

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Tinjauan Umum

Dalam perencanaan perbaikan sungai diperlukan studi pustaka. Studi pustaka diperlukan untuk mengetahui dasar-dasar teori yang digunakan dalam perbaikan Kali Babon. Perbaikan Kali Babon Semarang Timur diakibatkan oleh penampang melintang Kali Babon Sta90-Sta107 dan Sta265-Sta327 yang sudah tidak mampu lagi menampung debit banjir, sehingga menyebabkan terjadinya limpasan serta terjadinya pendangkalan pada muara sungai.

Pengendalian banjir secara umum merupakan kegiatan perencanaan, pelaksanaan pekerjaan, eksploitasi dan pemeliharaan yang pada dasarnya untuk mengendalikan banjir, pengaturan penggunaan daerah dataran banjir dan mengurangi atau mencegah adanya bahaya/kerugian akibat banjir.

Dalam perencanaan pengendalian banjir, studi pustaka yang digunakan antara lain analisa debit banjir, hidraulika, stabilitas alur dan stabilitas tanggul.

3.2 Analisa Debit Banjir Rencana

Didalam perencanaan perbaikan Kali Babon, data debit banjir merupakan salah satu data yang sangat diperlukan. Data debit banjir yang melimpas diatas mercu pada Bendung Pucang Gading akan menentukan besarnya debit air yang akan dialirkan pada daerah studi. Semakin besar tinggi muka air yang dialirkan maka semakin besar pula debit rencana pada daerah hilir. Dengan diketahuinya besar debit banjir pada Bendung Pucang Gading maka akan dapat digunakan untuk menghitung besarnya debit banjir rencana.

Data debit banjir dianalisis dengan analisa frekuensi, cara yang dipakai adalah dengan menggunakan metode kemungkinan (*Probability Distribution*) teoritis yang ada. Jenis distribusi yang digunakan adalah Metode Normal, Metode

Gumbel dan Metode *Log Pearson Type III*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada penjelasan berikut ini.

A. Metode Normal

Rumus umum

$$X_{Tr} = \bar{x} + k S_x \dots\dots\dots(3.1)$$

dimana :

X_{Tr} = Debit banjir rencana untuk periode ulang T tahun (m³/dt)

k = Faktor frekuensi (Tabel 3.1)

\bar{x} = Harga rata-rata debit banjir tahunan

S_x = Standar deviasi

Tabel 3.1 : Faktor Frekuensi

No	Periode ulang, T (tahun)	Peluang	K	No	Periode ulang, T (tahun)	Peluang	k
1	1,001	0,990	-3,05	11	2,500	0,400	0,25
2	1,005	0,995	-2,58	12	3,330	0,300	0,52
3	1,010	0,990	-2,33	13	4,000	0,250	0,67
4	1,050	0,950	-1,64	14	5,000	0,200	0,84
5	1,110	0,900	-1,28	15	10,000	0,100	1,28
6	1,250	0,800	-0,84	16	20,000	0,050	1,64
7	1,330	0,750	-0,67	17	50,000	0,020	2,05
8	1,430	0,700	-0,52	18	100,000	0,010	2,33
9	1,670	0,600	-0,25	19	200,000	0,005	2,58
10	2,000	0,500	0,00	20	500,000	0,002	2,88
11	2,500	0,400	0,25	21	1000,000	0,001	3,09

(Sumber : Dr. Ir. Suripin, M.Eng 2004)

B. Metode Gumbel

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

Rumus Umum

$$X_{Tr} = X_r + S * Kr \dots\dots\dots(3.2)$$

dimana :

X_{Tr} = Debit banjir rencana untuk periode ulang T tahun (m³/dt)

X_r = Harga rata-rata debit banjir tahunan (m^3/dt)

S = Standar deviasi bentuk normal

K_r = Faktor frekuensi Gumbel

Faktor frekuensi Gumbel merupakan fungsi dan masa ulang dari distribusi

$$K_r = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \dots\dots\dots(3.3)$$

dimana :

Y_t = Reduced Varied (fungsi periode ulang T tahun) (Tabel 3.2)

Y_n = Harga Rata-rata Reduced Variate (Tabel 3.3)

S_n = Reduced Standard Deviation (Tabel 3.4)

Tabel 3.2. Harga *Reduced Variate* Pada Periode Ulang Hujan T tahun

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

(Sumber : Joesran Loebis, 1987)

Tabel 3.3 :*Recuded Mean (Yn)*

m	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	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5586									

(Sumber : Joesran Loebis, 1987)

Tabel 3.4 *Recuded Standard Deviation (S_n)*

m	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 : Joesran Loebis, 1987

C. Metode Log Pearson Type III

Diantara 12 type metode Pearson, type III merupakan metode yang banyak digunakan dalam analisa hidrometri. 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 X₁, X₂, X₃, ... X_n menjadi data dalam logaritma, Yaitu : log X₁, log X₂, log X₃, ... log X_n.
2. Hitung rata-rata dari logaritma data tersebut :

$$\overline{\log X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \dots\dots\dots(3.4)$$

3. Hitung standar deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots(3.5)$$

4. Hitung koefisien skewness

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^3}{(n-1) * (n-2) * S^3} \dots\dots\dots(3.6)$$

