



**KONTROL STABILITAS *GROUND SILL* BANTAR  
DI KALI PROGO KABUPATEN BANTUL**

**PROYEK AKHIR**

Diajukan Kepada Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta  
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Guna Memperoleh Gelar Ahli Madya



Oleh:

**Sarsin**

**NIM. 08510131029**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA  
2012**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PROYEK AKHIR**

**KONTROL STABILITAS *GROUND*SILL BANTAR  
DI KALI PROGO KABUPATEN BANTUL**

Dipersiapkan dan disusun oleh :

**Sarsin**  
**08510131029**

Telah Dipertahankan di Depan Penguji Proyek Akhir Jurusan Pendidikan Teknik

Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Yogyakarta

pada Tanggal 16 Mei 2012

dan Dinyatakan Telah Memenuhi Syarat Guna Memperoleh Gelar Ahli Madya

**SUSUNAN DEWAN PENGUJI**

**Jabatan**

**Nama Lengkap**

**Tanda Tangan**

- |                     |                          |       |
|---------------------|--------------------------|-------|
| 1. Ketua Penguji    | Drs. H. Suyitno HP., MT. | ..... |
| 2. Penguji Utama I  | Drs. H. Lutjito, MT.     | ..... |
| 3. Penguji Utama II | Ir. Endaryanta, MT.      | ..... |

Yogyakarta, Mei 2012

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Negeri Yogyakarta



**Dr. Moch Bruri Triyono**  
**NIP. 19560216 198603 1 003**

## PERSETUJUAN

Proyek Akhir yang berjudul “**Kontrol Stabilitas *Groundsill* Bantar di Kali Progo Kabupaten Bantul**” yang disusun oleh:

Nama : Sarsin  
NIM : 08510131029  
Prodi : Teknik Sipil - D III  
Fakultas : Teknik  
Universitas : Universitas Negeri Yogyakarta

Telah selesai disusun dan telah siap untuk diujikan.

Yogyakarta, Mei 2012

Dosen Pembimbing,



**Drs. H. Suyitno HP., MT.**  
NIP.19520814 197903 1 003

## **MOTTO**

*Syukuri dan manfaatkan nikmat waktu yang telah Allah SWT berikan kepada kita, dengan melakukan hal-hal yang baik dan berguna tanpa menunda-nunda.*

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Allhamdulillahirobbil 'alamin*

*Kupersembahkan karya kecil ini untuk :*

*Allah SWT yang sungguh aku cintai atas segala kemudahan yang diberikan,  
karunia dan nikmat yang tiada terhingga.*

*Keluargaku yang selalu aku sayangi. Ibuku orang yang paling berarti untukku,  
yang selalu memberikan Material dan Spiritual seperti doa, semangat, nasehat  
dan kasih sayang yang tiada henti. Tiada yang dapat ananda banggakan,  
semoga ananda tidak mengecewakan . Dan juga kakak-kakakku, ponakanku,  
serta semua saudara yang ku sayangi.*

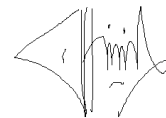
*Semua kawanku di Teknik Sipil : Zidna, Yoga, Yudi, Andri, Marubi, Rifta,  
Lulu, Habibi, Amris, Dedy, Harry, Aris, Roby, Huda, Dedy, Rizky, Heru, dan  
kawan-kawan lain yang belum saya sebutkan. Terima kasih atas kebersamaan  
kita selama ini.*

## **PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa Proyek Akhir ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Yogyakarta, Mei 2012

Yang menyatakan,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Sarsin', written over a faint, stylized graphic that resembles a triangle or a piece of paper.

Sarsin  
NIM. 08510131029

## ABSTRAK

### KONTROL STABILITAS *GROUNDSTALL* BANTAR DI KALI PROGO KABUPATEN BANTUL

Oleh:  
Sarsin  
NIM. 08510131029

Aliran arus Kali Progo yang deras dan penambangan pasir di daerah hulu jembatan Bantar sungai Progo dapat membahayakan beberapa bangunan yang ada di sekitar sungai tersebut, terutama *asset* nasional seperti jalan raya dan jembatan. Kerusakan bangunan-bangunan penting harus dapat diatasi, salah satunya dengan melakukan pembangunan guna menstabilkan dasar sungai Kali Progo agar tidak merusak ekosistem di sekitarnya. Salah satu pembangunan yang dilaksanakan adalah pembangunan sebuah *groundsill* di hilir Jembatan Bantar. Agar bangunan dapat berfungsi dengan baik maka stabilitas bangunan tersebut juga harus baik. Berdasarkan hal tersebut, penulis mencoba untuk menganalisis keamanan stabilitas *groundsill* yang dipasang di hilir Jembatan Bantar.

