

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Analisis Hidrologi

Di dalam hidrologi, aspek analisis yang dihasilkan untuk menunjang perencanaan *Groundsill* adalah penetapan variabel-variabel rancangan, baik hujan periode ulang, debit banjir rencana, dan beberapa unsur hidrologi lainnya.

#### 2.1.1 Analisis Curah Hujan Rancangan

Data yang paling fundamental dalam perencanaan pembangunan bangunan air adalah data hujan dan debit. Analisis data hujan digunakan untuk mendapatkan besar curah hujan serta analisa perhitungan debit banjir rencana. Adapun data pos penakar hujan yang dipakai pada analisa curah hujan yaitu pos penakar hujan Bronggang dengan data hujan selama 20 tahun terakhir.

#### 2.1.2 Pengujian Data

Pengujian data digunakan dalam rangka menguji kelayakan data yang tersedia untuk analisa selanjutnya.

##### A. Uji Konsistensi Data

Pemeriksaan Konsistensi dari data ini digunakan dalam menentukan kesesuaian dengan distribusi teoritis yang dipakai. Dalam hal ini, penulis memakai cara statistik yaitu menggunakan perhitungan RAPS (Rescaled Adjusted Partial Sums).

Uji konsistensi menggunakan metode ini dilakukan pada data curah hujan tahunan guna melihat apakah ada penyimpangan data hujan. Uji konsistensi metode RAPS dapat dilihat pada persamaan berikut (Kamiana, 2011) :

$$S_0^* = 0 : S_k^* = \quad (2.1)$$

$$S_k^{**} = S_k^* / Dy \quad (2.2)$$

$$Dy^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y})}{n} \quad (2.3)$$

$$Q = \text{maks } S_k^{**} \text{ untuk } 0 \leq k \leq n \text{ atau } R = \text{maks } S_k^{**} - \text{min } S_k^{**}$$

Tabel 2. 1 Harga Kritis R serta Q

N	Q/ $\sqrt{n}$			R/ $\sqrt{n}$		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1,05	1,14	1,29	1,21	1,28	1,38
20	1,1	1,22	1,42	1,34	1,43	1,6
30	1,12	1,24	1,48	1,4	1,5	1,7
40	1,13	1,26	1,5	1,42	1,53	1,74
50	1,14	1,27	1,52	1,44	1,55	1,78
100	1,17	1,29	1,55	1,5	1,62	1,85
$\infty$	1,22	1,36	1,63	1,62	1,75	2,00

Sumber : I Made Kamiana, 2010

Apabila  $Q_{\text{terhitung}}$  kurang dari  $Q_{\text{kritis}}$  atau  $R_{\text{terhitung}}$  kurang dari  $R_{\text{kritis}}$ , maka data konsisten.

### 2.1.3 Analisa Frekuensi

Analisis frekuensi bertujuan untuk mengetahui hubungan antara besaran (maksimum atau minimum) suatu fenomena ekstrem dengan frekuensinya berdasarkan distribusi probabilitas (Kamiana, 2011). Secara sistematis metode analisis frekuensi untuk menghitung curah hujan rencana dilakukan secara berurutan mulai dari parameter statistik, distribusi probabilitas kontinu, dan pengujian kecocokan sebaran.

#### A. Parameter Statistik (Pengukuran Dispersi)

Curah hujan rata-rata yang diperoleh pada setiap titik stasiun DAS dalam kemudian dianalisis untuk memperoleh pola sebaran data curah hujan yang sesuai dengan pola sebaran data rata-rata curah hujan. Derajat sebaran variasi di sekitar nilai rata-rata disebut variasi atau sebaran data suatu variabel hidrologi. Variasi atau penyebaran adalah sejauh mana varians terdistribusi di sekitar mean. Cara mengukur derajat dispersi disebut pengukuran dispersi. Berikut adalah beberapa macam cara perhitungan dispersi (Soewarno, 1995).

