

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Bendung adalah suatu bangunan yang dibuat dari pasangan batu kali, bronjong atau beton, yang terletak melintang pada sebuah sungai yang tentu saja bangunan ini dapat digunakan pula untuk kepentingan lain selain irigasi, seperti untuk keperluan air minum, pembangkit listrik atau untuk pengendalian banjir. Menurut macamnya bendung dibagi dua, yaitu bendung tetap dan bendung sementara, bendung tetap adalah bangunan yang sebagian besar konstruksi terdiri dari pintu yang dapat digerakkan untuk mengatur ketinggian muka air sungai sedangkan bendung tidak tetap adalah bangunan dipergunakan untuk menaikkan muka air di sungai, sampai pada ketinggian yang diperlukan agar air dapat dialirkan ke saluran irigasi dan petak tersier. (Vicky Richard Mangore: Juni 2013)

Di daerah desa sei bamban kecamatan tebing tinggi kabupaten serdang bedagai terdapat daerah irigasi yang sangat berpengaruh terhadap perekonomian daerah, karena sebagian besar penduduk daerah desa sei bamban adalah petani, maka dari itu perlu dibangun bendung untuk daerah irigasi di desa tersebut. Daerah Irigasi Belutu seluas 5082 ha berada pada wilayah Kecamatan Sei Bamban Kabupaten Serdang Bedagai atau tepatnya pada posisi 3° 27' 24" LU dan 98° 58' 48" BT. *Data Kementrian PSDA Wilayah Sungai II, Sumut*).

Pada tahun 1962 dibangun free intake di D.I. Sei Belutu, sumber air berasal dari Sungai Belutu.

Ada beberapa daerah irigasi yang mengambil air dari Sungai Belutu yaitu DI Belutu, DI P Ganjang, DI Malasari dan DI Martebing. Dengan kondisi ini ketersediaan air Sungai Belutu tidak dapat melayani seluruh daerah irigasi tersebut. (Data Kementrian PSDA Wilayah Sungai II, Sumut).

Pada Tahun Anggaran 2012 telah dilaksanakan pembangunan saluran suplesi ke DI Martebing melalui free intake dari Sungai Sibarau (Melalui APBD). Saat ini, DI Martebing tidak mengambil air dari Sungai Belutu lagi.

2.2 Bendung Pelimpah

2.2.1 Lebar Bendung

Lebar bendung, yaitu jarak antara pangkal-pangkalnya (*abutment*), sebaiknya sama dengan lebar rata-rata sungai pada bagian yang stabil. Di bagian ruas bawah sungai, lebar rata-rata ini dapat diambil pada debit penuh (*bankfull discharge*); di bagian ruas atas mungkin sulit untuk menentukan debit penuh. Dalam hal ini banjir mean tahunan dapat diambil untuk menentukan lebar rata-rata bendung. Lebar maksimum bendung hendaknya tidak lebih dari 1,2 kali lebar rata-rata sungai pada ruas yang stabil, (*Kriteria Perencanaan Bangunan Utama, KP02*).

Untuk sungai-sungai yang mengangkut bahan-bahan sedimen kasar yang berat, lebar bendung tersebut harus lebih disesuaikan lagi terhadap lebar rata-rata sungai, yaitu jangan diambil 1,2 kali lebar sungai tersebut.