Metode yang digunakan dalam penyusunan Proyek Akhir ini adalah dengan menggunakan metode observasi dan dokumentasi. Metode dokumentasi bertujuan untuk mencari data-data yang diperlukan dalam perhitungan, seperti gambar kerja, data tanah, dan data-data lainnya yang diperlukan dalam proses kajian stabilitas *groundsill*. Metode observasi dilaksanakan dengan mengamati secara langsung keadaan aliran yang ada di Kali Progo, mengamati keadaan tebing di sekitar bangunan *groundsill*, mencocokkan gambar dengan kondisi di lapangan, mengamati bangunan-bangunan yang dilindungi dengan pembangunan *groundsill* tersebut, dan menyaksikan penambangan pasir di hulu jembatan Bantar. Setelah data yang dibutuhkan terpenuhi, maka analisis dilaksanakan dengan menggunakan rumus-rumus dalam teori yang ada.

Hasil yang didapatkan berdasarkan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut: *Groundsill* Bantar aman terhadap rembesan (*pipng*) karena pada nilai *weight creep ratio* hitung lebih besar dari nilai *weight creep ratio* untuk tanah jenis pasir halus, dihitung menggunakan Metode *Lane*. *Groundsill* Bantar aman terhadap gaya guling pada saat debit banjir ditinjau dari besarnya nilai Momen Tahan lebih besar dari Momen Guling dan lebih dari batas minimum angka aman. *Groundsill* Bantar ditinjau dari gaya geser masih aman pada saat debit banjir. *Groundsill* Bantar aman terhadap daya dukung tanah, karena tegangan maksimum dan minimum masuk dalam batas aman.

Kata Kunci : Stabilitas, *Groundsill*, Bantar.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan kehadiran Allah S.W.T yang telah memberikan Rahmat dan Hidayah-Nya kepada penyusun sehingga dapat menyelesaikan laporan Proyek Akhir yang berjudul “Kontrol Stabilitas *Groundsill* Bantar di Kali Progo Kabupaten Bantul” ini.

Proyek Akhir ini ditulis untuk memenuhi sebagian persyaratan penyusun guna memperoleh gelar Ahli Madya dari Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.

Selama menyusun Proyek Akhir, penyusun mendapatkan banyak bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Moch. Bruri Triyono, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
2. Bapak Drs. Agus Santoso, M.Pd., selaku ketua jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik UNY.
3. Bapak Drs. Suyitno HP., MT., selaku Dosen Pembimbing Proyek Akhir, sekaligus Ketua Dewan Penguji Proyek Akhir ini.
4. Dosen Pengajar Program studi Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negri Yogyakarta beserta para staff dan karyawan.
5. Ibu saya tercinta, kakak-kakakku tersayang, dan seluruh keluargaku yang telah memberikan dorongan motivasi dan do’a untuk kelancaran saya dalam kuliah selama ini.



6. Almarhum ayah saya, yang selalu jadi motivasi saya untuk menjadi orang yang lebih baik, berguna bagi keluarga, nusa , bangsa, dan agama.
7. Teman-temanku anak sipil angkatan 2008 yang aku cintai, maupun angkatan 2007 yang turut membantu selama ini.
8. Marubi, yang tidak pernah bosan memberikan dorongan motivasi dan do'a bagi saya.
9. Kepada pihak-pihak terkait yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, terima kasih atas dukungannya.

Penyusun menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat penyusun harapkan untuk kesempurnaan laporan ini dan penyusun berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi para pembaca.

Yogyakarta, Mei 2012

Penyusun,



Sarsin

NIM. 08510131029

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN .....	iii
MOTTO.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
SURAT PERNYATAAN.....	vi
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xix

### BAB I . PENDAHULUAN

A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	2
C. Batasan Masalah.....	2
D. Rumusan Masalah.....	3
E. Tujuan Kajian .....	3
F. Manfaat Kajian.....	3

### BAB II . KAJIAN TEORI

A. <i>Groundsill</i> .....	4
B. DAS (Daerah Aliran Sungai).....	6
C. Panjang Sungai.....	7
D. Intensitas Curah Hujan.....	9

<b>E. Debit Banjir Rencana.....</b>	<b>17</b>
<b>F. Perhitungan pada <i>Groundsill</i>.....</b>	<b>23</b>
<b>G. Stabilitas <i>Groundsill</i>.....</b>	<b>33</b>

