnya. Cara atau metode ini biasa disebut sebagai Metode Tahapan Langsung atau Direct Step Methods

Gambar 3.2 melukiskan bagian saluran sepanjang Δx , tinggi energi total di ujung penampang 1 dan penampang 2 dapat disamakan sebagai berikut :

$$\text{So } \Delta x + y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + S_f \Delta x \dots\dots\dots(3.40)$$

$$\Delta x = \frac{E_2 - E_1}{S_0 - S_f} = \frac{\Delta E}{S_0 - S_f} \dots\dots\dots(3.41)$$

dengan E energi spesifik, dan dianggap $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, maka

$$E = y + \alpha \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(3.42)$$

dimana :

y = kedalaman aliran (m)

V = kecepatan rata-rata (m/dt)

α = koefisien energi

S_0 = kemiringan dasar

S_f = kemiringan geser

Bila dipakai rumus manning, kemiringan geser dinyatakan sebagai berikut :

$$S_f = \frac{n^2 * V^2}{2,22 * R^{\frac{4}{3}}} \dots\dots\dots(3.43)$$

dimana R adalah jari-jari hidrolis

Besarnya nilai V pada kedua penampang dihitung dengan persamaan berikut :

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} ; V_2 = \frac{Q}{A_2} \dots\dots\dots(3.44)$$

dimana :

V_1 = Kecepatan aliran pada penampang 1 (m/dt)

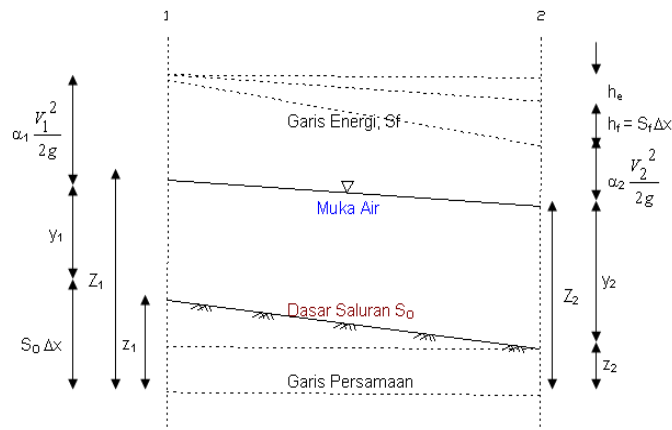
V_2 = Kecepatan aliran pada penampang 2 (m/dt)

Q = Debit aliran (m^3/dt)

A_1 = Luas basah penampang 1 (m^2)

A_2 = Luas basah penampang 2 (m^2)

Pada kasus sungai alam, tipe aliran yang ada adalah aliran tidak seragam (non uniform flow), aliran sungai alam bisa dianggap sebagai aliran sungai mantap (Steady flow) maupun aliran tak mantap (unsteady flow), pada teori analisis hidrolika ini, aliran dianggap sebagai aliran mantap (steady flow). Untuk memudahkan perhitungan dan meminimalisir kesalahan, maka untuk menghitung profil permukaan air dalam penelitian ini digunakan program *HEC-RAS*.



(Sumber: Ven Te Chow, 1985)

Gambar 3.2 Bagian Sungai Sepanjang Δx

HEC-RAS adalah sistem *software* terintegrasi yang didesain untuk digunakan secara interaktif pada kondisi tugas yang beraneka macam. Sistem ini terdiri dari *interface* grafik pengguna, komponen analisa hidrolika terpisah, kemampuan manajemen dan tampungan data, fasilitas pelaporan dan grafik.

Dari beberapa nilai debit coba-coba hasil perhitungan *HEC-RAS* akan diperoleh suatu nilai debit yang menghasilkan *output* berupa nilai tinggi muka air yang paling mendekati tinggi muka air pengamatan lapangan. Nilai debit inilah yang akan dijadikan sebagai pembanding debit hasil analisis hidrologi. Perhitungan tinggi muka air rencana didasarkan pada debit hasil analisis

hidrologi yang paling mendekati debit pembanding hasil perhitungan *passing capacity*.

3.4. Stabilitas Alur

Bila air mengalir dalam sebuah saluran, maka pada dasar saluran akan timbul suatu gaya bekerja searah dengan arah aliran. Gaya ini yang merupakan gaya tarik pada penampang basah disebut gaya seret (*tractive force*).

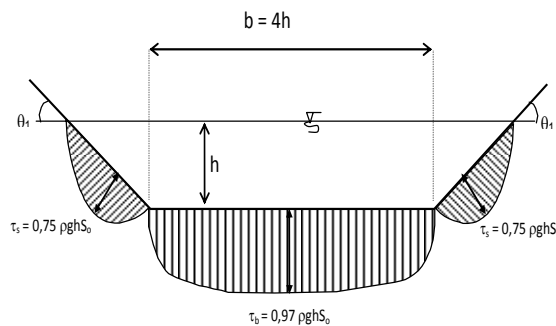
Butiran pembentuk alur sungai harus stabil terhadap aliran yang terjadi. Karena pengaruh kecepatan, aliran dapat mengakibatkan gerusan pada talud dan dasar sungai. Aliran air sungai akan memberikan gaya seret (τ_b) pada penampang sungai yang besarnya adalah:

$$\tau_b = \rho_w \times g \times h \times l \dots \dots \dots (3.45)$$

dimana:

- ρ_w = rapat massa air (kg/m^3)
- g = gaya gravitasi (m/dt^2)
- h = tinggi air (m)
- l = kemiringan alur dasar sungai

Kecepatan aliran sungai juga mempengaruhi terjadinya erosi sungai. Kecepatan aliran yang menimbulkan terjadinya tegangan seret kritis disebut kecepatan kritis (V_{Cr}). U.S.B.R. memberikan distribusi gaya seret pada saluran empat persegi panjang berdasarkan analogi *membrane* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3.

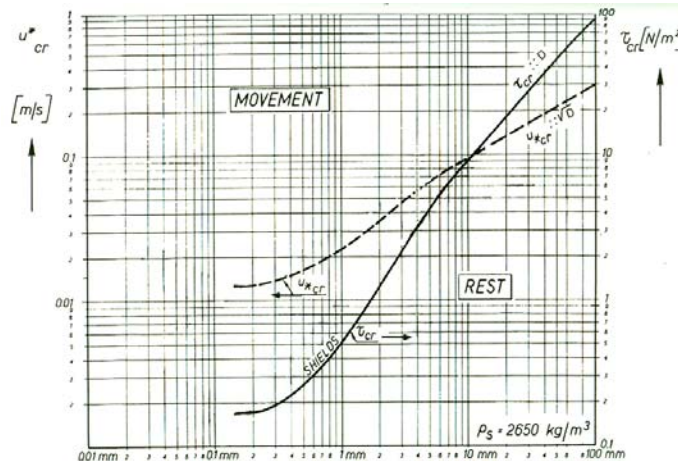


(Sumber: Robert J. Kodoatie dan Sugiyanto, 2001 (Simons dan Senturk, 1992))

Gambar 3.3 Gaya Seret Satuan Maksimum

Erosi dasar sungai terjadi jika τ_b lebih besar dari gaya seret kritis (τ_{cr}) pada dasar dan tebing sungai. Gaya seret kritis adalah gaya seret yang terjadi tepat pada saat butiran akan bergerak. Besarnya gaya seret kritis didapatkan dengan

menggunakan Grafik *Shield* (dapat dilihat pada Gambar 3.4) dengan menggunakan data ukuran butiran tanah dasar sungai.



Gambar 3.4 Grafik *Shield*

3.4.1. Gaya Seret Pada Dasar Sungai

Besarnya gaya seret yang terjadi pada dasar sungai adalah:

$$\tau_b = 0,97 \times \rho_w \times g \times h \times I_b \dots\dots\dots(3.46)$$

dimana:

- τ_b = gaya seret pada dasar sungai (kg/m^2)
- ρ_w = rapat massa air (kg/m^3)
- g = gaya gravitasi (m/dt^2)
- h = tinggi air (m)
- I_b = kemiringan alur dasar sungai

Tabel 3.14 Koefisien kekasaran sungai alam

Kondisi Sungai	n
Trase dan profil teratur, air dalam	0,025 – 0,033
Trase dan profil teratur, bertanggul kerikil dan berumput	0,030 – 0,040
Berbelok–belok dengan tempat–tempat dangkal	0,033 – 0,045
Berbelok–belok, air tidak dalam	0,040 – 0,055
Berumput banyak di bawah air	0,050 – 0,080

(Sumber : Suyono Sosrodarsono, 1984)

Kecepatan aliran kritis di dasar sungai terjadi pada saat $\tau_b = \tau_{cr.b}$ Maka:

$$\tau_{cr.b} = 0,97 \times \rho_w \times g \times h \times I_b \dots\dots\dots(3.47)$$

$$I_b = \frac{\tau_{cr,b}}{0,97 \times \rho_w \times g \times h} \dots\dots\dots(3.48)$$

$$V_{cr,b} = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I_b^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(3.49)$$

dimana:

- $\tau_{cr,b}$ = gaya seret kritis pada dasar sungai (kg/m²)
- ρ_w = rapat massa air (kg/m³)
- g = gaya gravitasi (m/dt²)
- h = tinggi air (m)
- I_b = kemiringan alur dasar sungai
- $V_{cr,b}$ = kecepatan kritis dasar sungai (m/dt)
- R = jari-jari hidrolis (m)
- n = angka kekasaran *manning* (dapat dilihat pada Tabel 3.14)