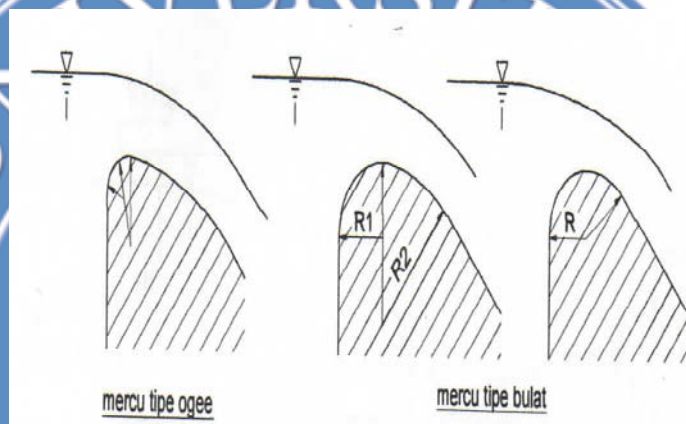
Agar pembuatan bangunan peredam energi tidak terlalu mahal, maka aliran per satuan lebar hendaknya dibatasi sampai sekitar $12-14 \text{ m}^3/\text{dt.m}^1$, yang memberikan tinggi energi maksimum sebesar 3,5 – 4,5 m (lihat Gambar 2.1), (*Kriteria Perencanaan Bangunan Utama, KP02*). Lebar efektif mercu (B_e) dihubungkan

dengan lebar mercu yang sebenarnya (B), yakni jarak antara pangkal-pangkal bendung dan/atau tiang pancang, dengan persamaan berikut:

$$B_e = B - 2(nK_p + K_a) H_1 \text{ di}$$

2.2.2 Perencanaan Mercu

Di Indonesia pada umumnya digunakan dua tipe mercu untuk bendung pelmpah : tipe Ogee dan tipe bulat (Lihat Gambar 2.2)



Gambar 2.1 Bentuk-bentuk mercu

Sumber: *Kriteria Perencanaan Bangunan Utama, KP02*

Kedua bentuk mercu tersebut dapat dipakai baik untuk konstruksi beton maupun pasangan batu atau bentuk kombinasi dari keduanya. Keiniringan maksimum muka bendung bagian hilir yang dibicarakan disini berkeiniringan 1 banding 1 batas bendung dengan muka hilir vertikal mungkin menguntungkan jika bahan pondasinya dibuat dari batu keras dan tidak diperlukan kolam olka. Dalam hal ini kavitasi dan aerasi tirai luapan harus diperhitungkan dengan baik, (*Kriteria Perencanaan Bangunan Utama, KP02*).

2.3 Analisa Curah Hujan

2.3.1 Data Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan untuk analisa hidrologi adalah yang berpengaruh terhadap daerah irigasi atau daerah pengaliran Sungai Cimandiri adalah stasiun Batu Karut, Stasiun Cimandiri, dan Stasiun Cibodas. Data curah hujan yang diperoleh berupa data curah hujan harian, dari data curah hujan harian tersebut akan diperoleh data curah hujan harian maksimum, data hujan setengah bulanan, data hujan bulanan rata-rata, data hari hujan setengah bulanan, dan data curah hujan rata-rata.

Data curah hujan untuk masing-masing stasiun diperoleh selama 10 tahun dengan periode pengamatan dari tahun 1998 – 2007. Data curah hujan harian dari masing-masing stasiun dapat dilihat pada Lampiran 1. Data curah hujan rata-rata dari ketiga stasiun dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1
Data Curah Hujan Maksimum Sungai
Cimandiri

No.	Tahun	Stasiun			Rata-Rata
		Cimandiri	Batu Karut	Cibodas	
1	1998	121.00	83.00	121.00	108.33
2	1999	121.00	101.00	299.00	173.67
3	2000	101.00	83.00	120.00	101.33
4	2001	142.10	94.00	144.00	126.70
5	2002	73.00	104.00	91.00	89.33
6	2003	178.50	95.00	98.70	124.07
7	2004	83.00	95.00	70.00	82.67
8	2005	81.00	54.00	98.00	77.67
9	2006	72.00	54.00	82.00	69.33
10	2007	69.00	80.00	90.00	79.67
Rata-Rata		104.16	84.30	121.37	103.28

2.3.2 Data Iklim

Parameter lain yang diperlukan untuk analisa hidrologi adalah parameter-parameter yang berasal dari data-data klimatologi, hal ini erat kaitannya dengan penguapan yang terjadi, baik evaporasi maupun transpirasi. Data iklim tersebut diambil dari Stasiun Goalpara dengan periode pengamatan dari tahun 2004 – 2007.