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

$$\text{Log } X_T = \text{Log } X_r + K.S \dots\dots\dots(3.7)$$

dimana :

Log X_T = Logaritma debit banjir rencana (m^3/dt)

Log X_r = Logaritma debit banjir rata-rata (m^3/dt)

S = *Standart deviasi*

$K(Tr, Cs)$ = Faktor *frekuensi Pearson tipe III* yang tergantung pada harga Tr (periode ulang) dan Cs (*koefisien skewness*), yang dapat dibaca pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 : Faktor Frekuensi K Distribusi Log Pearson Type III

Koef. Kemencengan Cs	Interval ulang, tahun							
	1,0101	1,2500	2	5	10	25	50	100
	Persen peluang							
	99	80	50	20	10	4	2	1
3,00	-0,667	-0,636	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051
2,80	-0,714	-0,666	-0,385	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973
2,60	-0,769	-0,696	-0,368	0,499	1,238	2,367	3,081	3,889
2,40	-0,832	-0,725	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800
2,20	-0,905	-0,752	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705
2,00	-0,990	-0,777	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,606
1,80	-1,087	-0,799	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499
1,60	-1,197	-0,817	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388
1,40	-1,318	-0,732	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,760	3,271
1,20	-1,449	-0,844	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149
1,00	-1,588	-0,015	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022
0,80	-1,733	-0,856	-0,132	0,780	1,336	1,993	2,453	2,891
0,60	-1,880	-0,857	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755
0,40	-2,029	-0,855	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615
0,20	-2,175	-0,850	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472
0,00	-2,326	-0,842	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326
-0,20	-2,472	-0,830	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178
-0,40	-2,615	-0,816	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
-0,60	-2,755	-0,800	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880
-0,80	-2,891	-0,780	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733
-1,00	-3,022	-0,758	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
-1,20	-3,149	-0,732	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449
-1,40	-3,271	-0,706	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318
-1,60	-3,388	-0,675	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197

-1,80	-3,499	-0,643	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087
-2,00	-3,605	-0,609	0,307	0,777	0,896	0,956	0,980	0,990
-2,20	-3,705	-0,574	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905
-2,40	-3,800	-0,539	0,351	0,725	0,795	0,823	0,830	0,832
-2,60	-3,889	-0,499	0,368	0,696	0,747	0,764	0,768	0,769
-2,80	-3,943	-0,460	0,384	0,666	0,705	0,712	0,714	0,714
-3,00	-4,051	-0,420	0,390	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667

(Sumber : Ray K. Linsey.Jr.1983)

Dalam penentuan metode yang akan digunakan, terlebih dahulu ditentukan parameter-parameter statistik sebagai berikut :

1. *Standar deviasi (S)*

Standar deviasi merupakan ukuran sebaran yang paling banyak digunakan. Apabila penyebaran sangat besar terhadap nilai rata-rata, maka nilai S akan kecil.

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}{(n-1)} \dots\dots\dots(3.8)$$

2. *Koefisien variasi (Cv)*

Koefisien variasi adalah nilai perbandingan antara standar deviasi dengan nilai rata-rata hitung dari suatu distribusi. Koefisien variasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}} \dots\dots\dots(3.9)$$

3. *Koefisien skewness (Cs)*

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 :

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

Tabel 3.6 : Kriteria Penentuan Jenis Distribusi

Jenis Distribusi	Kriteria
Normal	Cs= 0
Gumbel	Cs= 1,14
Log pearson Tipe III	Cs= 0

(Sumber : CD Soemarto, 1999)

3.3 Analisa Hidraulika

Hidraulika 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. Analisa hidraulika dimaksudkan untuk mengetahui kapasitas alur Kali Babon pada kondisi sekarang terhadap debit banjir rencana dari studi terdahulu dan hasil pengamatan yang diperoleh. Analisa hidraulika dilakukan di sepanjang Kali Babon dari hilir Bendung Pucang Gading melewati Bendung Karang Roto sampai ke muara. Dari analisa hidraulika di sepanjang Kali Babon pada Sta90-Sta107 dan Sta265-Sta327 penampang melintang sungai sudah tidak mampu menampung debit banjir rencana sehingga terjadi limpasan. Dari Analisa dapat direncanakan dimensi saluran yang diinginkan, yaitu ketinggian muka air pada Sta90-Sta107 dan Sta265-Sta327 sesuai dengan syarat yang ditentukan. Adapun yang akan dibahas yaitu perhitungan debit banjir diatas mercu bendung, dasar teori perhitungan HEC-RAS dan pengaruh *back water* (arus balik).