3.4.2. Gaya Seret Pada Tebing Sungai

Besarnya gaya seret yang terjadi pada tebing sungai adalah:

$$\tau_s = 0,75 \times \rho_w \times g \times h \times I_s \dots\dots\dots(3.50)$$

dimana:

- τ_s = gaya seret pada tebing sungai (kg/m²)
- ρ_w = rapat massa air (kg/m³)
- g = gaya gravitasi (m/dt²)
- h = tinggi air (m)
- I_s = kemiringan tebing sungai

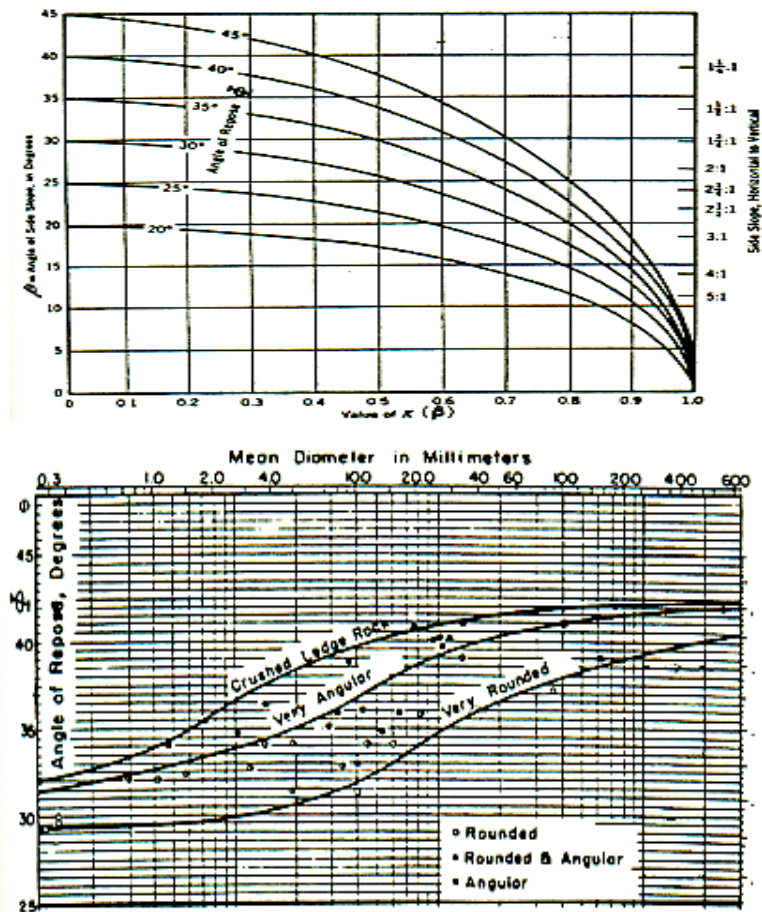
Erosi dasar sungai juga dapat terjadi jika τ_s lebih besar dari gaya seret kritis pada lereng sungai ($\tau_{cr,s}$) serta jika τ_s lebih kecil dari $\tau_{cr,s}$ maka tidak akan terjadi erosi (aman). Tegangan geser kritis pada lereng sungai tergantung pada besarnya sudut lereng.

$$\tau_{cr,s} = K_\beta \cdot \tau_{cr} \dots\dots\dots(3.51)$$

$$K_\beta = \cos \beta \sqrt{1 - \left(\frac{tg \beta}{tg \phi} \right)^2} \dots\dots\dots(3.52)$$

- dimana: τ_{cr} = tegangan geser kritis
 β = sudut lereng sungai (°)
 ϕ = 30-40 (tergantung diameter butiran dari grafik pada Gambar 3.5)

Grafik Hubungan Antara Diameter Butiran dan ϕ dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Grafik Hubungan Antara Diameter Butiran Dan ϕ

3.5. Analisis Geoteknik

Tanah mempunyai karakteristik dan sifat yang berbeda. Dalam pengertian teknik secara umum tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari butiran-butiran mineral padat yang tidak tersegmentasi (terikat secara kimiawi) antara satu dengan yang lainnya dan merupakan partikel padat hasil penguraian bahan organik yang telah lapuk yang berangakai dengan zat cair dan gas sebagai pengisi ruang-ruang kosong antarpartikel. Dalam perencanaan ini perlu diketahui sifat, klasifikasi serta daya dukung tanah agar dapat menentukan dari beberapa faktor penyebab kelongsoran dengan metode yang digunakan dalam perhitungan ini adalah *Metode Bishop* dan *Fellenius*. Analisis geoteknik digunakan dalam menghitung besarnya faktor keamanan tebing terhadap tekanan tanah. Faktor

keamanan dihitung terhadap beberapa bidang longsor yang berbentuk busur lingkaran.

3.5.1. Sistem Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu system pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi memiliki sifat yang serupa kedalam kelompok-kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butir dan plastisitas.

Walaupun saat ini terdapat berbagai sistem klasifikasi tetapi tidak ada satupun dari sistem - sistem tersebut yang benar – benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena sifat – sifat tanah yang bervariasi.

Klasifikasi tanah diperlukan antara lain untuk hal – hal berikut ini :

- Perkiraan hasil eksplorasi tanah (persiapan log-bor tanah dan peta tanah)
- Perkiraan standar kemiringan lereng dari penggalian tanah atau tebing
- Perkiraan pemilihan bahan
- Perkiraan persentasi muai dan susut
- Pemilihan jenis konstruksi dan peralatan untuk konstruksi (pemilihan cara penggalian dan rancangan penggalian)
- Perkiraan kemampuan peralatan untuk konstruksi
- Rencana pekerjaan / pembuatan lereng dan tembok penahan tanah

Adapun beberapa metode klasifikasi tanah yang ada antara lain :

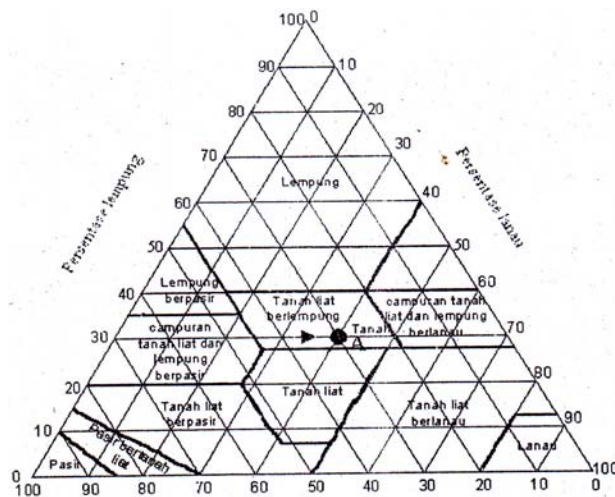
1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur
2. Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO
3. Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED

3.5.1.1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur

Tekstur tanah merupakan keadaan permukaan tanah yang bersangkutan. Pengaruh daripada tiap-tiap butir tanah yang ada didalam tanah tersebut merupakan pembentuk tekstur tanah. Ukuran butir merupakan suatu metode yang jelas untuk mengklasifikasikan tanah dan kebanyakan dari sistem –

sistem klasifikasi terdahulu banyak menggunakan ukuran butir sebagai dasar pembuatan sistem klasifikasi.

Tanah dibagi dalam beberapa kelompok diantaranya, kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), dan lempung (*clay*) atas dasar ukuran butir-butirnya. Dikarenakan deposit tanah alam pada umumnya terdiri atas berbagai ukuran – ukuran partikel, maka perlu sekali untuk membuat suatu aturan berdasarkan distribusi ukuran butir yang kemudian menentukan prosentase tanah bagi setiap batasan ukuran.



Gambar 3.6 Klasifikasi berdasarkan tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA)

Departemen Pertanian Amerika Serikat telah mengembangkan suatu sistem klasifikasi ukuran butiran yang menamakan tanah secara spesifik bergantung dari prosentase pasir, lanau dan lempung seperti terlihat pada Gambar 3.6.

3.5.1.2. Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Klasifikasi tanah sistem AASHTO pada ,mulanya dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System* guna mengklasifikasikan tanah untuk pemakaian lapisan dasar jalan raya. Sistem ini mengklasifikasikan tanah kedalam 7 kelompok, A-1 sampai A-7. Kelompok A-1 dianggap yang paling baik yang sesuai untuk lapisan dasar jalan raya. Setelah diadakan beberapa kali perbaikan, system ini dipakai oleh *The American Association of State Highway Officials* (AASHTO) dalam tahun 1945.

Bagan pengklasifikasian seperti ini dapat dilihat seperti pada Tabel 3.15 dibawah ini.

Tabel 3.15 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi Kelompok	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa saringan (% lolos) No. 10 No.40 No.200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Maks 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Maks 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						
Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi Kelompok	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6#			
Analisa saringan (% lolos) No. 10 No.40 No.200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36			
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11			
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung				
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek						

(Sumber : Bowles, 1991)

*PI ≤ LL – 30

#PI > LL – 30

3.5.1.3. Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED

Sistem klasifikasi ini yang paling banyak dipakai untuk pekerjaan teknik pondasi seperti untuk bendungan, bangunan dan konstruksi yang sejenis. Sistem ini biasa digunakan untuk desain lapangan udara dan untuk spesifikasi pekerjaan tanah untuk jalan.