### **BAB III . PELAKSANAAN KAJIAN**

<b>A. Pengumpulan Data.....</b>	<b>41</b>
<b>B. Data Kajian.....</b>	<b>42</b>
<b>C. Langkah Analisis Data .....</b>	<b>43</b>
<b>D. Alur Analisis.....</b>	<b>47</b>

### **BAB IV. HASIL ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

<b>A. Hasil Analisis.....</b>	<b>48</b>
1. Hasil Analisis Banjir Rencana.....	48
2. Hasil Analisis Angka Rembesan (Piping).....	49
3. Hasil Analisis Gaya Angkat Air (Uplift).....	50
4. Hasil Analisis Berat Bangunan.....	52
5. Hasil Analisis Berat Air yang Membebani Bangunan.....	54
6. Hasil Analisis Berat Lumpur.....	55
7. Hasil Analisis Tekanan Air.....	56
8. Hasil Analisis Tekanan Tanah Aktif.....	57
9. Hasil Analisis Tekanan Tanah Pasif.....	57
10. Hasil Analisis Tekanan Butir Pasir.....	58
11. Hasil Analisis Gaya Gempa Akibat Struktur.....	59
12. Rekapitulasi Total Gaya dan Momen Yang Bekerja.....	60
13. Kontrol Terhadap Penggulingan.....	62
14. Kontrol Terhadap Pergeseran.....	62
15. Tinjauan Terhadap Eksentrisitas.....	63
16. Tinjauan Terhadap Daya Dukung Tanah.....	63

<b>B. Pembahasan.....</b>	<b>64</b>
a. Perhitungan Debit Banjir Rencana.....	64
b. Keamanan Terhadap Gejala Piping.....	64
c. Keamanan Terhadap Gaya Guling.....	65
d. Keamanan Terhadap Gaya Geser.....	66
e. Keamanan Terhadap Daya Dukung Tanah.....	67

## **BAB V . KESIMPULAN DAN SARAN**

<b>A. Kesimpulan.....</b>	<b>68</b>
<b>B. Saran .....</b>	<b>69</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>70</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>71</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Bagian-bagian <i>Groundsill</i> .....	4
Gambar 2. <i>Groundsill</i> Datar.....	5
Gambar 3. <i>Groundsill</i> Pelimpah.....	5
Gambar 4. Daerah Aliran Sungai (DAS).....	7
Gambar 5. Panjang Sungai.....	8
Gambar 6. Stasiun Hujan.....	10
Gambar 7. Poligon Thiessen.....	12
Gambar 8. Metode Isohyet.....	14
Gambar 9. Grafik Harga Pengaliran Maksimum Daerah Luasan 0-100 km <sup>2</sup>	19
Gambar 10. Koefisien Harga m pada Rumus Bundchu.....	22
Gambar 11. Gaya yang Bekerja pada <i>Groundsill</i> .....	23
Gambar 12. Gaya Angkat pada Pondasi <i>Groundsill</i> .....	24
Gambar 13. Gaya Tekanan Air.....	25
Gambar 14. Berat Sendiri <i>Groundsill</i> .....	26
Gambar 15. Tegangan Samping Aktif dan Pasif.....	28
Gambar 16. Tekanan Aktif (a) dan Pasif (b) menurut Rankine.....	29
Gambar 17. Koefisien Zona Gempa di Indonesia.....	31
Gambar 18. Stabilitas Terhadap Guling.....	33
Gambar 19. Tinjauan Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah.....	36
Gambar 20. Faktor Daya Dukung.....	37
Gambar 21. Titik-titik yang dilalui Rembesan.....	39
Gambar 22. Metode Angka Rembesan <i>Lane</i> .....	40
Gambar 23. <i>Flowchard</i> Analisis Data.....	47
Gambar 24. Potongan <i>Groundsill</i> Bantar.....	46
Gambar 25. Tekanan Angkat ( <i>Uplift</i> ).....	50
Gambar 26. Tubuh <i>Groundsill</i> .....	52
Gambar 27. Beban Air yang Membebani Bangunan pada Saat Banjir.....	54

Gambar 28. Berat Butir Pasir.....	55
Gambar 29. Tekanan Air.....	56
Gambar 30. Tekanan Tanah Aktif.....	57
Gambar 31. Tekanan Tanah Pasif.....	58
Gambar 32. Tekanan Butir Pasir.....	58
Gambar 33. Gaya Gempa <i>Groundsill</i> .....	60