2.3.3 Kondisi Daerah Aliran Sungai

Kondisi daerah aliran sungai merupakan parameter penting untuk analisa hidrologi.

Kondisi yang penting untuk dicatat adalah :

Luas DAS Sungai Cimandiri untuk Bendung Kubang (Leuwi Kadu)
= 206.43km²

2.3.4 Metode Haspers

1. Curah Hujan Maksimum dengan Return Periode T

$$RT = Ra + (Sn \times \mu T)$$

Dimana :

Rt = Curah hujan maksimum dengan return periode T

Ra = Rata-rata curah hujan maksimum

Sn = Standar deviasi untuk perhitungan n tahun

μT = Standar variabel untuk return periode T (lihat tabel 2.1)

2. Standar Deviasi

$$Sn = \frac{1}{2} \left(\frac{R1 - Ra}{\mu1} + \frac{R2 - Ra}{\mu2} \right)$$

Dimana : S_n = Standar deviasi untuk perhitungan n tahun

R_1 = Hujan maksimum ke-1

R_2 = Hujan maksimum ke2

R_a = Rata-rata curah hujan maksimum

μ_1 dan μ_2 = Standar variabel untuk return periode T

2.3.5 Metode E.J Gumbel

$$X_T = \bar{X} + S_x K \quad \text{Dimana } K = \frac{Y_T - Y_n}{S_n} \text{ (koefisien frekuensi)}$$

Maka :

$$R_T = \bar{R} + S_x \frac{Y_T - Y_n}{S_n}$$

X_T = besaran dengan periode ulang T

\bar{X} = Besaran rata-rata

S_x = standard deviasi sampel

S_n = reduced standard deviasi yang tergantung dari besarnya sampel

Y_n = reduced mean yang tergantung dari besarnya sampel

Y_T = reduced variat yang tergantung dari periode ulang T

2.3.6 Metode Der Weduwen

Metode ini berasal dari kecenderungan curah hujan harian yang dikelompokkan atas dasar anggapan bahwa curah hujan memiliki distribusi yang simetris dengan durasi curah hujan lebih kecil dari 1 jam dan durasi curah hujan lebih kecil dari 1 sampai 24 jam (*Melinda, 2007*)

Perhitungan intensitas curah hujan dengan menggunakan der Weduwen adalah sebagai berikut :

$$R_t = X_t \left(\frac{1218t + 54}{X_t(1 - t) + 1272t} \right)$$

dimana :

t : Durasi curah hujan dalam satuan jam

X_t : Curah hujan maksimum yang terpilih

$$I = \frac{R}{t}$$

Untuk $1 \leq t < 24$ jam :

$$R = \sqrt{\frac{11300t}{t + 3,12} \left[\frac{X_t}{100} \right]}$$

dimana :

I : Intensitas curah hujan (mm/jam)

R, R_t : Curah hujan menurut Haspers dan Der Weduwen

t : Durasi curah hujan (jam)

X_t : Curah hujan harian maksimum yang terpilih (mm/hari)

Dengan nilai contoh yang sama, akan tetapi dengan ditambah dengan durasi 60 menit :

- **Durasi 5 menit**

$$R_i = X_t \left(\frac{1218t + 54}{X_t(1-t) + 1272t} \right) = 56 \left(\frac{(1218 \times 5/60) + 54}{56(1 - 5/60) + (1272 \times 5/60)} \right) = 55,35$$

Untuk $0 \leq t < 1$ jam :

$$R = \sqrt{\frac{11300}{t + 3,12} \left[\frac{R_i}{100} \right]} = \sqrt{\frac{11300}{(5/60 + 3,12)} \left[\frac{55,35}{100} \right]} = 32,87$$

$$I = \frac{R}{t} = \frac{32,87}{\frac{5}{60}} = 394,46 \text{ mm/jam}$$

- **Durasi 60 menit**

$$R_i = X_t \left(\frac{1218t + 54}{X_t(1-t) + 1272t} \right) = 56 \left(\frac{(1218 \times 60/60) + 54}{56(1 - 60/60) + (1272 \times 60/60)} \right) = 56$$