Klasifikasi berdasarkan *Unified System* (Das. Braja.M, 1988), tanah dikelompokkan menjadi :

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*) yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dari huruf awal G atau S. Huruf G adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, dan huruf S adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*) yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), *muck*, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

Tanah berbutir kasar ditandai dengan symbol kelompok seperti : GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM dan SC. Untuk klasifikasi yang benar, perlu memperhatikan faktor-faktor berikut ini :

1. Prosentase butiran yang lolos ayakan No. 200 (fraksi halus)
2. Prosentase fraksi kasar yang lolos ayakan No. 40
3. Koefisien keseragaman (*uniform coefficient*, C_u) dan koefisien gradasi (*gradation coefficient*, C_c) untuk tanah dimana 0-12% lolos ayakan No. 200
4. Batas cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI) bagian tanh yang lolos ayakan No. 40 (untuk tanah dimana 5% atau lebih lolos ayakan ayakan No. 200)

Selanjutnya tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok seperti terlihat dalam Tabel 3.16 berikut ini.

Tabel 3.16 Simbol klasifikasi tanah berdasarkan *Unified System* (1/2)

Jenis Tanah	Simbol	Suk kelompok	Simbol
Kerikil	G	Gradasi baik	W
		Gradasi buruk	P

Pasir	S	Berlanau Berlempung	M C
Lanau Lempung Organik Gambut	M C O PT	LL < 50% LL > 50%	L H

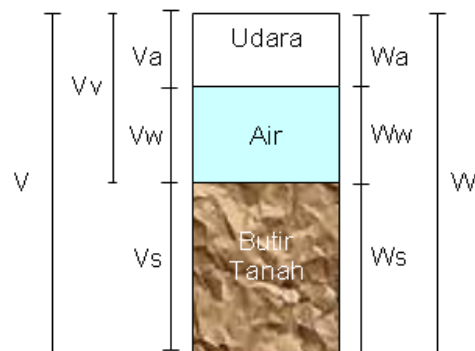
(Sumber : Bowles, 1991)

3.5.2. Sifat-Sifat Tanah

Penyelidikan tanah untuk perencanaan pelindung tebing Sungai Rambut dimaksudkan untuk mengetahui jenis, sifat, dan perilaku tanah yang selanjutnya dapat diketahui penyebab kerusakan tebing pada Sta. 5.000 di Desa Banjaragung dan kemudian menentukan alternatif pemecahannya.

3.5.2.1. Sifat Fisik Tanah

Segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Pada tanah yang kering hanya terdiri atas dua bagian yaitu butiran tanah dan pori-pori udara. Pada tanah jenuh terdapat dua bagian yaitu butiran padat dan air pori. Pada keadaan tidak jenuh tanah terdiri atas tiga bagian yaitu butiran tanah, pori-pori udara dan air pori. Bagian-bagian tanah dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Diagram Fase Tanah

keterangan:

- V : volume total = $V_a + V_w + V_s$
- V_a : volume udara (dalam bagian berongga)
- V_w : volume air (dalam bagian berongga)

V_s : volume butir tanah
 V_v : volume rongga = $V_a + V_w$
 W : berat total = $W_s + W_w$
 W_s : berat butiran padat
 W_w : berat air
 W_a : berat udara = 0

Hubungan yang umum dipakai untuk suatu elemen tanah adalah :

1. Angka pori (*void ratio*)
Didefinisikan sebagai perbandingan antara volume rongga (V_v) dengan volume butir tanah / bagian padat (V_s).
2. Porositas (n)
Menyatakan perbandingan antara volume pori (V_v) dengan volume tanah total (V) yang dinyatakan persen.
3. Derajat kejenuhan (S)
Menyatakan perbandingan antara volume air (V_w) dengan volume rongga (V_v).
4. Kadar air (W)
Disebut juga sebagai *water content* yang didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air butiran padat (W_w) dari volume tanah yang diselidiki (W_s).
5. Berat jenis tanah (G)
Menyatakan perbandingan antara berat isi butiran tanah (γ_s) dan berat isi air (γ_w).
6. Berat isi air (γ_w)
Menyatakan perbandingan antara berat air (W_w) dengan volume air (V_w)
7. Berat isi butir (γ_s)
Menyatakan perbandingan antara berat butiran tanah (W_s) dengan volume butir tanah (V_s)
8. Berat isi tanah (γ)
Menunjukkan perbandingan antara berat tanah dengan isi tanah (untuk berat volume basah)
9. Berat volume kering (*dry unit weight*)
adalah berat butiran tanah persatuan volume atau perbandingan berat isi tanah dengan $1 +$ kadar air.

10. Berat isi celup tanah (γ_{sub})

Menyatakan suatu harga dari berat isi jenuh dikurangi berat isi air

11. Analisa Saringan

Secara umum tanah diklasifikasikan sebagai tanah berbutir kasar (non kohesif) dan tanah berbutir halus (kohesif). Istilah-istilah seperti kerikil, pasir, lanau, lempung, maupun lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel tanah pada batas tertentu.

12. Batas-batas konsistensi (*Atterberg Limits*)

Batas-batas Atterberg tergantung pada air yang terkandung dalam massa tanah, ini dapat menunjukkan beberapa kondisi tanah seperti cair-kental-plastis-semiplastis-padat, perubahan dari keadaan yang satu ke keadaan lainnya sangat penting diperhatikan sifat fisiknya. Batas kadar air tanah dari keadaan satu menuju keadaan berikutnya dikenal sebagai batas-batas kekentalan / konsistensi. Menurut Hary Christady Hardiyatmo (2002) batas-batas Atterberg adalah sebagai berikut :

– Batas cair (Liquid Limit / LL)

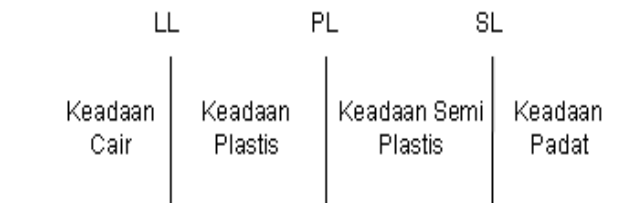
Menyatakan kadar air minimum dimana tanah masih dapat mengalir dibawah beratnya atau kdat air tanah pada batas antara keadaan cair ke keadaan plastis.

– Batas plastis (Plastis Limit / PL)

Menyatakan kadar air minimum dimana tanah masih dalam keadaan plastis atau kadar air minimum dimana tanah dapat digulung-gulung sampai diameter 3,1 mm atau 1/8 inchi.

– Batas susut (Shrinkage Limit / SL)

Menyatakan batas dimana sesudah kehilangan kadar air, selanjutnya tidak menyebabkan penyusutan volume tanah lagi. Batas-batas Atterberg tersebut seperti yang terlihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Batas-Batas Atterberg

Disamping itu hal penting lainnya antara lain

- Indeks Plastisitas (*Plasticity Index / PI*)

Menunjukkan sejumlah kadar air pada saat kondisi tanah dalam keadaan kondisi plastis, dimana harga ini adalah selisih antara batas cair dan batas plastis. Hubungan antara Indeks Plastisitas dengan Tingkat Plastisitas dapat dilihat pada Tabel 3.17.

Tabel 3.17 Hubungan antara PI dengan Tingkat Plastisitas

Data from index test			Probable Expansion, Percent Total Volume Change	Degree of Expansion
Colloid Content Percent minus 0,001 mm	Plasticity index	Shrinkage index		
>28	>35	<11	>30	very high
20 – 13	25 – 41	7 – 12	20 – 30	high
13 – 23	15 – 28	10 – 16	10 – 30	medium
<15	<18	<10	<10	low

(Sumber: Holtz dan Gibbs, 1956)

- Indeks Cair (*Liquidity Index / LI*)

Menyatakan perbandingan dalam prosentase antara kadar air tanah dikurangi batas plastis dengan indeks plastis.

- Konsistensi Relatif (*Relative Consistency / RC*)

Menunjukkan perbandingan antara batas cair dikurangi kadar air tanah dengan indeks plastis.

- Indeks Pengaliran (*Flow Index / Ir*)

Adalah kemiringan lengkung aliran.

- Indeks Kekasaran (*Thughness Index / It*)

Adalah nilai perbandingan antara indeks plastisitas dengan indeks pengaliran.

- Nilai Susut (*Shrinkage Ratio / SR*)

Adalah perbandingan antara selisih isi (dinyatakan dalam prosentase isi kering) dengan kadar air yang bersangkutan.

3.5.2.2. Sifat Mekanis Tanah

Sifat mekanis tanah adalah perilaku tanah jika menerima pembebanan dari luar dan digunakan sebagai parameter perencanaan pondasi. Pengujian

yang diperlukan untuk analisis dan perencanaan adalah kuat geser tanah. Teori tentang keruntuhan pada material yang menyatakan bahwa keruntuhan terjadi pada suatu material akibat kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser, dan bukan hanya akibat tegangan normal maksimum atau tegangan geser maksimum saja (Mohr, 1980).

Hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser pada sebuah bidang keruntuhan dapat dinyatakan dalam bentuk sebagai berikut :

$$\tau_f = f(\sigma) \dots \dots \dots (3.53)$$

Kekuatan geser pada tanah tak jenuh dapat dihitung dengan rumus :

$$\tau_s = c + (\sigma' + u) \tan \theta \dots \dots \dots (3.54)$$

Pada tanah jenuh air, besarnya tegangan normal total pada sebuah titik adalah sama dengan jumlah tegangan efektif ditambah tegangan air pori dan dinyatakan dalam persamaan dibawah ini

$$\tau_s = \sigma' + u \dots \dots \dots (3.55)$$

dimana : τ_s = kuat geser

σ' = tegangan efektif

u = tegangan air pori

Harga C dari tanah pasir dan lanau anorganik adalah nol, demikian pula untuk tanah lempung yang terkonsolidasi normal harga C dianggap sama dengan nol, sedangkan lempung terkonsolidasi lebih memiliki harga $C > 0$, dan sudut geser dalam ϕ kadang-kadang disebut sudut geser air teralirkan (*drained angle of friction*).