##### a. Standar Deviasi

Standar deviasi biasa disebut simpangan baku. Seperti halnya varians, deviasi standar adalah ukuran penyebaran atau dispersi. Jika sebaran datanya sangat besar dibandingkan dengan meannya, maka nilai standar deviasinya akan besar. Namun jika sebaran datanya sangat kecil dibandingkan meannya, maka simpangan bakunya akan kecil. Perhitungan standar deviasi dapat dilihat pada rumus dibawah ini (Soewarno, 1995).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.4)$$

b. Koefisien Kemencengan (Cs)

Koefisien skewness merupakan nilai yang menunjukkan derajat asimetri bentuk sebaran. Nilai Cs dirumuskan sebagai berikut (Suripin, 2004) :

$$Cs = \frac{n}{(n-1)(n-2)S^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 \quad (2.5)$$

c. Koefisien Kurtosis (Ck)

Pengukuran kurtosis bertujuan mengukur ketajaman bentuk suatu kurva. Nilai Ck dirumuskan sebagai berikut (Suripin, 2004) :

$$Ck = \frac{n}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 \quad (2.6)$$

d. Koefisien Variasi (Cv)

Koefisien variasi adalah perbandingan antara simpangan baku dan rata-rata distribusi yang dihitung. Nilai Cv dirumuskan sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}} \quad (2.7)$$

Ada beberapa teknik perhitungan distribusi probabilitas kontinu yang umum digunakan dalam analisis frekuensi data curah hujan atau debit untuk menentukan nilai curah hujan rencana atau debit rencana yaitu Gumbel, Normal, Lognormal, dan LogPearson Tipe III. Untuk menentukan jenis distribusi probabilitas yang sesuai dengan data dilakukan dengan mencocokkan parameter data dengan persyaratan setiap jenis distribusi seperti pada Tabel (2.2).

Tabel 2. 2 Persyaratan Parameter Statistik suatu Distribusi

No	Distribusi	Persyaratan
1.	Normal	-0,05 < Cs < 0,05 2,7 < Ck < 3,3
2.	Log Normal	Cs selalu Positif Cs = 3.Cv
3.	Gumbel	CS > 1.1395 Ck = 5,4
4.	Log Pearson III	Tidak ada batasan

Sumber : Harto, 1993:245

## B. Distribusi Probabilitas Kontinu

Pemilihan distribusi frekuensi untuk mendapatkan hujan atau debit rencana biasanya digunakan distribusi dengan probabilitas kontinu. Dari hasil uji parameter

distribusi frekuensi, dapat disimpulkan bahwa data yang didapat dari hasil analisis sesuai dengan Log Pearson Type III.

- **Distribusi Probabilitas Log Pearson III**

Perhitungan hujan rencana dengan Log Pearson Type III, apabila data yang digunakan adalah sampel, maka dihitung dengan rumus berikut (Kamiana, 2011).

$$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log } X} + K_T \times S \text{ Log } X \quad (2.8)$$

### C. Uji Distribusi Probabilitas

Uji distribusi probabilitas digunakan untuk menentukan distribusi probabilitas yang ditentukan bisa diwakilkan dari distribusi data yang di analisis atau tidak. Ada 2 metode dalam pengujian distribusi probabilitas yaitu:

#### a. Metode Chi-Kuadrat ( $X^2$ )

Rumus dari Metode Uji Chi-Kuadrat adalah (Kamiana, 2011):

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f} \quad (2.9)$$

Derajat kepercayaan (cr) biasanya adalah 5%. Maka, derajat kebebasan (Dk) dapat ditentukan dengan:

$$Dk = K - (p + 1) \quad (2.10)$$

$$K = 1 + 3,3 \log n \quad (2.11)$$

Untuk distribusi probabilitas terpilih untuk menentukan curah hujan rencana adalah yang memiliki simpangan maks paling kecil bahkan nilainya dibawah simpangan kritis, atau dirumuskan sebagai berikut (Kamiana, 2011):

$$X^2 < X^2_{cr} \quad (2.12)$$

Berikut adalah langkah perhitungan untuk pengujian Metode Chi Kuadrat:

1. Mengurutkan data dari kecil ke besar ataupun sebaliknya.
2. Perhitungan jumlah kelas.
3. Perhitungan derajat kebebasan (Dk) dan  $X^2_{cr}$
4. Perhitungan kelas distribusi.
5. Perhitungan interval kelas.
6. Perhitungan  $X^2$
7. Perbandingan  $X^2$  dengan  $X^2_{cr}$

### b. Metode Smirnof Kolmogorov

Berikut Langkah perhitungan dengan Metode Smirnov-Kolmogorof (Kamiana,2011):

1. Mengurutkan data ( $X_i$ )
2. Menentukan peluang empiris data yang telah diurut  $P(X_i)$  dengan rumus Weibull

$$P(X_i) = \frac{n+1}{i} \quad (2.13)$$

3. Menentukan peluang data teoritis yang telah diurut dari distribusi probabilitas yang sesuai
  4. Menghitung selisih ( $\Delta P_i$ ) antara peluang empiris dan teoritis
- $$\Delta P_i = P(X_i) - P'(X_i) \quad (2.14)$$
5. Mengecek  $\Delta P_i < \Delta P$  kritis, jika "tidak" maka Distribusi Probabilitas yang dipilih ditolak dan sebaliknya.

#### 2.1.4 Intensitas Hujan Rencana

Intensitas hujan rencana merupakan kederasan hujan dalam waktu tertentu, satuannya biasanya adalah ( mm/hour) atau (cm/hour). Apabila volume hujan tetap, intensitas hujan pun semakin tinggi beriringan dengan waktu hujan yang semakin singkat, begitupun sebaliknya. Metode yang dipakai adalah Metode Mononobe yaitu sebagai berikut:

##### A. Metode Mononobe

Perhitungan dengan data pada hujan adalah dalam waktu harian, dapat dihitung dengan Rumus Mononobe yaitu (Kamiana, 2011).

$$I = \left( \frac{X_{24}}{24} \times \frac{24}{t} \right)^{2/3} \quad (2.15)$$

#### 2.1.5 Perhitungan Debit Banjir Rancangan

##### A. Metode Rasional

Metode Rasional diasumsikan sebagai berikut:

1. Hujan yang terjadi memiliki intensitas sama serta merata di semua daerah pengaliran paling sedikit adalah sama dengan waktu konsentrasi ( $t_c$ ) daerah pengaliran.
2. Kala ulang debit adalah sama dengan kala ulang hujan.

3. Koefisien pengaliran daerah pengaliran yang sama adalah tetap untuk berbagai kala ulang.

Rumusnya yaitu sebagai berikut (Soemarto,1987)

$$Q = Cxix \quad (2.16)$$

## 2.2 Debit Rencana

### 2.2.1 Konsentrasi Sedimen Debris ( $\alpha$ )

Penentuan tipe aliran debris dapat ditentukan dari kemiringan sungai dan tinggi relative aliran. Tipe aliran pada perencanaan ini adalah aliran debris dengan menggunakan rumus Takahashi (1988). Rumusnya adalah sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{\rho_w \times \tan \theta}{(\sigma - \rho_w) \times (\tan \theta - \tan \theta)} \quad (2.17)$$

### 2.2.2 Debit Rencana dengan Sedimen ( $Q_d$ )

Kemampuan air membawa sedimen berdasarkan debit dapat dihitung dari debit banjir pada perhitungan curah hujan dikali konsentrasi sedimen yang ada. Adapun rumusnya adalah sebagai berikut:

$$Q_d = \frac{2}{15} \times C \times \sqrt{2xg} \times (3 \times B_1 + 2 \times B_2) \times h_3^{3/2} \quad (2.18)$$

apabila C adalah 0.6 dan m<sub>2</sub> adalah 0.5, maka rumusnya :

$$Q_d = (0,71h_3 + 1,77B_1) \times h_3^{3/2} \quad (2.19)$$

$$Q_d = Q \times (1 + \alpha) \quad (2.20)$$

## 2.3 Dimensi Groundsill

Berdasarkan pernyataan Sosrodarsono dan Tominaga, *groundsill* bertujuan mencegah gerusan dasar sungai dengan cara melandaikan kemiringan dari dasar sungainya.