Untuk $1 \leq t < 24$ jam :

$$R = \sqrt{\frac{11300t}{t + 3,12} \left[\frac{X_i}{100} \right]} = \sqrt{\frac{11300 \times 60/60}{(60/60 + 3,12)} \left[\frac{56}{100} \right]} = 29,33$$

$$I = \frac{R}{t} = \frac{29,33}{\frac{60}{60}} = 29,33 \text{ mm/jam}$$



2.4 Perhitungan debit banjir-rencana

Apabila tersedia data curah hujan dengan periode dalam jam maka metode perhitungan unit hidrograf dapat diterapkan. Dan apabila tersedia suatu kurva korelasi yang teliti antara curah hujan harian dan debit banjir besar yang pernah terjadi, maka debit banjir-rencana akan dapat diperoleh dengan mudah. Selain tersebut di atas debit banjir-rencana dapat dihitung dengan salah satu rumus rasional seperti yang tertera di bawah ini:

$$Q = \frac{f.r.A}{3,6} \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana:

Q: debit banjir (m^3/dt)

A: daerah pengaliran. (km^2)

r: intensitas curah hujan rata-rata dalam jangka waktu (T) sejak permulaan jatuhnya hujan sampai dengan waktu mulai timbulnya banjir (flood arrival time) (mm/jam).

Untuk mendapatkan harga Q, maka terlebih dahulu supaya didapatkan harga-harga komponen yang terdapat dalam rumus tersebut, yaitu:

f: koefisien pengaliran.

T: interval kedatangan banjir (flood arrival time).

r: intensitas curah hujan rata-rata dalam interval T (mm/jam).

2.4.1 Perkiraan Debit Banjir

Semua cara perkiraan untuk debit banjir yang berdasarkan curah hujan lebat, dapat di klasifikasikan dalam 3 cara seperti berikut :

1. Cara dengan rumus empiris
2. Cara statistic atau kemungkinan
3. Cara dengan hidrograf

Cara dengan rumus empiris biasanya digunakan sebagai alat terakhir, yakni jika tidak terdapat data yang cukup atau digunakan untuk memeriksa hasil yang dapat dengan cara lain. (Suyono Sosrodarsono, *Hidrologi untuk Pengairan*, hal. 142)

Cara yang kedua telah digunakan sebelum cara hidrograf satuan diterapkan. Cara ini sangat teoritis dan mempunyai suatu keuntungan yang besar sebagai cara peramalan yang berdasarkan data-data yang lalu. Cara hidrograf

satuan telah pernah diakui oleh seluruh dunia sebagai cara yang paling dipercaya dan berguna dalam teknik peramalan debit banjir. Cara ini dapat diterapkan pada daerah-daerah pengaliran yang kurang dan 25 km² sampai daerah pengaliran sebesar 5.000 km². Untuk daerah pengaliran yang lebih besar dan 5.000 km² cara ini dapat juga digunakan jika telah dibuatkan hidrograf satuan yang bersangkutan dengan corak curah hujan dalam daerah pengaliran itu. Cara ini juga telah pernah dicoba diterapkan pada anak-anak sungai utama dalam daerah pengaliran yang lebih besar dan 20.000 km². (Suyono Sosrodarsono, *Hidrologi untuk Pengaliran*, hal. 142)

2.4.2 Rumus rasionil

Rumus ini adalah rumus yang tertua dan yang terkenal di antara rumus-rumus empiris. Rumus ini banyak digunakan untuk sungai-sungai biasa dengan daerah pengaliran yang luas, dan juga untuk perencanaan drainasi daerah pengaliran yang relatif sempit. Bentuk umum rumus rasionil ini adalah sebagai berikut: (Suyono Sosrodarsono, *Hidrologi untuk Pengaliran*, hal. 144)

$$Q = \frac{1}{3,6} f \cdot r \cdot A = 0,277 \dots \dots \dots (2.2)$$

Q: debit banjir maksimum (m³/detik) f: koefisien pengaliran/limpasan.

r: intensitas curah hujan rata-rata selama waktu tiba dan banjir (mm/jam).