3.5.2.3. Sifat Elastis Tanah

Teori elastisitas pada tanah akan membahas perubahan bentuk dan ukuran pada suatu massa tanah akibat adanya tegangan yang bekerja pada tanah tersebut. Hitungan tegangan – regangan yang terjadi dalam tanah berguna untuk analisis tegangan – regangan dan penurunan. Sifat – sifat tegangan – regangan dan penurunan bergantung pada sifat tegangan – regangan tanah bila mengalami pembebanan. Dalam hitungan tegangan di dalam tanah, tanah dianggap elastis, homogen, isotropis dan terdapat hubungan linear antara tegangan dan regangan. Tegangan – regangan di dalam tanah dapat diakibatkan oleh beban yang bekerja di permukaan atau oleh beratnya sendiri.

Parameter – parameter sifat elastis tanah yang akan diuraikan dalam pembahasan ini meliputi Modulus tegangan – regangan (E_s) dan rasio poissons (ν).

1. Modulus Young

Nilai yang dibutuhkan adalah nilai q_c atau *cone resistance* yaitu dengan menggunakan rumus :

$$E = 2 q_c \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 3 q_c \text{ (untuk pasir)}$$

$$E = 2 \text{ sampai } 8 q_c \text{ (untuk lempung)}$$

Nilai yang dibutuhkan adalah nilai N . Modulus elastisitas didekati dengan menggunakan rumus :

$$E = 6 (N+5) \text{ k/ft}^2 \text{ (untuk pasir berlempung)}$$

$$E = 10 (N+15) \text{ k/ft}^2 \text{ (untuk pasir)}$$

Nilai perkiraan modulus elatisistas tanah menurut Bowles dapat dilihat pada Tabel 3.18.

Tabel 3.18 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Bowles, 1997)

Macam Tanah	E (kg/cm ²)
LEMPUNG	
Sangat Lunak	3 – 30
Lunak	20 – 40
Sedang	45 – 90
Berpasir	300 – 425
PASIR	
Berlanau	50 – 200
Tidak Padat	100 – 250
Padat	500 – 1000
PASIR	
DAN KERIKIL	
Padat	800 – 2000
Tidak Padat	500 – 1400
	20 – 200
LANAU	
	150 – 600
LOSES	
	1400 - 14000
CADAS	

(Sumber : Bowles, 1997)

2. Poissons Ratio

Poissons ratio sering dianggap sebesar 0,2 – 0,4 dalam pekerjaan-pekerjaan mekanika tanah. Nilai sebesar 0,5 biasanya dipakai untuk tanah jenuh dan nilai 0 sering dipakai untuk tanah kering dan tanah lainnya untuk kemudahan dalam perhitungan. Ini disebabkan nilai Poissons Ratio sukar untuk diperoleh untuk tanah. Nilai perkiraan angka poisons tanah menurut Bowles dapat dilihat pada Tabel 3.19.

Tabel 3.19 Nilai Perkiraan Angka *Poissons* Tanah

Macam Tanah	ν (angka poissons tanah)
Lempung Jenuh	0,40 – 0,50
Lempung Tak Jenuh	0,10 – 0,30
Lempung Berpasir	0,20 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasir Padat	0,20 – 0,40
Pasir Kasar	0,15
Pasir Halus	0,25
Batu	0,10 – 0,40
Loses	0,10 – 0,30

(Sumber: Mekanika Tanah Jilid I Braja M.Das)

3.5.3. Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah merupakan kemampuan tanah untuk menahan beban pondasi tanpa mengalami keruntuhan akibat geser yang juga ditentukan oleh kekuatan geser tanah. Tanah mempunyai sifat untuk meningkatkan kepadatan dan kekuatan gesernya apabila menerima tekanan. Apabila beban yang bekerja pada tanah pondasi telah melampaui daya dukung batasnya, tegangan geser yang ditimbulkan dalam tanah pondasi melampaui kekuatan geser tanah maka akan mengakibatkan keruntuhan geser tanah tersebut. Perhitungan daya dukung tanah dapat dihitung berdasarkan teori Terzaghi

Daya dukung tanah untuk pondasi bujur lajur

$$q_{ult} = c \times Nc + \gamma \times D \times Nq + 0,5 \times \gamma \times B \times N\gamma \dots \dots \dots (3.56)$$

Daya dukung tanah untuk pondasi bujur sangkar

$$q_{ult} = 1,3 \times c \times Nc + \gamma \times D \times Nq \dots \dots \dots (3.57)$$

dimana :

D : kedalaman pondasi

B : lebar pondasi

γ : berat isi tanah

N_c, N_q, N_γ : faktor daya dukung yang tergantung pada sudut geser

3.5.4. Stabilitas Lereng

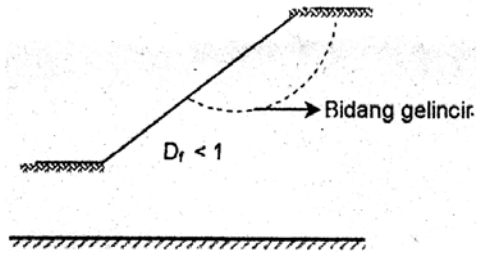
Pada tempat dimana terletak dua permukaan tanah yang berbeda ketinggiannya, maka akan ada gaya-gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak kebawah. Disamping gaya yang mendorong kebawah terdapat pula gaya-gaya dalam tanah yang bekerja melawan sehingga kedudukan tanah tetap stabil. Gaya pendorong berupa gaya berat, gaya tiris/muatan dan gaya-gaya inilah penyebab terjadinya kelongsoran. Gaya penahan berupa gaya gesekan/geseran, lekatan(dari kohesi), kekuatan geser tanah. Antara permukaan dari tanah yang lebih tinggi ke permukaan yang lebih rendah dihubungkan suatu permukaan yang disebut lereng

Dalam bidang teknik sipil, dikenal 3 jenis lereng yaitu :

1. Lereng alam, yaitu lereng yang terbentuk oleh proses alamiah seperti lereng perbukitan
2. Lereng yang dibuat dari tanah asli, misalnya pengeprasan tanah untuk keperluan pembuatan jalan maupun saluran untuk irigasi
3. Lereng yang dibuat dari tanah yang dipadatkan, misalnya pembuatan tanggul untuk jalan atau bendungan urugan

Kelongsoran pada lereng umumnya terjadi dalam suatu bidang lengkung. Dalam perhitungan stabilitas, lengkungan yang riil ini dianggap sebagai lingkaran spiral logaritmis. Bidang ini disebut bidang gelincir. Ada tiga jenis dasar kelongsoran yang terjadi pada lereng semacam ini yaitu :

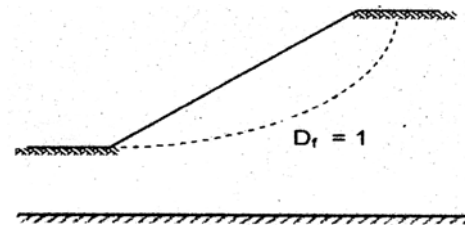
1. Kelongsoran muka, bila kelongsoran terjadi sepanjang bidang gelincir yang masih terletak dalam batas lereng. Kelongsoran jenis ini dapat dilihat pada Gambar 3.9



(Sumber : L.D.Wesley, Mekanika Tanah)

Gambar 3.9 Kelongsoran Muka

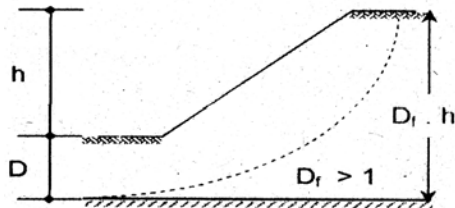
2. Kelongsoran dasar, bila bidang gelincir longsor melewati ujung bawah lereng. Kelongsoran jenis ini dapat dilihat pada Gambar 3.10.



(Sumber : L.D.Wesley, Mekanika Tanah)

Gambar 3. 10 Kelongsoran Dasar

3. Kelongsoran ujung kaki, bila bidang gelincir longsor terletak pada ujung bawah lereng. Kelongsoran jenis ini dapat dilihat pada Gambar 3.11.



(Sumber : L.D.Wesley, Mekanika Tanah)

Gambar 3.11 Kelongsoran Ujung Kaki

Kemantapan lereng (slope stability) sangat dipengaruhi oleh kekuatan geser tanah untuk menentukan kemampuan tanah menahan tekanan tanpa mengalami keruntuhan.

Dalam praktek, analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis (*limit plastic equilibrium*). Adapun maksud analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam laporan ini, dasar-dasar teori yang dipakai untuk menyelesaikan masalah tentang stabilitas longsor dan daya dukung tanah menggunakan metode *Bishop's (Bishop's Method)* dan metode *Fellenius*.