3.3.1 Perhitungan Debit Banjir Diatas Mercu Bendung

Pada Kali Babon terdapat dua bendung yaitu Bendung Pucang Gading dan Bendung Karang. Ketinggian air yang melewati pelimpah bendung digunakan sebagai data dalam menghitung debit banjir. Untuk menghitung debit yang

melalui pelimpah pada Bendung Pucang Gading dan Bendung Karang Roto dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q = C*B*H^{1,5} \dots\dots\dots(3.11)$$

Dimana :

Q = debit air yang melewati bendung (m³/det)

C = koefisien debit bangunan pelimpah (1,7-2,2 m^{1/2}/det)

B = lebar bangunan pelimpah (m)

H = tinggi air diatas mercu (m)

3.3.2 Dasar Perhitungan HEC-RAS

Analisis penampang eksisting sungai dengan menggunakan program *HEC-RAS* digunakan untuk analisa penampang sungai. Komponen sistem modeling ini dimaksudkan untuk menghitung profil permukaan air untuk arus bervariasi secara berangsur-angsur tetap (*steady gradually varied flow*). Sistem mampu menangani suatu jaringan saluran penuh, suatu sistem *dendritic*, atau sungai tunggal. Komponen ini mampu untuk memperagakan *subcritical*, *supercritical*, dan campuran kedua jenis profil permukaan air.

Dasar perhitungan yang digunakan adalah persamaan energi satu dimensi. Kehilangan energi diakibatkan oleh gesekan (persamaan *manning*) dan kontraksi /ekspansi (koefisien dikalikan dengan perubahan tinggi kecepatan). Persamaan momentum digunakan dalam situasi dimana/jika permukaan air profil dengan cepat bervariasi. Situasi ini meliputi perhitungan jenis arus campuran yaitu lompatan hidrolis dan mengevaluasi profil pada pertemuan sungai (simpangan arus).

Efek berbagai penghalang seperti jembatan, parit bawah jalan raya, bendungan, dan struktur di dataran banjir tidak dipertimbangkan di dalam perhitungan ini. Sistem aliran tetap dirancang untuk aplikasi di dalam studi manajemen banjir di dataran dan kemampuan yang tersedia untuk menaksir perubahan di dalam permukaan profil air dalam kaitan dengan perubahan bentuk penampang, dan tanggul.

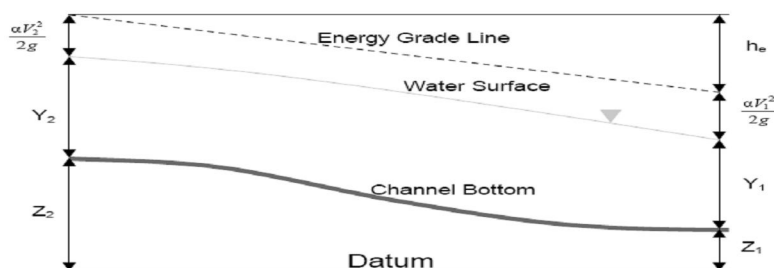
Fitur khusus yang dimiliki komponen aliran tetap meliputi: berbagai analisa rencana (*multiple plan analysis*); berbagai perhitungan profil (*multiple profile computations*). *HEC-RAS* mampu untuk melakukan perhitungan *one-dimensional* profil air permukaan untuk arus tetap bervariasi secara berangsur-angsur (*gradually varied flow*) di dalam saluran alami atau buatan. Berbagai jenis profil air permukaan seperti subkritis, superkritis, dan aliran campuran juga dapat dihitung. Topik dibahas di dalam bagian ini meliputi persamaan untuk perhitungan profil dasar, pembagian potongan melintang untuk perhitungan saluran pengantar, Angka *manning* (*n*) komposit untuk saluran utama, pertimbangan koefisien kecepatan (α), evaluasi kerugian gesekan, evaluasi kerugian kontraksi dan ekspansi, prosedur perhitungan, penentuan kedalaman kritis, aplikasi menyangkut persamaan momentum, dan pembatasan menyangkut aliran model tetap.

Profil permukaan air dihitung dari satu potongan melintang kepada yang berikutnya dengan pemecahan persamaan energi dengan suatu interaktif prosedur disebut metode langkah *standard*. Persamaan energi di tulis sebagai berikut:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \dots\dots\dots(3.12)$$

dimana:

- Y_1, Y_2 = elevasi air di penampang melintang (m)
- Z_1, Z_2 = elevasi penampang utama (m)
- V_1, V_2 = kecepatan rata-rata (total pelepasan /total area aliran) (m/dtk)
- α_1, α_2 = besar koefisien kecepatan
- g = percepatan gravitasi (m/dtk²)
- h_e = tinggi energi (m)



Gambar 3.1 : Gambaran dari persamaan energi

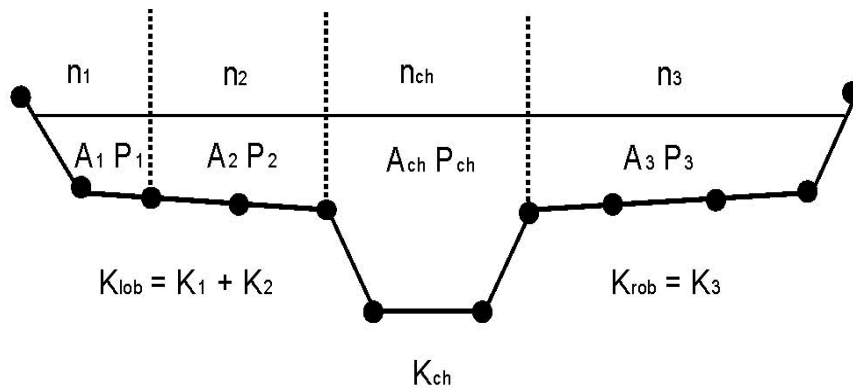
$$h_e = L \bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \dots\dots\dots (3.13)$$

$$L = \frac{L_{lob} \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \dots\dots\dots (3.14)$$

$$Q = K S_f^{1/2} \dots\dots\dots (3.15)$$

$$K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \dots\dots\dots (3.16)$$

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^{1.5})}{P} \right]^{2/3} \dots\dots\dots (3.17)$$