A: daerah pengaliran (km²).

Anti rumus ini dapat segera diketahui yakni, jika terjadi curah hujan selama 1 jam dengan intensitas 1 mm/jam dalam daerah seluas 1 km², maka debit banjir adalah sebesar 0,2778 m³/detik dan melimpas merata selama 1 jam. Jadi rumus ini tidak dikelompokkan dalam kategori yang sama dengan rumus-rumus

empinis tersebut di atas, karena proses penyusunannya yang sangat berbeda. .
(Suyono Sosrodarsono, *Hidrologi untuk Pengairan*, hal. 144)

(1) Koeffisien pengaliran/Koeffisien limpasan

Koeffisien pengaliran ini mempunyai 2 buah definisi.

Rumus Perkiraan debit banjir

$$F_1 = \frac{\text{(Besarnya puncak limpasan)}}{\text{(Intensitas curah hujan rata-rata selama waktu tiba dan banjir) x (Daerah pengaliran)}} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$F_2 = \frac{\text{Jumlah Limpasan}}{\text{Jumlah Curah Hujan}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Rumus (2.3) disebut koeffisien pengaliran puncak untuk membedakannya dan rumus (2.4). Bagi sungai-sungai biasa, digunakan rumus (2.4) Tabel (2.5) dan Dr. Mononobe, mencantumkan koeffisien pengaliran sungai-sungai di Jepang. Harga f berbeda-beda yang disebabkan oleh topografi daerah pengaliran, perbedaan penggunaan tanah dan lain-lain. Jika pembangunan dikemudian han di daerah pengaliran itu harus turut dipertimbangkan, maka pada perhitungan banjir lebih baik digunakan koeffisien yang lebih besar dari 0,10 an koeffisien yang kurang dan 0,50 hanus ditiadakan. (Suyono Sosrodarsono, *Hidrologi untuk Pengairan*, hal. 145)

Tabel 2.2 koefisien limpasan /pengaliran.

Kondisi daerah pengaliran dan sungai	Harga dari f
Daerah pegunungan yang curam	0,75—0,90
Daerah pegunungan tersier	0,70—0,80
Tanah bergelombang dan hutan	0,50—0,75
Tanah dataran yang ditanami	0,45—0,60
Persawahan yang diairi	0,70—0,80
Sungai di daerah pegunungan	0,75—0,85
Sungai kecil di dataran	0,45—0,75
Sungai besar yang lebih dari setengah daerah pengalirannya terdiri dari dataran.	0,50—0,75

Sumber : Suyono Sosrodarno, *Hidrologi untuk pengairan*, hal 145

Koefisien pengaliran dalam Tabel 2.5 telah didasarkan pada pertimbangan bahwa koefisien itu terutama tergantung dan faktor-faktor fisik. Dr. Kawakaini menyusun sebuah rumus yang mengemukakan bahwa untuk sungai tertentu, koefisien itu tidak tetap, tetapi berbeda-beda yang tergantung dan curah hujan. (Suyono Sosrodarsono, *Hidrologi untuk Pengairan*, hal. 145)

$$f = 1 - \frac{R'}{R_t} = 1 - \dots\dots\dots(2.5)$$

f : koefisien pengaliran.

f' : laju kehilangan

R_t : jumlah curah hujan (mm)

R' : kehilangan curah hujan (mm).

y, s : tetapan.

$$F = 1 - f = 1 - \frac{Y}{R_t^s} \dots\dots\dots(2.6)$$

Untuk mendapatkan harga dan komponen tersebut dengan cara-cara sebagai

berikut:

Interval kedatangan banjir T

Harga T dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$T = \frac{I}{W} \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana:

I: panjang bagian sungai dan mata airnya sampai pada tempat kedudukan rencana bendungan (km).