Dalam menganalisis stabilitas lereng digunakan beberapa anggapan yaitu :

1. Kelongsoran lereng terjadi disepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dianggap sebagai masalah bidang dan dimensi
2. Masa tanah yang longsor dianggap sebagai benda massif
3. Tahanan geser tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis
4. Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor potensial dan kuat geser tanah sepanjang permukaan longsor. Jadi kuat geser tanah mungkin terlampaui di titik-titik tertentu pada bidang longsornya, padahal faktor aman hasil hitungan lebih besar dari 1
5. Hukum Coloumb berlaku untuk kondisi runtuh $\tau_r = C_r + \sigma_r' \tan \phi_r'$
6. Bentuk tegangan adalah lurus
7. Semua gaya yang bekerja telah diketahui
8. Berlaku hukum tegangan total dan tegangan efektif $\sigma = \sigma' + u$

dimana :

σ = tegangan total

σ' = tegangan efektif

u = tegangan air pori

Bentuk umum untuk perhitungan stabilitas lereng adalah mencari angka keamanan (η) dengan membandingkan momen-momen yang terjadi akibat gaya yang bekerja (lihat Gambar 3.12)

$$\eta = \frac{\text{Momen penahan}}{\text{Momen penggerak}} = \frac{Rc \cdot Lac}{W \cdot y}$$

dimana :

η = Faktor Keamanan

W = Berat tanah yang akan longsor (kN)

Lac = Panjang lengkungan (m)

c = Kohesi (kN/m^2)

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

Y = Jarak pusat berat W terhadap O (m)

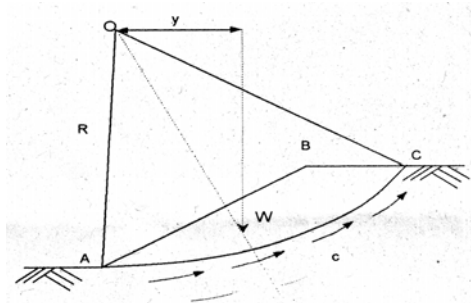
jika,

$\eta < 1$ maka lereng tidak stabil

$\eta = 1$ maka lereng dalam keadaan kritis artinya dengan sedikit gangguan atau tambahan momen penggerak maka lereng menjadi tidak stabil

$\eta > 1$ maka lereng tidak stabil

Untuk memperoleh nilai angka keamanan (FK) suatu lereng, maka perlu dilakukan 'trial and error' terhadap beberapa bidang longsor yang umumnya berupa busur lingkaran dan kemudian diambil nilai η minimum sebagai indikasi bidang longsor kritis. Analisis stabilitas lereng dapat dilihat pada Gambar 3.12



(Sumber : Mekanika Tanah Edisi Keempat, R.F.Craig)

Gambar 3.12 Analisis Stabilitas Lereng

3.5.5. Teori Kelongsoran

Gerakan tanah merupakan proses perpindahan massa tanah atau batuan dengan arah tegak, mendatar atau miring terhadap kedudukan semula karena pengaruh air, gravitasi, dan beban luar. Kelongsoran pada lereng umumnya terjadi dalam suatu bidang lengkung. Dalam perhitungan stabilitas, lengkungan yang riil ini dianggap sebagai lingkaran spiral logarotmis. Bidang ini disebut bidang gelincir.

Kemantapan lereng (*slope stability*) sangat dipengaruhi oleh kekuatan geser tanah untuk menentukan kemampuan tanah menahan tekanan tanpa mengalami keruntuhan. Adapun maksud analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam laporan ini, dasar-dasar teori yang dipakai untuk menyelesaikan masalah tentang stabilitas longsor dan daya dukung tanah menggunakan teori metode *Bishop (Bishop's Method)* dan metode *Fellenius*.

3.5.5.1. Metode Bishop (Bishop Method)

Metode Bishop's (1955) merupakan dasar metode bagi aplikasi program *Mira Slope* dan merupakan penyederhanaan dari metode irisan *Sliding*. Metode Bishop's menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal.

Persamaan kuat geser dalam tinjauan tegangan efektif yang dapat dikerahkan, sehingga tercapainya kondisi keseimbangan batas dengan memperhatikan faktor keamanan.

$$\tau = \frac{c'}{F} + (\sigma - u) \frac{tg \phi'}{P} \dots\dots\dots(3.58)$$

dimana :

- σ = Tegangan normal total pada bidang longsor
- u = Tekanan air pori

Untuk irisan (pias) yang ke-i, nilai $T_i = \tau a$, yaitu nilai geser yang berkembang pada bidang longsor untuk keseimbangan batas, karena itu :

$$T_i = \frac{c' a_i}{F} + (N_i - u_i a_i) \frac{tg \phi'}{F} \dots\dots\dots(3.59)$$

Kondisi keseimbangan momen terhadap pusat rotasi O antara berat massa tanah yang akan longsor dengan gaya geser total pada dasar bidang longsohnya yang dapat dinyatakan dengan

dimana :

- F = Faktor keamanan
- C' = Kohesi tanah efektif
- ϕ' = Sudut geser dalam tanah efektif
- b_i = Lebar irisan ke - i
- W_i = Berat isi tanah ke - i
- θ_i = Sudut yang diasumsikan (didefinisikan) dalam Gambar 3.13
- U_i = Tekanan air pori pada irisan ke - i

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + (W_i - u_i b_i) tg \phi'] \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + tg \theta_i tg \phi' / F)} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \dots\dots\dots(3.60)$$

Nilai banding tekanan pori (*pore pressure ratio*) didefinisikan sebagai :

Lokasi lingkaran sliding (longsor) kritis pada metode *Bishop* biasanya mendekati hasil pengamatan di lapangan. Karena itu, walaupun metode *Fellenius* lebih mudah, metode *Bishop* lebih disukai karena menghasilkan penyelesaian yang lebih teliti.

Dalam praktek, diperlukan untuk melakukan cara coba-coba dalam menemukan bidang longsor dengan nilai faktor aman yang terkecil. Jika bidang longsor dianggap lingkaran, maka lebih baik kalau dibuat kotak-kotak dimana tiap titik potong garis-garisnya merupakan tempat kedudukan pusat lingkaran longornya. Pada titik-titik potongan garis yang merupakan pusat lingkaran longornya dituliskan nilai faktor aman terkecil pada titik tersebut. Kemudian, setelah faktor aman terkecil pada tiap-tiap titik pada kotaknya diperoleh, digambarkan garis kontur yang menunjukkan tempat kedudukannya dari titik-titik pusat lingkaran yang mempunyai faktor aman yang sama. Dari faktor aman pada setiap kontur tentukan letak kira-kira dari pusat lingkaran yang menghasilkan faktor aman yang paling kecil.

3.5.5.2. Metode *Fellenius*

Analisis geoteknik digunakan dalam menghitung besarnya faktor keamanan tebing terhadap tekanan tanah. Metode yang digunakan dalam perhitungan ini adalah metode irisan *Fellenius*. Faktor keamanan dihitung terhadap beberapa bidang longsor yang berbentuk busur lingkaran.

Untuk memudahkan usaha *trial and errors* terhadap stabilitas tebing maka titik-titik pusat bidang longsor harus ditentukan dahulu melalui pendekatan. *Fellenius* memberikan petunjuk – petunjuk untuk lokasi titik pusat busur lonsor kritis yang melalui tumit suatu tebing seperti pada Tabel 3.20.

Untuk menentukan letak titik pusat busur lingkaran sebagai bidang longsor dilakukan dengan cara coba-coba dimulai dengan bantuan sudut-sudut petunjuk dari *Fellenius* untuk tanah kohesif ($\phi = 0$).

Tabel 3.20 Sudut – Sudut petunjuk menurut Fellenius (1/2)

Kemiringan Tebing 1 : n	Sudut – Sudut Petunjuk	
	α	β
1 : 1	28 ⁰	37 ⁰
1 : 1,5	26 ⁰	35 ⁰

Metode *Fellenius* dapat dipakai pada kondisi isotropis, non isotropis dan berlapis-lapis. massa tanah yang bergerak diandaikan terdiri atas beberapa elemen vertikal. lebar elemen dapat diambil tidak sama dan sedemikian sehingga lengkung busur didasar elemen dapat dianggap sebagai garis lurus. dasar busur setiap elemen harus berada pada satu jenis tanah.

Berat total tanah pada suatu elemen (W_t) termasuk beban luar yang bekerja pada permukaan lereng (lihat gambar 3.16). W_t diuraikan dalam komponen tegak lurus dan tangensial pada dasar elemen. dengan cara ini pengaruh gaya T dan E yang bekerja disamping elemen diabaikan. Faktor keamanan adalah perbandingan momen penahan longsor dengan momen penyebab longsor. momen tahanan geser pada bidang longsor adalah:

$$M_{\text{penahan}} = R \times r \dots\dots\dots(3.64)$$

Tahanan geser pada tiap elemen

$$R = S \times l = l \times (c' + \sigma \tan \phi') \dots\dots\dots (3.65)$$

$$\sigma = \frac{W_t \cos \alpha}{l}, \text{ atau,} \dots\dots\dots (3.66)$$

$$R = c'l + W_t \cos \alpha \tan \phi' \dots\dots\dots (3.67)$$

sehingga besarnya momen penahan yang ada sebesar :

$$M_{\text{penahan}} = r \times (c'l + W_t \cos \alpha \tan \phi') \dots\dots\dots (3.68)$$

dimana:

R = Gaya geser tanah (t)

r = Jari-jari bidang longsor (m)

S = Kuat geser tanah (t/m)

$$l = \text{Panjang dasar elemen (m)} = \frac{b}{\cos \alpha}$$

α = Kemiringan dasar

c' = Kohesi efektif (t/m^2)

ϕ' = Sudut geser dalam efektif

σ = Tegangan total pada bidang geser (t/m)

W_t = Berat total elemen (t)