### 2.3.1 Lebar Pelimpah

Bentuk dari pelimpah *groundsill* adalah berbentuk trapezium, persamaannya adalah sebagai berikut:

$$Q_d = \frac{2}{15} \times C \times \sqrt{2xg} \times (3 \times B_1 + 2 \times B_2) \times h_3^{3/2} \quad (2.21)$$

Lebar dasar pelimpah ( $B_1$ ) tergantung pada lebar sungai di lokasi dan debit aliran debris, secara empiris lebar dasar pelimpah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Pd T-12-2004-A)

$$B_1 = \alpha \times \sqrt{Qd} \quad (2.22)$$

Keterangan:

Luas DAS (km <sup>2</sup> )	$\alpha$
0,1 - 1,0	3
1,0 - 10,0	4
10,0 - 100,0	5
100,0 - 500,0	6

Sumber : Cahyono, 2000

### 2.3.2 Tinggi Pelimpah

Ketinggian pelimpah ditentukan dari besarnya tampungan dan aliran dari debris yang melewati pelimpah. Pada perencanaan ini, untuk keamanan perlu direncanakan tinggi jagaan apabila tinggi air pada banjir rencana lebih besar dari ketinggian eksisting, hal ini dapat terjadi karena terdapat aliran debris. Maka tinggi pelimpah tersebut dapat dihitung sebagai berikut (Pd T-12-2004-A)

$$H = h_3 + h'_3 \quad (2.23)$$

Tinggi jagaan diperhitungkan berdasarkan ketinggian banjir rencana, Adapun tabel tersebut adalah sebagai berikut:

Debit design (m <sup>3</sup> /dt)	50	50-100	100-200	200-500	500-2000
Tinggi dari jagaan (m)	0,6	0,8	1	1,2	1,5

### 2.3.3 Kecepatan Air diatas Pelimpah

Kecepatan air diatas pelimpah dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$q_0 = Qd / \text{Brata-rata} \quad (2.24)$$

$$h_3 = q_0 / V_0 \quad (2.25)$$

$$V_0 = q_0 / h_3 \quad (2.26)$$

### 2.3.4 Tinggi Efektif Groundsill

Tinggi efektif merupakan tinggi *groundsill* dari permukaan dasar sungai sampai mercu *groundsill*. Tinggi tersebut juga dapat ditinjau dari topografi palung sungai, perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$H = (\text{Elevasi tebing sebelah kiri} + \text{Elevasi tebing sebelah kanan} / 2) - \text{Elevasi dasar sungai di lokasi}$$

### 2.3.5 Lebar Mercu Pelimpah

Perhitungan lebar mercu pelimpah dihitung sebagai berikut :

$$b = \frac{n}{f} x \frac{\gamma_w}{\gamma_c} x \left( t + \frac{\Delta t}{2} \right) x \left( 1 + 4 \frac{V^2}{100} \right) \quad (2.27)$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2.28)$$

$$b = \frac{(2-3)}{0,8 x \frac{\gamma_w}{\gamma_c}} x \frac{\gamma_w}{\gamma_c} x \left( t + \frac{\Delta t}{2} \right) x \left( 1 + 4 \frac{Q^2/A}{100} \right) \quad (2.29)$$

Adapun penentuan lebar mercu *groundsill* berdasarkan tabel pada lampiran B Pedoman Teknis, nilai tersebut dihasilkan sesuai dengan jenis sedimen di lokasi dan sifat hidraulik aliran.