Gambar 3.2 : Metode HEC-RAS Tentang Kekasaran Dasar Saluran

dimana:

L = panjangnya antar dua penampang melintang

\bar{S}_f = kemiringan energi antar dua penampang melintang

C = koefisien kontraksi atau ekspansi

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} = panjang jangkauan antar dua potongan melintang yang berturut-turut untuk arus di dalam tepi kiri, saluran utama, dan tepi kanan

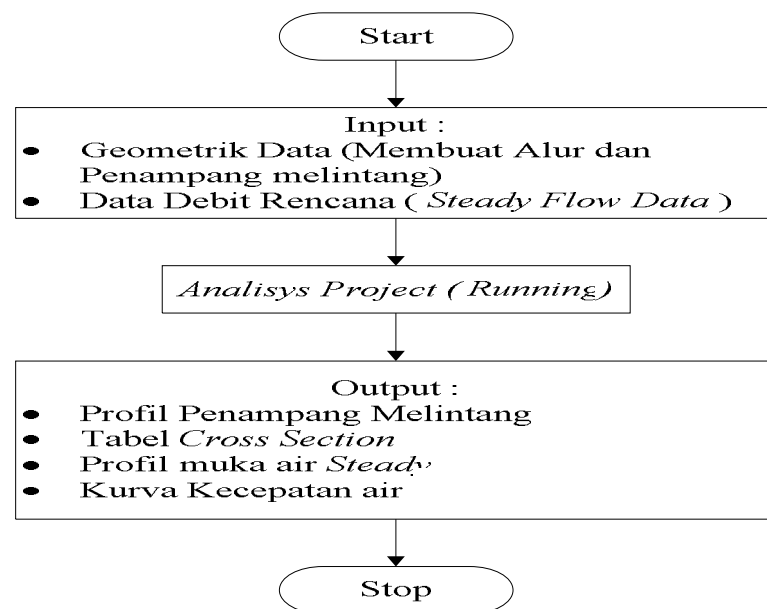
$\bar{Q}_{lob}, \bar{Q}_{ch}, \bar{Q}_{rob}$ = perhitungan rata-rata debit yang berturut-turut untuk arus antara bagian tepi kiri, saluran utama, dan tepi kanan

K = kekasaran dasar untuk tiap bagian

n = koefisien kekasaran *manning* untuk tiap bagian

- A = area arus untuk tiap bagian
R = radius hidrolis untuk tiap bagian (area: garis keliling basah)
Nc = koefisien padanan atau gabungan kekasaran
P = garis keliling basah keseluruhan saluran utama
Pi = garis keliling basah bagian i
ni = koefisien kekasaran untuk bagian

Adapun flow chart HEC-RAS dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Flow chart Program HEC RAS

3.3.3 Pengaruh *Back Water* (Arus Balik)

Dengan adanya peristiwa pasang surut ini akan mempengaruhi tingginya permukaan air pada sungai atau saluran serta sejauh mana air laut tersebut masuk ke arah hulu yang disebut dengan pengaruh *back water*. *Back Water* dihitung untuk kondisi muka air dihilir lebih tinggi dari muka air disaluran dan untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh *back water* pada Kali Babon.

Back water dapat terjadi karena adanya perbedaan tinggi tekanan aliran pada suatu titik (saluran) yang ditinjau.

Dalam perhitungan panjang *back water* dapat digunakan dengan dua cara, yaitu :

1. *Direct Step Method* (Metode Tahapan Langsung)

Energi spesifik

$$E = h + \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(3.18)$$

$$\frac{V^2}{2g} + h_2 + S_o \cdot \Delta x = \frac{V_1^2}{2g} + h_1 + S_f \cdot \Delta x \dots\dots\dots(3.19)$$

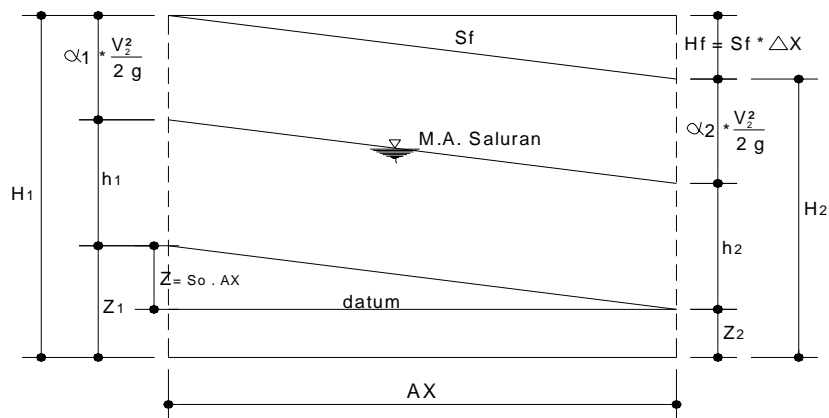
$$E_2 + S_o \cdot \Delta x = E_1 + S_f \cdot \Delta x \dots\dots\dots(3.20)$$

$$\Delta x = \frac{E_2 - E_1}{S_f - S_o} \dots\dots\dots(3.21)$$

$$S_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2} \dots\dots\dots(3.22)$$