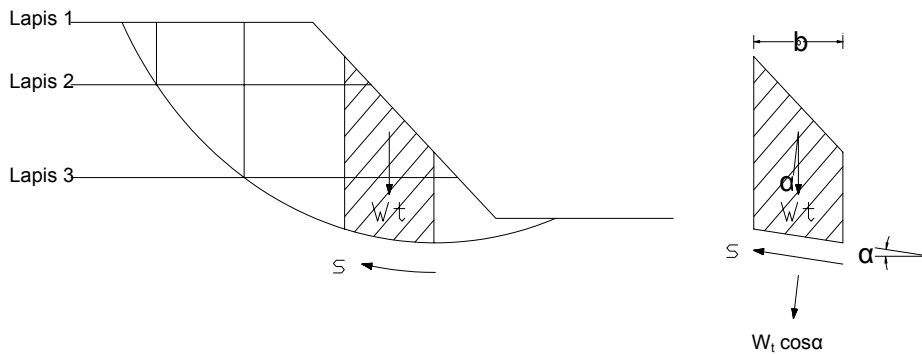
b = Lebar elemen (m)

komponen tangensial W_t bekerja sebagai penyebab longsoran menimbulkan momen penyebab longsoran:

$$M_{\text{penyebab}} = (W_t \sin \alpha) r \dots \dots \dots (3.69)$$

Faktor keamanan tebing menjadi :

$$Fk = \frac{\sum (c'l + W_t \cos \alpha * \tan \phi')}{\sum W_t \sin \alpha} \dots \dots \dots (3.70)$$



Gambar 3.16 Gaya yang bekerja pada bidang longsor

Jika tebing terendam air atau muka air tanah diatas kaki tebing, maka tekanan air pori akan berkerja pada dasar elemen yang ada dibawah air tersebut. dalam hal ini tahanan geser harus diperhitungkan yang efektif sedangkan penyebabnya tetap diperhitungkan secara total sehingga rumusnya menjadi:

$$Fk = \frac{\sum [c'l + (W_t \cos \alpha - \mu l) * \tan \phi']}{\sum W_t \sin \alpha} \dots \dots \dots (3.71)$$

Pada penentuan bidang longsor metode *Fellenius* faktor keamanan dihitung terhadap beberapa bidang longsor yang berbentuk busur lingkaran, titik-titik pusat bidang longsor harus ditentukan dahulu melalui pendekatan dengan cara coba-coba dimulai dengan bantuan sudut-sudut petunjuk dari *Fellenius* untuk tanah kohesif ($\phi = 0$). Untuk memudahkan usaha *trial and errors* terhadap stabilitas tebing maka dalam penelitian ini digunakan program *GeoStudio Slope/W*.

Slope/W adalah salah satu komponen dalam paket lengkap produk geoteknik yang disebut *GeoStudio*. *Slope/W* didesain dan dibuat untuk menganalisis stabilitas struktur tanah pada suatu lereng dengan menggunakan berbagai metode berdasarkan pada konsep kesetimbangan batas (limit equilibrium). Stabilitas lereng dicek dengan ketentuan faktor keamanan kritis

lebih kecil dari slope stabil. Untuk menghasilkan model penampang tanah sebagai *input*, maka data pengeboran harus diolah terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), berat volume (γ) serta ketebalan masing-masing lapisan tanah tersebut.

3.5.6. Faktor – Faktor Penyebab Kelongsoran

Dalam analisis stabilitas lereng tidak mudah, karena terdapat banyak factor yang sangat mempengaruhi hasil hitungan. Faktor-faktor tersebut misalnya, kondisi tanah yang berlapis-lapis, kuat geser tanah yang anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah dan lain-lainnya. Terzaghi (1950) membagi penyebab longsor lereng terdiri dari akibat pengaruh dalam dan pengaruh luar. Disamping itu pengaruh iklim, air, rangkak (*creep*) juga berpengaruh dalam kelongsoran.

3.5.6.1. Faktor Pengaruh dari Dalam

Faktor penyebab terjadi longsor yang berasal dari dalam adalah pengaruh dari karakteristik tanah itu sendiri yang dapat menyebabkan terjadinya longsor. Faktor-faktor itu anatara lain adalah :

1. Penambahan kadar air dalam tanah

Pada saat musim penghujan maka kadar air didalam tanah akan bertambah sehingga bobot massa tanah juga akan meningkat akibat terisinya rongga antar butir dalam tanah. Hal ini akan memicu gerak tanah terutama pada lokasi rawan longsor.

2. Pelarutan bahan perekat

Air yang masuk kedalam tanah (air hujan, rembesan bending, bocoran saluran pada lereng,dsb) akan dapat melarutkan bahan perekat pada batuan sedimen. Hal ini mampu melongsorkan material terutama pada daerah rawan gerak tanah.

3. Kondisi batuan

Kondisi fisik batuan seperti tingginya tingkat kelulusan air/porositas akan semakin mempercepat terjadinya longsor, demikian juga dengan kondisi plastisitas tanah karena semakin tinggi tingkat plastisitas maka tanah akan cepat mengembang sehingga mampu memicu gerak tanah.

4. Kondisi struktur geologi

Kondisi geologi seperti retakan batuan, adanya patahan, perlapisan miring batuan atau pada batas lapisan batuan yang lolos air (tidak kedap air).

3.5.6.2. Faktor Pengaruh dari Luar

Faktor penyebab terjadinya longsor yang berasal dari luar adalah faktor-faktor yang berasal dari luar struktur tanah tersebut namun secara langsung dapat mempengaruhi stabilitas tanah sehingga dapat menimbulkan terjadinya longsor.

1. Adanya getaran

Sumber getaran dapat berasal dari gempa bumi, kendaraan berat, mesin-mesin yang bekerja, ledakan dinamit, dsb yang mampu menyebabkan terjadinya gerakan tanah. Hal ini dapat terjadi pada daerah berlereng atau daerah yang labil.

2. Curah hujan

Curah hujan yang meliputi intensitas dan lamanya hujan. Hujan dengan intensitas kecil tetapi berlangsung dalam kurun waktu yang lama mampu memicu gerakan tanah.

3. Adanya pembebanan tambahan

Aktivitas manusia seperti pembuatan bangunan pada sekitar tebing dapat menyebabkan terjadinya gerakan tanah.

4. Hilangnya penguat lereng

Kejadian ini terjadi seperti lereng-lereng yang menjadi curam akibat pengikisan sungai, penambangan material tanah/batuan, dll.

5. Hilangnya tumbuhan penutup

Akibat penebangan dan kebakaran hutan, tumbuhan penutup akan berkurang sehingga akan terbentuk alur-alur air di permukaan tanah. Hal ini mampu memicu terjadinya gerakan tanah.

6. Penataan lahan yang kurang tepat

Penataan lahan yang kurang tepat seperti pembukaan areal pemukiman tanpa memperhitungkan kondisi struktur tanah dan kurang memperhatikan lingkungan. Hal ini jika berlangsung dalam kurun waktu yang lama dapat menyebabkan terjadinya gerakan tanah terutama pada daerah yang mempunyai kemiringan tinggi.

3.5.6.3. Pengaruh Iklim

Di dekat permukaan tanah, kuat geser tanah berubah dari waktu ke waktu bergantung pada iklim. Beberapa jenis tanah mengembang pada saat musim hujan dan menyusut pada musim kemarau. Pada musim hujan kuat geser tanah ini menjadi sangat rendah dibandingkan dengan pada musim kemarau. Oleh karena itu, kuat geser yang dipakai dalam analisis stabilitas lereng harus didasarkan pada kuat geser tanah di musim hujan atau kuat geser tanah pada saat tanah jenuh air.

3.5.6.4. Pengaruh Air

Pengaruh aliran atau rembesan air menjadi faktor sangat penting dalam stabilitas lereng, namun pengaruh ini sulit diidentifikasi dengan baik. Telah dipelajari bahwa rembesan air yang terjadi di dalam tanah menyebabkan gaya rembesan yang sangat berpengaruh terhadap stabilitas lereng.

Erosi permukaan lereng dapat menyebabkan terkikisnya permukaan tanah yang mengurangi tinggi lereng, sehingga menambah stabilitas lereng. Sebaliknya, erosi yang mengikis kaki lereng dapat menambah tinggi lereng sehingga mengurangi stabilitas lereng. Jika pada lereng terjadi penurunan permukaan air tanah dalam lereng atau di dekat lereng, contohnya penurunan permukaan air mendadak pada saluran atau sungai maka terjadi pengurangan gaya angkat air pada massa tanah, yang menambah beban lereng. Kenaikan beban menyebabkan kenaikan tegangan geser yang bila tahanan geser tanah terlampaui akan mengakibatkan longsor lereng. Hal ini banyak terjadi pada lereng yang tanahnya berpermeabilitas rendah.

Gaya geser yang terjadi pada volume konstan dapat diikuti oleh berkurangnya gaya intergranuler dan naiknya tekanan air pori. Kelongsoran tanah dapat terjadi, bila pengurangan gaya intergranuler terlalu besar menyebabkan massa tanah dalam kedudukan liquefaction (tegangan efektif nol) sehingga tanah dapat mengalir seperti cairan.

3.5.6.5. Pengaruh Rangkak (Creep)

Terdapat di dekat permukaan tanah yang miring, tanah dipengaruhi siklus kembang susut. Siklus ini dapat terjadi akibat perubahan temperatur,

perubahan dari musim kemarau ke musim penghujan dan di daerah dingin dapat dipengaruhi oleh pengaruh pembekuan air. Saat tanah mengembang, tanah naik sehingga melawan gaya-gaya gravitasi. Saat tanah menyusut, tanah turun dibantu oleh gravitasi. Hasil dari gerakan keduanya adalah gerakan perlahan lereng turun ke arah bawah.