Tabel 2. 5 Nilai Lebar Mercu

Lebar Mercu (m)	1,5-2,0	3,0-4,0
Sedimen	Pasir dan kerikil atau kerikil dan	Batu – batu besar
Sifat Hidraulik Aliran	Gerakan mandiri	Gerakan massa (debris flow)

Sumber : Lampiran B, Pd T-12-2004-A

### 2.3.6 Kemiringan Groundsill

Kemiringan tubuh *groundsill* bagian hilir standarnya dipilih 1:0.20. Hal ini bertujuan menghindari batu besar jatuh dari peluap yang dapat memukul hilirnya, serta tidak memunculkan gaya abrasi di permukaan bendung hilir.

#### a. Bagian Hulu

Perhitungan kemiringan *groundsill* di bagian hulu dihitung sebagai berikut:

$$(1 + \alpha) \cdot m^2 + \{ 2(n + \beta) + (4\alpha + \gamma) + 2 \cdot \alpha \cdot \beta \} \cdot m - (1 + 3\alpha) + \beta \cdot (4n + \beta) + \gamma \cdot (3 \cdot n \cdot \beta + \beta^2 + n^2) = 0 \quad (2.30)$$

$$\alpha = h_3/H \quad (2.31)$$

$$\beta = b_2/H \quad (2.32)$$

$$\gamma = \gamma_c/\gamma_w \quad (2.33)$$

$$m = (-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac})/2a \quad (2.34)$$

#### b. Bagian Hilir

Rumus dari kemiringan *groundsill* bagian hilir adalah sebagai berikut:

$$n_{max} = Vg \times \sqrt{2/g \times h} \quad (2.35)$$

## 2.4 Bangunan Peredam Energi

### 2.4.1 Kolam Olak

Kolam olak merupakan bangunan yang dibangun dengan tujuan meredam energi yang timbul akibat tipe air yang superkritis lewat dari pelimpah. Lantai kolam olak memiliki panjang yang diperlukan, serta berfungsi sebagai penjaga keamanan *groundsill*.

#### a. Persamaan Hidrolika Kolam Olak

$$L = I_w \times X + b_2 \quad (2.36)$$

$$I_w = V_0 \times \sqrt{\frac{2 \times (H_1 + \frac{1}{2}h_3)}{g}} \quad (2.37)$$

$$V_0 = \frac{q_0}{h_3} \quad (2.38)$$

$$X = \beta \times h_j \quad (2.39)$$

$$h_j = \frac{h_1}{2} (\sqrt{1 + 8 \times Fr_1^2} - 1) \quad (2.40)$$

$$h_1 = \frac{q_1}{v_1} \quad (2.41)$$

$$V_1 = \sqrt{2 \times g \times (h_1 + h_3)} \quad (2.42)$$

$$Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g \times h_1}} \quad (2.43)$$

#### b. Panjang Kolam Olak

$$L = (1,50 - 2,0) \times (h_1 + h_3) \quad (2.44)$$

#### c. Tebal Kolam Olak tanpa Sub-dam

$$t = 0,20 \times (0,6 \times h_1 + 3 \times h_3 - 1) \quad (2.45)$$

## 2.5 Tembok Tepi

Pada perencanaan *groundsill* tentu perlu adanya perencanaan tembok tepi untuk menahan tanah supaya longsor tidak terjadi serta melakukan peninggian tebing sungai agar pada saat kondisi muka air banjir tidak meluap. Adapun rumus perhitungan yang dipakai pada perencanaan tembok tepi adalah sebagai berikut (Pd T-12- 2004-A)

$$DB = DC + n \times H - m \times H \quad (2.46)$$

## 2.6 Lubang Drainase Sedimen

Perencanaan lubang drainase sedimen harus dilihat jarak pada lubang drainase dari dasar pelimpah besar minimumnya adalah 1.5m. Biasanya lubang drainase sedimen berukuran 0.5-1m.