W: kecepatan perambatan banjir (m/dt atau km/jam).

Untuk mendapatkan harga W dipergunakan rumus sebagai berikut:

$$W = 20 \frac{H}{L}$$

atau

$$W = 72 \left(\frac{H}{L}\right)^{0,6} \text{ km/jam} \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana:

B: perbedaan elevasi antara maia air sungai dengan titik tempat kedudukan rencana bendungan.

Guna meyakinkan ketelitian hara T dengan hasil perhitungan yang mendekati keadaan yang sesungguhnya, maka dilakukan pengujian-pengujian, yang antara lain dengan memperbandingkan hasil-hasil dan perhitungan dengan rumus-rumus lainnya.

2.5 Stabilitas Bendung

2.5.1 Gaya-gaya yang bekerja pada bendung

Suatu bendung secara relatif haruslah kedap air dan mampu menahan semua gaya-gaya yang bekerja kepadanya. Yang paling penting diantara gaya-gaya tersebut adalah gaya berat, tekanan hidrostatis, gaya angkat, tekanan gaya aktif dan gaya gempa serta gaya lain yang berpengaruh secara mayoritas dan sangat besar terhadap bendung tersebut seperti gaya yang timbul yang menghasilkan reaksi pondasi (*Ahmad Perwira Mulia, USU*).

2.5.2 Berat sendiri bangunan

berat sendiri bangunan diperhitungkan dari dimensi bangunan dan jenis bahan yang dipergunakan. Momen yang terjadi merupakan semua berat gaya dikalikan dengan jarak titik tinjau, yakni pada titik yang dianggap terlemah (*Ahmad Perwira Mulia, USU*).

2.5.3 Tekanan Lumpur

Gaya tekanan akibat lumpur diperhitungkan dengan anggapan lumpur tertahan setinggi mercu dan adanya peninjauan tentang kandungan lumpur tersebut. Formula yang digunakan adalah (*Tumpal Alexander Pakpahan, USU*)

$$P_s = \frac{1}{2} K_a \times N_i \times d^2$$

Dimana K_a (koefisien tekanan lateral) = $\left[\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right]$, P_s = tekanan horizontal

(kg/m), ϕ = sudut geser,

N_i = berat bahan deposit yang terbenam (ton/m^3), dan d = kedalaman lumpur (m)

2.5.4 Gaya Hidrostatik

Garis kerja gaya ini bekerja melalui titik berat penampangnya. Gaya-gaya yang bekerja baik dari permukaan bendung bagian hulu maupun bagian hilir. Komponen mendatar W_h serta komponen vertikal W_v dari gaya hidrostatis merupakan gaya yang bekerja pada proyeksi tegak dari permukaan bendungan, yang besarnya untuk setiap satuan lebar adalah (*Tumpal Alexander Pakpahan,USU*)

$$W_h = \frac{\gamma h^2}{2}$$

di mana $W_{h,v}$ = besar gaya hidrostatis (kg), (horizontal, vertikal), γ = berat jenis air (kg/m^3), dan h = kedalaman air (m). Kedalaman air (h) dalam keadaan normal diambil setinggi mercu. Sudut tekanan air terhadap dasar lantai bangunan depan adalah 45° dan berat jenis air diambil $1000 \text{ kg/m}^3/\text{m}^3$. Debit banjir rencana kala ulang 100 tahun adalah $485 \text{ m}^3/\text{det}$, dan ketinggian air pada saat banjir adalah 7,906 meter dari dasar saluran (*Ahmad perwira mulia,USU*).