Kedalaman zona rangkai bervariasi dari beberapa sentimeter sampai beberapa meter, tergantung pada sifat tanah dan kondisi iklim. Menurut Taylor (1962), rangkai dapat menyebabkan :

1. Blok batuan bergerak
2. Pohon-pohon melengkung ke atas
3. Bagian lereng melengkung dan menarik batuan
4. Bangunan yang menjulang ke atas menjadi miring
5. Dinding penahan tanah dan pondasi bergerak dan retak
6. Jalan raya dan jalan rel keluar dari alurnya
7. Batu-batu besar menggelinding dan sebagainya

3.6. Konstruksi Perbaikan Tebing Sungai

Dalam perencanaan tebing sungai ini, dapat ditinjau dua aspek sebagai penyebab utama kerusakan tebing diantaranya diakibatkan oleh stabilitas alur (kecepatan dan belokan sungai) serta akibat longsor tebing. Kelongsoran yang diakibatkan oleh stabilitas alur karena adanya degradasi butiran solusi penanganannya dengan menggunakan *dumping stone* dan kelongsoran yang diakibatkan oleh belokan sungai solusi penanganannya menggunakan krib melintang. Kelongsoran akibat longsor tebing itu sendiri yang dikarenakan memiliki stabilitas kecil dan alternatif penanganannya meliputi dinding penahan tanah, *grouting nailing* dan *shootcrete* serta turap (*sheetpile*).

Alternatif konstruksi dinding penahan tanah pada lokasi perencanaan tidak memungkinkan, karena kondisi tanah di lokasi termasuk lempung dengan konsistensi lunak sampai sangat lunak dengan perilaku kembang susut tanah yang tinggi. Pada kondisi ini, besarnya penurunan pada konstruksi yang dibangun di atas tanah lunak akan bergantung pada berat konstruksi yang dibangun di atasnya. Dengan daya dukung tanah yang relatif kecil, berat konstruksi akan menambah tegangan yang terjadi pada tanah di bawah dan menambah penurunan.

Alternatif *nailing*, *grouting* dan *shootcrete* tidak cocok untuk kondisi tanah lunak, karena nilai kohesi (c) dan sudut geser (ϕ) yang kecil. Pada kondisi jenuh kohesi tanah (c) akan berkurang, sehingga penggunaan *nailing*, *grouting* dan *shootcrete* tidak efektif.

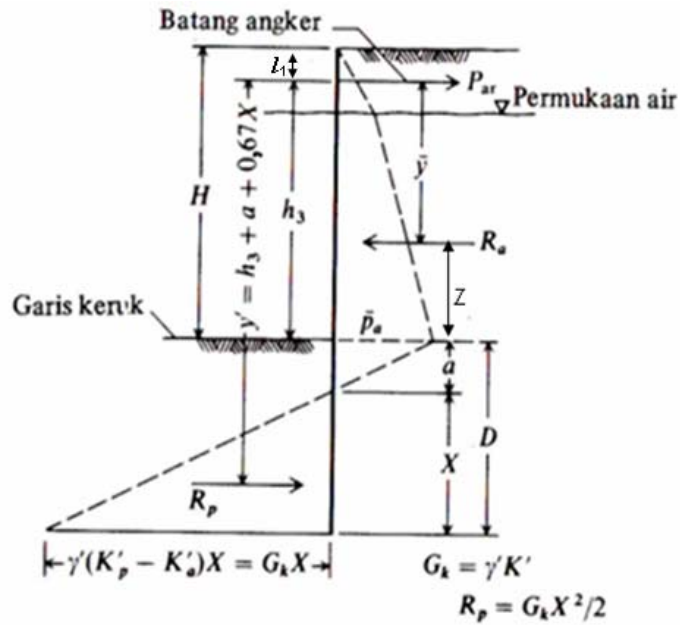
Konstruksi turap cocok untuk kondisi tanah lunak, karena berat bangunan yang relatif kecil dibanding konstruksi dinding penahan tanah. Umur penggunaan turap cukup lama dan tidak memerlukan perawatan khusus. Untuk mengurangi panjang penanaman turap digunakan penjangkaran angker yang dalam perencanaan ini dipilih penjangkaran menggunakan *nailing* dan *grouting* dengan pertimbangan metode pelaksanaannya yang tidak memerlukan pekerjaan galian, sehingga kegiatan pengangkutan tidak mengganggu rumah warga dan jalan desa. Oleh karena itu, untuk membantu menstabilkan tebing dipilih alternatif turap (*sheetpile*) dengan penjangkaran menggunakan *nailing* dan *grouting*.

3.6.1. Perbaikan Tebing Sungai Dengan Turap

Turap merupakan salah satu konstruksi yang banyak digunakan dalam penanggulangan kelongsoran lereng terutama berkaitan dengan area yang terbatas atau kondisi-kondisi yang membutuhkan lereng yang tegak yang berfungsi untuk menahan tekanan tanah dan air. Salah satu kondisi yang sering menggunakan konstruksi turap sebagai dinding penahan adalah pada tebing-tebing kali atau sungai seperti pada studi kasus Sungai Rambut ini.

Ada dua metode yang telah dipakai sejak lama sekali untuk merancang dinding pancang turap dan meski tidak terlalu benar telah memberikan pemecahan-pemecahan yang memuaskan secara umum. Metode tersebut adalah metode tanah-bebas dan metode tanah-tetap, karena FEM (free-earth method=metode tanah bebas) dianjurkan sebagai metode terbaik yang berlaku sekarang untuk dinding pancang turap, maka metode tersebut yang akan digunakan dalam perhitungan perencanaan turap kemudian.

Metode tanah bebas menganggap bahwa tiang adalah kaku dan dapat berputar pada ketinggian batang angker, dengan keruntuhan yang terjadi akibat perputaran disekitar batang angker yang tetap. Diagram tekanan dan penunjukkan ketentuan-ketentuan digambarkan dalam Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Pancang turap berjangkar metode FEM

Jarak a ke titik yang tekanannya nol adalah

$$a = \frac{\bar{P}a}{\gamma'K'} = \frac{\bar{P}a}{Gk} \dots\dots\dots(3.72)$$

dimana $K' = Kp - Ka$

$$Z = \frac{\sum Ma}{Ra} \dots\dots\dots(3.73)$$

$$\bar{y} = (H + a) - (Z + l_1) \dots\dots\dots(3.74)$$

Dimana l_1 adalah kedalaman angkur

Kemudian dengan menjumlahkan momen-momen sekitar batang angker untuk memenuhi statika dengan memakai nilai-nilai dari gambar 3.17 dan mengkombinasikan suku X yang pangkatnya semakin berkurang, maka diperoleh

$$2X^3 + 3X^2(h_3 + a) - \frac{6Ra\bar{y}}{Gk} = 0 \dots\dots\dots(3.75)$$

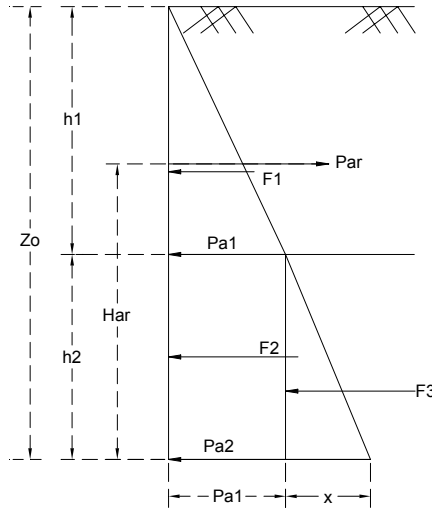
Kedalaman pembedamannya adalah $D = X + a$

Gaya untuk tiap m' didalam batang angker didapat dengan menjumlahkan gaya-gaya horisotal untuk memperoleh

$$P_{ar} = Ra - Rp \dots\dots\dots(3.76)$$

Mmax bila $D = 0$; terjadi pada Z_0

$$\frac{1}{2} Pa_1 h_1 - P_{ar} + Pa_1 (Z_0 - h_1) + \frac{1}{2} Ka_2 \gamma_2 (Z_0 - h_1)^2 = 0 \dots\dots\dots(3.77)$$



Gambar 3.18 Distribusi Gaya Pada Jarak \$Z_0\$

\$M_{max}\$ pada \$Z_0\$ dinyatakan dalam persamaan,

$$M_{max} = P_{ar} H_{ar} - \frac{1}{2} Pa_1 h_1 (\frac{1}{3} h_1 + h_2) - Pa_1 h_2^2 - \frac{1}{6} x h_2^2 (Pa_2 - Pa_1) \dots\dots\dots(3.78)$$

Diameter angkur dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\frac{4P_{ar}}{\pi x D^2} = \bar{\sigma}_{ijin} \dots\dots\dots(3.79)$$

$$D = \sqrt{\frac{4xP_{ar}}{\pi x \bar{\sigma}_{ijin}}} \dots\dots\dots(3.80)$$

dimana :

\$F\$ = gaya yang harus diberikan satu batang *nail* (kg)

\$D\$ = diameter penampang *nail* (mm)

\$\sigma_{ijin}\$ = tegangan tarik ijin bahan *nail* (kg/cm²)

Panjang batang (\$L_{ar}\$) minimal harus mencapai pada bidang gelincir dengan angka keamanan yang memenuhi syarat.