## 2.7 Kapasitas Tampungan Sedimen

Pada perencanaan bangunan pengendali sedimen tentu perlu adanya Analisa terhadap besarnya volume sedimen yang akan ditinjau. Adapun persamaan yang digunakan pada kapasitas tampungan sedimen adalah sebagai berikut:

$$I \text{ Statik} = \frac{1}{2} \times i_o \quad (2.47)$$

$$I \text{ Dinamik} = \frac{2}{3} \times i_o \quad (2.48)$$

$$L1 = \frac{H}{i_o - i \text{ statik}} \quad (2.49)$$

$$L2 = \frac{H}{i_o - i \text{ dinamik}} \quad (2.50)$$

$$V1 = \text{luas area sedimen setelah dibangun groundsill} \times \text{lebar sungai} \quad (2.51)$$

$$V2 = \text{Luas area sedimen setelah terjadi banjir} \times \text{lebar sungai} \quad (2.52)$$

## 2.8 Analisa Stabilitas Konstruksi

Gaya yang berperan dalam analisa stabilitas konstruksi adalah tekanan air baik dari dalam maupun dari luar, berat bangunan, gaya gempa, dan tekanan lumpur (Ditjen SDA, 2013)

### 2.8.1 Analisa Pembebanan

Perhitungan pembebanan didapatkan dari kombinasi gaya, antara lain:

#### A. Tekanan Air

Gaya angkat pada teori angka rembesan Lane dihitung dengan rumus(2.53)

$$P_x = Hx - \left(\frac{Lx}{L}\right) \times \Delta H \quad (2.53)$$

#### B. Tekanan Lumpur

Tekanan lumpur bekerja dari muka hulu bendung maupun terhadap pintu. Sedangkan sudut gesekan dalam biasanya diambil sebesar  $30^0$ , sehingga dapat dihitung :

$$P_s = 1.67 \times h^2 \quad (2.54)$$

#### C. Berat Bangunan

Gaya berat pada bangunan dapat di hitung menggunakan arah kebawah yang *line worknya* adalah lewat titik berat dari bangunan tersebut. Berat dari bangunan juga tergantung dari bahan bangunan yang terdapat pada tabel 2.7 dibawah ini.

Tabel 2. 6 Berat Jenis Bahan Bangunan

Bahan Bangunan	Berat Jenis (t/m <sup>3</sup> )
Beton Bertulang	2,40
Beton biasa, tumbuk	2,20
Baja Tulangan	7,85
Pasangan batu kali	2,20
Pasir padat	2,10
Air	1,00

Sumber : Direktorat Jendral Sumber Daya Air, 2013

#### D. Gaya gempa

Gaya gempa ditentukan pada dari peta indonesia yang menunjukkan daerah juga resikonya. Nilai dari faktor minim adalah 0,1 dari percepatan gravitasi yang ditentukan dengan mengalikannya pada berat bangunan (Ditjen SDA, 2013).

#### E. Kebutuhan Stabilitas

Suatu bendung bisa runtuh apabila ada gaya dari luar struktur yang dapat melebihi ketahanan bendung. Ada tiga penyebab keruntuhannya yaitu:

1. Erosi Bawah Tanah (Piping), ada pada lapisan tanah dalam
2. Guling (overturning), terjadi pada bendung, base dan bidang bawah tanah.
3. Gelincir (sliding), terjadi pada sendi di bagian horizontal dan disepanjang pondasi.

#### F. Ketahanan terhadap Gelincir (Sliding)

Pada stabilitas terhadap geser, ketahanan dalam struktur dalam menahan momen gaya bisa mengakibatkan *friction* pada struktur. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$Sf = \frac{\sum Vxf}{\sum Vxf} > 1,5 \quad (2.55)$$

Harga pekiraan untuk koef. *friction* (f) ada pada Tabel dibawah ini.