2. Metode Tahapan Standar

Energi total



Gambar 3.4 : Profil Muka Air di Saluran

$$H = Z + h + \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(3.23)$$

$$Z_1 + h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H \dots\dots\dots(3.24)$$

$$H_1 = H_2 + \Delta H \dots\dots\dots(3.25)$$

$$\Delta H = S_f \cdot \Delta x \dots\dots\dots(3.26)$$

$$Z = S_o \cdot X \dots\dots\dots(3.27)$$

3.4 Stabilitas Alur

Dalam saluran air terdapat air mengalir, maka pada dasar saluran akan timbul suatu gaya bekerja searah dengan arah aliran. Gaya ini yang merupakan

gaya tarik pada penampang basah disebut *tractive force* (gaya seret). 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_0) pada penampang sungai yang besarnya adalah:

$$\tau_0 = \rho_w \times g \times h \times I \dots\dots\dots(3.28)$$

dimana :

ρ_w = rapat massa air (kg/m^3)

g = gaya gravitasi (m/dt^2)

h = tinggi air (m)

I = 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 3.5.

Erosi dasar sungai terjadi jika τ_0 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 3.6) dengan menggunakan data ukuran butiran tanah dasar sungai. Stabilitas alur meliputi gaya seret pada dasar sungai dan gaya seret pada tebing sungai. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada penjelasan dibawah ini.

3.4.1 Gaya Seret Pada Dasar Sungai

Besarnya gaya seret yang terjadi pada dasar sungai adalah:

$$\tau_b = 0,97 \times \rho_w \times g \times h \times I_b \dots\dots\dots(3.29)$$

dimana:

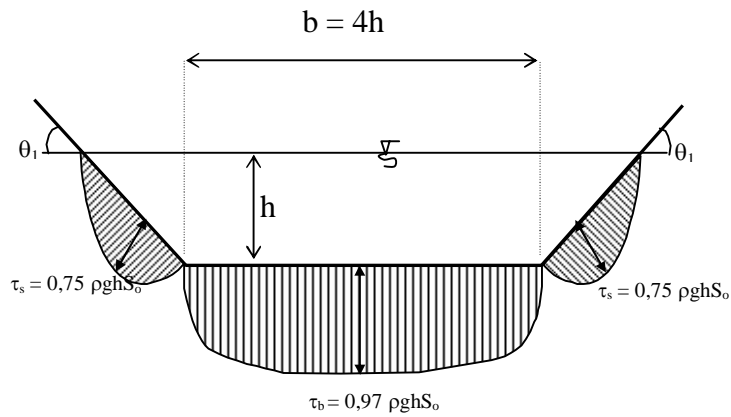
τ_b = gaya seret pada dasar sungai (kg/m^2)

ρ_w = rapat massa air (kg/m^3)

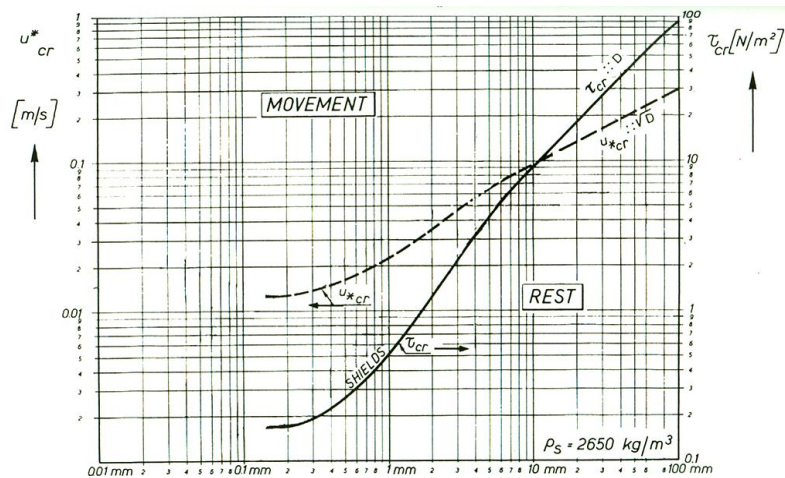
g = gaya gravitasi (m/dt^2)

h = tinggi air (m)

I_b = kemiringan alur dasar sungai



Gambar 3.5 : Gaya Seret Satuan Maksimum



Gambar 3.6 : Grafik Shield
(Sumber: Ven Te Chow, 1985)

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

$$0,97 \times \rho_w \times g \times h \times I_b = \tau_{cr,b} \dots\dots\dots(3.30)$$

$$I_b = \frac{\tau_{cr,b}}{0,97 \times \rho_w \times g \times h} \dots\dots\dots(3.31)$$

$$V_{cr,b} = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I_b^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(3.32)$$

dimana:

$\tau_{cr,b}$ = gaya seret kritis pada dasar sungai (kg/m^2)

ρ_w = rapat massa air (kg/m^3)