$$L_{ar} = L_r + L_e \dots\dots\dots(3.81)$$

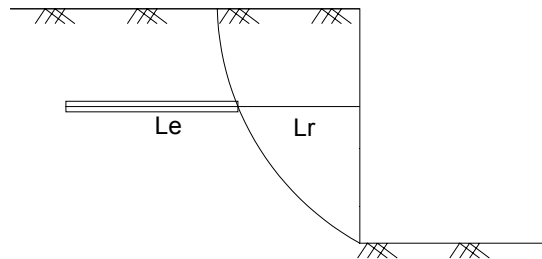
$$= (H-z) \tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) + \frac{P_{ar} \cdot FK}{x \cdot \pi \cdot D \cdot c'} \dots\dots\dots(3.82)$$

dimana :

\$L_r\$ = Panjang nail diatas bidang longsor (m)

\$L_e\$ = Panjang nail dibawah bidang longsor (m), \$L_e \ge 1m\$

- H = Tinggi tebing (m)
 z = Jarak batang dari permukaan (m)
 x = Jumlah batang/m'
 F = Gaya yang harus diberikan satu batang *nail* (kg)
 D = Diameter lubang (mm)
 C' = Kohesi tanah setelah perbaikan(kg/m²)
 Dari hasil penelitian didapat c' tiga kali nilai kohesi (c) awal



Gambar 3.19 Panjang Lr dan Le

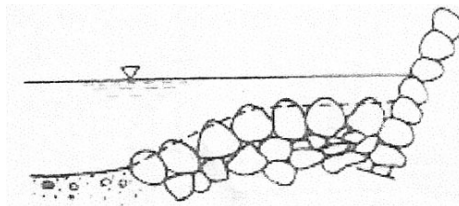
3.6.2. Perbaikan Tebing Sungai yang diakibatkan oleh Stabilitas Alur

Stabilitas alur digunakan untuk mengetahui apakah terjadi erosi di tebing maupun dasar sungai yang diakibatkan oleh aliran air. Stabilitas alur meliputi dua hal penanganan yaitu yang diakibatkan oleh kecepatan aliran dan gerusan belokan sungai. Penanganan erosi pada tebing sungai yang disebabkan oleh kecepatan aliran meliputi revetment pada tebing sungai dan *dumping stone* pada dasar sungai. Penanganan yang diakibatkan oleh alur sungai yang tererosi pada belokan sungai yaitu dengan menggunakan krib melintang.

3.6.2.1. Akibat Kecepatan Aliran

Solusi penanganan yang diakibatkan oleh erosi dasar sungai yaitu menggunakan *dumping stone*. *Dumping stone* (lapis pelindung batu /rip-rap) merupakan konstruksi yang paling sederhana diantara beberapa jenis konstruksi perkuatan dasar sungai. Apabila disekitar lokasi pekerjaan terdapat bahan batu yang beratnya melebihi berat dari batu dasar sungai, maka bahan batu tersebut dapat digunakan tanpa kekhawatiran akan hanyut. Batu yang dipergunakan biasanya batu kali yang besar - besar, batu belah dan batu gunung yang dibelah - belah dalam berbagai bentuk dan ukuran.

Pada saat pemasangan lapis lindung batu, maka batu – batu yang ukurannya besar – besar ditempatkan pada permukaan agar dapat melindungi permukaan dasar sungai terhadap gerusan. Sedangkan batu – batu dengan ukuran yang lebih kecil ditempatkan pada lapisan yang lebih bawah dan celah – celah diantaranya diisi dengan kerikil sungai. Mengenai penempatan *dumping stone* dapat dilihat pada Gambar 3.20



Gambar 3.20 Contoh *Dumping Stone*

Besar gaya geser kritis (τ_{cr}) yang digunakan adalah sebesar gaya geser yang terjadi di dasar sungai (τ_b), sehingga :

$$\tau_b = 0,97 \times \rho_w \times g \times h \times I_b$$

$$\tau_{cr.b} = \tau_b$$

dimana :

τ_{cr} = Gaya geser kritis dasar sungai (kg/m^2)

τ_b = Gaya geser sungai (kg/m^2)

ρ_w = rapat massa air (kg/m^3)

g = gaya gravitasi (m/dt^2)

h = tinggi air (m)

I_b = kemiringan alur dasar sungai

Setelah diketahui τ_{cr} , maka dengan menggunakan Grafik *Shield* (Gambar 3.4) didapatkan diameter butiran minimum.

3.6.2.2. Akibat Belokan Sungai

Penanganan yang diakibatkan oleh alur sungai yang tererosi pada belokan sungai yaitu dengan menggunakan krib bronjong. Krib bronjong adalah bangunan yang dibuat mulai dari tebing sungai ke arah tengah guna mengatur arus sungai. Tujuan utamanya adalah :

- Mengatur arah arus sungai
- Mengurangi kecepatan arus sungai sepanjang tebing sungai

- Mempercepat sedimentasi
- Menjamin keamanan tanggul atau tebing terhadap gerusan
- Mempertahankan lebar dan kedalaman air pada alur sungai
- Mengkonsentrasikan arus sungai dan memudahkan penyadapan

Berdasarkan formasinya, krib dapat diklasifikasikan dalam 2 tipe yaitu tipe melintang (*transversal type*) dan tipe memanjang (*longitudinal type*).

1. Tipe Melintang

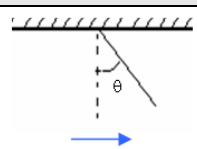
Krib yang formasinya tegak lurus atau hampir tegak lurus arah arus sungai dan dapat merintang arisan dinamakan krib melintang. Biasanya gerusan dasar sungai secara intensif terjadi di depan ujung krib melintang.

2. Tipe Memanjang

Krib memanjang adalah krib yang ditempatkan hampir sejajar dengan arah arus sungai dan biasanya dipergunakan untuk melindungi tebing alur sungai. Krib memanjang juga digunakan untuk mengatur arah arus sungai atau untuk menjaga agar alur sungai tidak mudah berpindah-pindah.

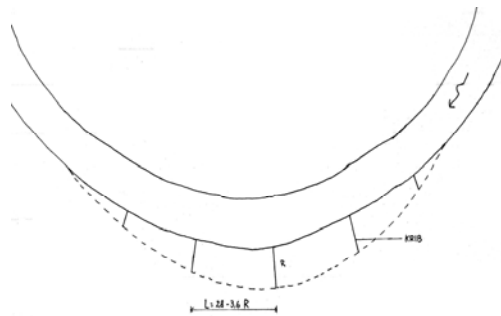
Hubungan antara arah aliran dan sudut sumbu krib dapat dilihat pada tabel 3.21.

Tabel 3.21 Arah Aliran dan Sudut Sumbu Krib

Lokasi Pembuatan Krib di Sungai	Arah Aliran dan Sudut Sumbu Krib	
Bagian lurus	$10^{\circ} - 15^{\circ}$	
Belokan luar	$5^{\circ} - 15^{\circ}$	
Belokan dalam	$0^{\circ} - 10^{\circ}$	

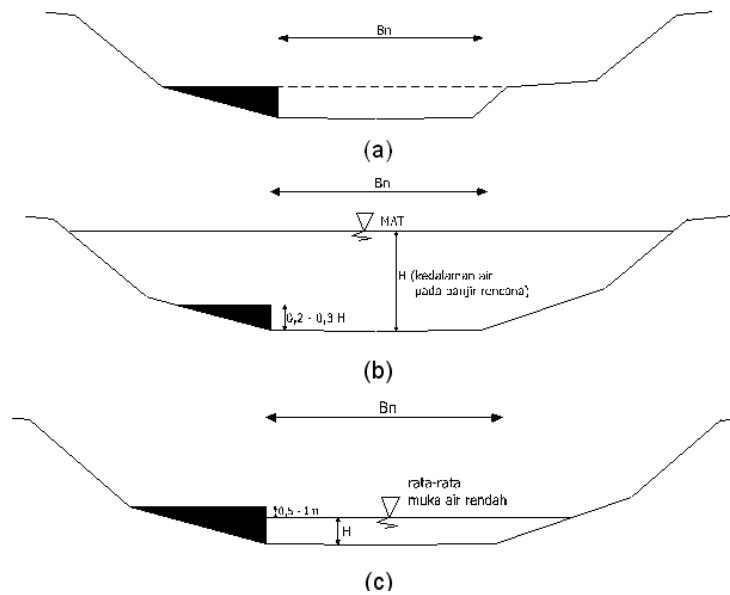
(Sumber : Suyono Sosrodarsono, 1984)

Panjang krib dan jarak antara satu krib dengan krib berikutnya ditetapkan secara grafis yaitu dengan perkiraan semata-mata dan didasarkan pada pengamatan data-data sungai yang antara lain situasi sungai dan lebar normal sungai. Perbandingan antara panjang krib dan lebar sungai umumnya lebih kecil dari 10% dan yang melebihi 25 % hanya beberapa sungai saja sedangkan jarak antar krib yaitu 2,8 - 3.6 R dimana R adalah panjang krib. (Sumber : Suyono Sosrodarsono, 1984). Penempatan krib pada belokan sungai dapat dilihat pada Gambar 3.21.



Gambar 3.21 Posisi krib dan jarak antar krib

Tinggi krib bronjong batu dapat ditentukan dengan tiga cara yaitu setinggi bantaran sungai (Gambar 3.22.a), setinggi 0,2-0,3 kedalaman air banjir (Gambar 3.22.b) dan sekitar 0,5-1,0 m diatas elevasi rata-rata permukaan air rendah (Gambar 3.22.c).



Gambar 3.22 Elevasi krib