Tabel 2. 7 Nilai Koef. *Friction*

Bahan	f
Pasangan batu pada pasangan batu	0.60 – 0.75
Batu keras berkualitas baik	0.75
Kerikil	0.50
Pasir	0.40
Lempung	0.30

Menurut Ditjen SDA (2013), faktor keamanan (S) yang aman adalah 2 pada beban normal dan 1,2 pada beban ekstrim. Apabila bangunan dari beton dengan nilai aman untuk faktor *sliding* dipertimbangkan pada gesekan saja hasilnya melebihi, maka bangunan aman jika *safety factor* mencakup geser. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$Sf = \frac{cxA + \Sigma Vxtg\theta}{\Sigma H} \quad (2.56)$$

Nilai faktor keamanan apabila geser juga diikutkan, sama dengan nilai yang mencakup dari gesekan, yaitu 1,50 pada kondisi normal dan 1,20 pada kondisi ekstrim. Sedangkan beton, c dapat ditentukan 1.100 kN/m<sup>2</sup>.

#### G. Ketahanan terhadap Guling (Overturning)

Supaya bangunan dinyatakan aman dari guling, jumlah gaya yang bekerja di atas bidang horisontal, harus memotong bidang pada teras. Besarnya tegangan harus dipertahankan pada nilai maks yang diperbolehkan.

$$Sf \text{ guling} = \frac{\Sigma MT}{\Sigma MG} \quad (2.57)$$

#### H. Reaksi Pondasi

Reaksi pondasi dapat ditentukan berbentuk trapesium. Rumusnya adalah sebagai berikut:

$$e = \frac{L}{2} - \frac{\Sigma MT - \Sigma MG}{\Sigma V} \quad (2.58)$$

$$P = \frac{\Sigma V}{L} \times \left( 1 \pm \frac{6xe}{L} \right) \quad (2.59)$$

#### I. Ketahanan terhadap Piping

Ketahanan terhadap rembesan dihitung bertujuan memastikan apa design *groundsill* dinyatakan aman dari piping dalam melewati bangunan.

$$C_L = \frac{\Sigma Lv + 1/3 \Sigma LH}{H} \quad (2.60)$$

#### J. Ketahanan terhadap Daya Dukung Tanah

Rumus yang digunakan dalam menghitung DDT adalah rumus Terzaghi yaitu sebagai berikut (Hary C, 1996) :

$$Qult = (1 + 0,3 \times B/L) \times c \times Nc + \gamma \times D \times (Nq - 1) + 0,5 \times \gamma \times B \times N\gamma \times (1 - 0,2 \times B/L) \quad (2.61)$$

Sedangkan beban izin maksimum dihitung dengan rumus berikut :

$$Qijin = Qult/SF \text{ guling} \quad (2.62)$$

Struktur akan aman jika tegangan pada struktur tidak lebih dari beban maks yang dianjurkan. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$Q_{max} = \left(\frac{\Sigma V}{B.L}\right) x \left(1 + \frac{6e}{B}\right) < Q_{ijin} \quad (2.63)$$

$$Q_{max} = \left(\frac{\Sigma V}{B.L}\right) x \left(1 - \frac{6e}{B}\right) < Q_{ijin} \quad (2.64)$$

$$X = \frac{Mv - Mg}{\Sigma V} \quad (2.65)$$

$$e = X - \frac{B}{2} < \frac{B}{6} \quad (2.66)$$

Setelah dilakukan perhitungan diatas apabila hasil dari semua analisa dan kontrol telah aman, bangunan dapat dikatakan aman apabila sesuai dengan syarat keamanan pada masing – masing kontrol. Kemudian pengerjaan selanjutnya dapat dilanjutkan pada tahap melengkapi gambar kerja *groundsill* dan desain bangunan yang telah direncanakan dapat digunakan sebagai bangunan pengendali banjir yaitu *groundsill*.