- 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*

3.4.2 Gaya Seret Pada Tebing Sungai

Besarnya gaya seret yang terjadi pada tebing sungai adalah:

$$\tau_s = 0,75 \times \rho_w \times g \times h \times I_s \dots\dots\dots (3.33)$$

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 ($\tau_{cr.s}$). Tegangan geser kritis pada lereng sungai tergantung pada besarnya sudut lereng.

$$\tau_{cr,s} = K_\beta \cdot \tau_{cr} \dots\dots\dots (3.34)$$

$$K_\beta = \cos \beta \sqrt{1 - \left(\frac{tg \beta}{tg \phi} \right)^2} \dots\dots\dots (3.35)$$

dimana:

- τ_{cr} = tegangan geser kritis
- β = sudut lereng sungai (°)
- ϕ = 30-40 (tergantung diameter butiran dari grafik pada Gambar 3.9)

Kecepatan aliran kritis di dasar sungai terjadi pada saat $\tau_s = \tau_{cr.s}$ maka:

$$0,75 \times \rho_w \times g \times h \times I_s = \tau_{cr,s} \dots\dots\dots (3.36)$$

$$I_s = \frac{\tau_{cr,s}}{0,75 \times \rho_w \times g \times h} \dots\dots\dots(3.37)$$

$$V_{cr,s} = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I_s^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(3.38)$$

dimana:

$\tau_{cr,s}$ = gaya seret kritis tebing sungai (kg/m²)

ρ_w = rapat massa air (kg/m³)

g = gaya gravitasi (m/dt²)

h = tinggi air (m)

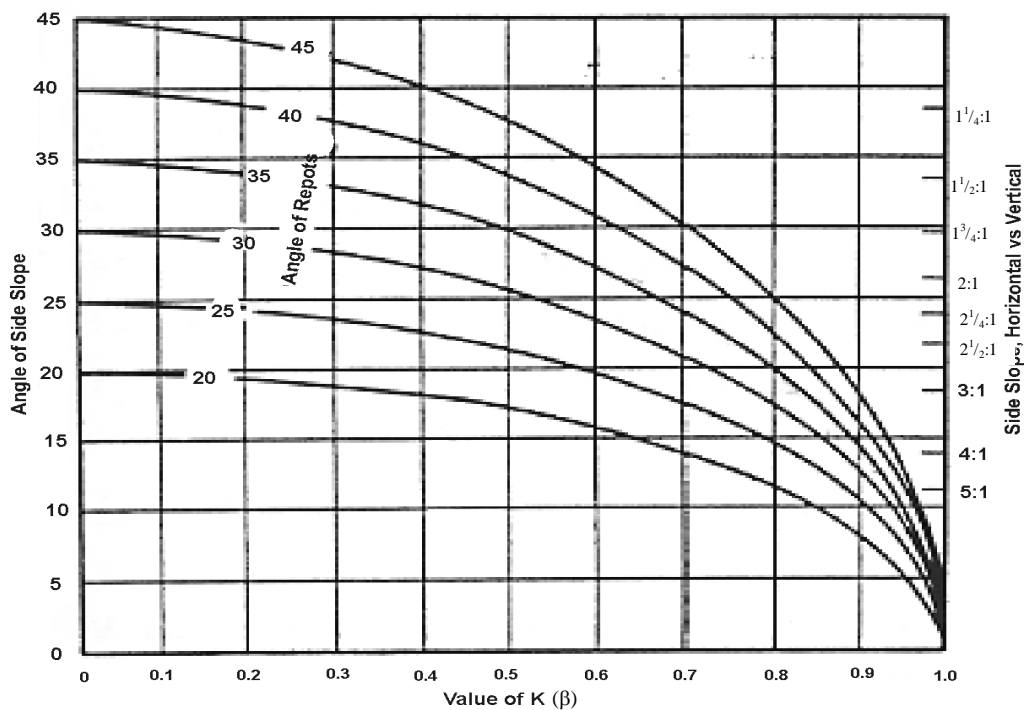
I_s = kemiringan alur dasar sungai

$V_{cr,s}$ = kecepatan kritis (m/dt)

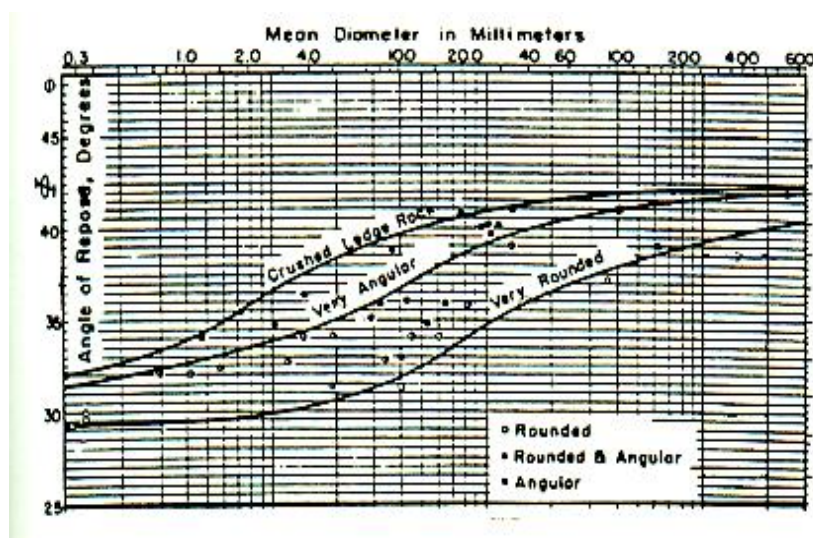
R = jari-jari hidrolis (m)

n = angka kekasaran *manning*

Grafik Hubungan Antara Diameter Butiran dan Φ dapat dilihat pada Gambar 3.7 dan 3.8.