2.5.5 Gaya tekanan Air Ke Atas (*uplift Pressure*)

Air yang berusaha keluar dari bendung akan menimbulkan gaya angkat. Besarnya gaya angkat tergantung pada sifat pondasi serta metode konstruksinya, dengan anggapan bahwa gaya berubah secara linier dari tekanan hidrostatis penuh pada permukaan bagian hulu hingga tekanan air buangan penuh pada bagian hilir. Formula yang digunakan adalah (*Tumpal Alexander Pakpahan,USU*).

$$U = \gamma \frac{h_1 + h_2}{2} t$$

di mana U = gaya tekanan ke atas (kg), γ = berat jenis air (kg/m^3), h_1 = kedalaman air pada tuinit depan (m), h_2 = kedalaman air pada tuinit belakang (m), dan t = tebal tapak lantai bendungan (m). Perhitungan gaya angkat untuk tiap titik dapat digunakan teori Lane maupun Bligh, dengan perhitungan sebagai berikut (Departemen Pekerjaan Umum-KP06, 2009).

Lane

$$U_x = HX - \left[\frac{\sum Lv(x) + \frac{1}{3} \sum Lh(x)}{Lt} \right] x \Delta H$$

Bligh

$$U_x = HX - \left[\frac{\sum Lv(x) + \sum Lh(x)}{Lt} \right] x \Delta H$$

2.5.6 Gaya akibat gempa

Prinsip perhitungan pengaruh gaya gempa terhadap stabilitas suatu bendung adalah perkalian gaya berat sendiri bangunan bendung dengan koefisien gempa. Koefisien gempa dapat dihitung dengan persamaan (Tumpal Alexander Pakpahan, USU)

$$\alpha = \frac{a_d}{g}$$

$$a_d = n (a_c \cdot z)^m$$

Dimana a_d = percepatan gempa rencana (cm/det^2), α = koefisien gempa (kg/m), (n,m) = koefisien untuk jenis tanah, a_c = percepatan kejut dasar (cm/det^2), g = percepatan gravitasi (cm/det^2), dan z = factor yang tergantung kepada letak geografis.

Faktor gempa yang diperoleh dari persamaan di atas digunakan dalam perhitungan stabilitas dimana faktor akan dikalikan dengan berat sendiri bangunan dan dihitung sebagai gaya geser horizontal. Besar gaya tersebut adalah

$$F_g = \alpha \times G$$

Dimana F_g = gaya gempa (kg/m), α = koefisien gempa, dan G = berat bangunan (kg/m). (Ahmad perwira mulia, kampus USU).

2.5.7 Pemeriksaan Terhadap Gaya Guling

Untuk melakukan pemeriksaan terhadap bahaya guling ditentukan dahulu titik terlemah yang mungkin akan terjadi patah, kemudian dari titik tersebut dihitung gaya-gaya yang bekerja yang dapat diperkirakan dapat menyebabkan terjadinya guling. (Tumpal Alexander Pakpahan, USU)

$$S_f = \frac{\sum M_t}{\sum M_g} \geq 1,5$$

di mana S_f = faktor keamanan, $\sum M_t$ = jumlah momen tahan (kgm/m), dan $\sum M_g$ = jumlah momen guling (kgm/m).

2.5.8 Pemeriksaan Terhadap Geser

Gaya yang cenderung menyebabkan terjadinya geser adalah gaya tekanan tanah aktif, gaya hidrostatik, gaya uplift horizontal, tekanan lumpur dan juga gaya akibat gempa. Sedangkan gaya yang melakukan perlawanan adalah gaya berat sendiri dikalikan dengan, gaya hidrostatik yang berlawanan dengan arah gaya geser (Tumpal Alexander Pakpahan, USU)

$$Sf = \frac{\sum P_v}{\sum P_h} \geq 1,1 \text{ (dengan gempa)}$$

$$Sf = \frac{\sum P_v}{\sum P_h} \geq 1,3 \text{ (tanpa gempa)}$$

Dimana Sf = faktor keamanan, f = koefisien gesek tanah dengan struktur bangunan, $\sum P_v$ = jumlah gaya vertikal, C = kohesi, B = lebar struktur, dan $\sum P_h$ = jumlah gaya horizontal.