Gambar 3.7 : Grafik hubungan antara diameter butiran dan Φ



Gambar 3.8 : Grafik Hubungan Antara Diameter Butiran Dan ϕ

3.5 Stabilitas Lereng

Dasar teori analisa geoteknik digunakan dalam menghitung besarnya faktor keamanan tebing terhadap gaya geser tanah. Metode yang digunakan dalam perhitungan ini adalah metode irisan Fellenius. Faktor keamanan dihitung terhadap beberapa bidang longsor yang berbentuk busur lingkaran. Perhitungan stabilitas tebing ini menggunakan *GeoStudio 2004*.

Pada perhitungan stabilitas lereng disini lebih ditekankan apakah terjadi longsor baik di lereng bawah maupun di tanggulnya itu sendiri. Pengecekannya disini dengan menggunakan program *GeoStudio 2004 Slope/W Analysis* dengan ketentuan faktor keamanan kritis $F_k \text{ min} > 1$. Untuk menghasilkan model penampang tanah sebagai *input* pada program *GeoStudio 2004 Slope/W Analysis*, 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.

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 menentukan lokasi titik pusat busur longsor kritis yang melalui tumit suatu tebing pada tanah kohesif seperti pada Tabel 3.7.

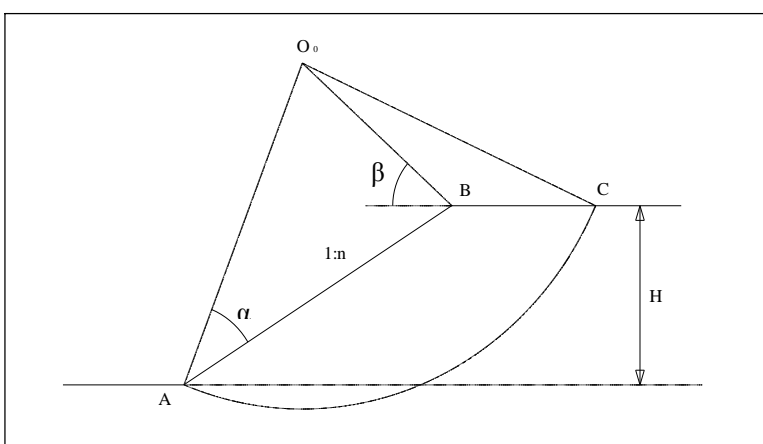
Untuk menentukan letak titik pusat busur lingkaran sebagai bidang longsor dilakukan dengan cara coba-coba dimulai dengan bantuan sudut-sudut petunjuk dari Fellenius untuk tanah kohesif ($\phi = 0$).

Tabel 3.7 : Sudut-Sudut Petunjuk Menurut Fellenius

Kemiringan Tebing 1 : n	Sudut Sudut Petunjuk	
	α	β
1 : 1	28°	37°
1 : 1,5	26°	35°
1 : 2	25°	35°
1 : 3	25°	35°
1 : 5	25°	35°

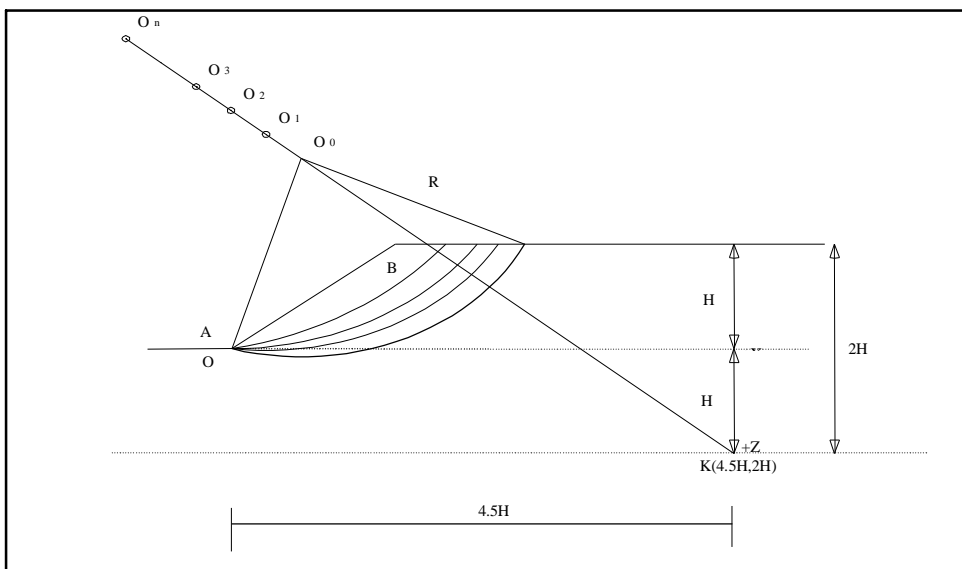
(Sumber: K.R. Arora, 2002)

Grafik Fellenius menunjukkan bahwa dengan meningkatnya nilai sudut geser (ϕ) maka titik pusat busur lingkaran akan bergerak naik dari O^0 yang merupakan titik pusat bidang longsor tanah kohesif ($\phi=0$) sepanjang garis O_0-K yaitu $O_1, O_2, O_3, \dots, O_n$. Titik K merupakan koordinat pendekatan dimana $x = 4.5 H$ dan $z = 2H$. Disepanjang garis O_0-K inilah diperkirakan terletak titik-titik pusat busur bidang longsor. Dari masing-masing titik dianalisa angka keamanannya untuk memperoleh nilai F_k yang minimum sebagai indikasi bidang longsor kritis. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.9. dan Gambar 3.10.



Gambar 3.9 : Lokasi Pusat Busur Longsor Kritis Pada Tanah Kohesif

(Sumber: K.R. Arora, 2002)



Gambar 3.10 : Posisi Titik Pusat Longsor Sepanjang Garis $O_0 - K$
(Sumber: K.R. Arora, 2002)

Perhitungan stabilitas tebing dengan metode fellenius dapat dipakai pada lereng-lereng dengan 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 di dasar elemen dapat dianggap sebagai garis lurus. Dasar busur setiap elemen harus berada hanya pada satu jenis tanah.

Berat total tanah pada suatu elemen (W_t) termasuk beban luar yang bekerja pada permukaan lereng (lihat Gambar 3.13). 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:

$$M_{\text{penahan}} = R \times r \dots \dots \dots (3.39)$$

Tahanan geser pada dasar tiap elemen adalah:

$$R = S \times l = l \times (c' + \sigma \tan \phi') \dots \dots \dots (3.40)$$

$$\sigma = \frac{W_t \cos \alpha}{l} \dots \dots \dots (3.41)$$

$$R = c'l + W_t \cos \alpha \tan \phi' \dots \dots \dots (3.42)$$

Sehingga besarnya momen penahan yang ada sebesar:

$$M_{\text{penahan}} = r (c'l + W_t \cos \alpha \tan \phi') \dots\dots\dots(3.43)$$

dimana:

R = Gaya geser tanah (t)

r = Jari-jari bidang longsor (m)

S = Kuat geser tanah (t/m)

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

α = Kemiringan dasar

c' = Kohesi efektif (t/m²)

ϕ' = Sudut geser dalam efektif

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

Wt = Berat total elemen (t)

b = Lebar elemen (m)

Komponen tangensial Wt bekerja sebagai penyebab longsor menimbulkan momen penyebab longsor:

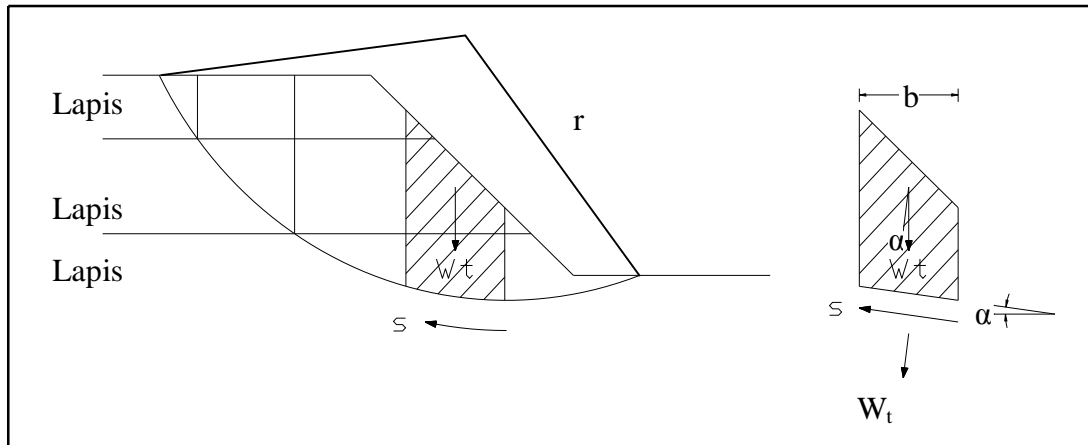
$$M_{\text{penyebab}} = (W_t \sin \alpha).r \dots\dots\dots(3.44)$$

Faktor keamanan dari tebing menjadi:

$$FK = \frac{\sum (c'l + W_i \cos \alpha \tan \phi')}{\sum W_i \sin \alpha} \dots\dots\dots(3.45)$$

Jika tebing terendam air atau muka air tanah diatas kaki tebing, maka tekanan air pori akan bekerja 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:

$$FK = \frac{\sum [c'l + (W_i \cos \alpha - \mu l) \tan \phi']}{\sum W_i \sin \alpha} \dots\dots\dots(3.46)$$



Gambar 3.11 : *Sistem Gaya Pada Metode Fellenius*
(Sumber: PRPL-DPU, 1987)

Dimana :

W_t = Berat Segmen

S = Gaya tangensial yang bekerja pada bidang longsor

L = Lebar Bidang Longsor per Segmen