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Harga Pengaliran Maksimum Daerah Luasan 0-100 Km <sup>2</sup> .....	18
Tabel 2. Berat Jenis Bahan.....	26
Tabel 3. Harga Koefisien Tegangan Aktif $K_a$ untuk Dinding Miring Kasar dengan Permukaan Tanah Datar/Horizontal.....	28
Tabel 4. Harga Koefisien Tegangan Pasif $K_p$ untuk Dinding Miring Kasar dengan Permukaan Tanah Datar/Horizontal.....	28
Tabel 5. Koefisien Jenis Tanah.....	31
Tabel 6. Periode Ulang dan Percepatan Dasar Gempa $ac$ .....	31
Tabel 7. Harga Perkiraan Daya Dukung yang Diizinkan.....	34
Tabel 8. Harga Perkiraan untuk Koefisien Gesek.....	35
Tabel 9. Bentuk Telapak Pondasi.....	37
Tabel 10. Harga Minimum Angka Rembesan $Lane$ .....	40
Tabel 11. Hasil Analisis Debit Banjir Rencana.....	48
Tabel 12. Hasil Analisis Gaya Angkat pada $x$ ( $P_x$ ).....	51
Tabel 13. Hasil Analisis Gaya $Uplift$ dan Momen.....	51
Tabel 14. Hasil Analisis Berat Bangunan dan Momen.....	53
Tabel 15. Hasil Analisis Berat Air dan Momen.....	54
Tabel 16. Hasil Analisis Berat Lumpur dan Momen.....	55
Tabel 17. Tekanan Air di Hulu dan Momen.....	56
Tabel 18. Tekanan Air di Hilir dan Momen.....	56
Tabel 19. Rekapitulasi Tekanan Tanah.....	58

Tabel 20. Hasil Analisis Tekanan Lumpur dan Momen.....	59
Tabel 21. Rekapitulasi Gaya Gempa Akibat Struktur.....	60
Tabel 22. Rekapitulasi Total Gaya dan Momen yang Bekerja.....	61



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Perhitungan Luas Daerah Tangkapan Sungai (catchment area)..<	71
Lampiran 2.	Perhitungan Debit Banjir.....	72
Lampiran 3.	Perhitungan Analisis Angka Rembesan (pipng).....	75
Lampiran 4.	Perhitungan Gaya Angkat Air (uplift).....	76
Lampiran 5.	Perhitungan Berat Bangunan dan Momen.....	80
Lampiran 6.	Perhitungan Berat Air yang Membebani Bangunan.....	82
Lampiran 7.	Perhitungan Berat Lumpur dan Momen.....	84
Lampiran 8.	Perhitungan Tekanan Air dan Momen.....	85
Lampiran 9.	Perhitungan Tekanan Tanah Aktif.....	87
Lampiran 10.	Perhitungan Tekanan Tanah Pasif.....	89
Lampiran 11.	Perhitungan Tekanan Butir Pasir dan Momen.....	91
Lampiran 12.	Perhitungan Gaya Gempa Akibat Struktur.....	93
Lampiran 13.	Perhitungan Kontrol Terhadap Penggulingan.....	97
Lampiran 14.	Perhitungan Kontrol Terhadap Pergeseran.....	98
Lampiran 15.	Perhitungan Eksentrisitas.....	99
Lampiran 16.	Perhitungan Daya Dukung Tanah.....	100
Lampiran 17.	Data Curah Hujan Rata-rata Bulanan.....	102
Lampiran 18.	Data Curah Hujan Maksimum Bulanan.....	103
Lampiran 19.	Data Curah Hujan Maksimum Bulanan 50 Tahun.....	104
Lampiran 20.	Data Curah Hujan Harian.....	105

Lampiran 21.	Peta Lokasi Pengeboran Tanah Uji.....	120
Lampiran 22.	Data Grain Size Analysis.....	121
Lampiran 23.	Data Direct Shear Test.....	129
Lampiran 24.	Foto Boring Test.....	133
Lampiran 25.	Foto.....	134
Lampiran 26.	Gambar Groundsill Bantar dan kelengkapannya	
Lampiran 27	Peta Kali Progo	

## DAFTAR NOTASI

$F$	= Luas daerah aliran sungai ( $\text{km}^2$ )
$L_1$	= Sumbu terpanjang ( km )
$L_2$	= Sumbu terpendek ( km )
$I$	= Intensitas Curah Hujan (mm/jam)
$R_{24}$	= Curah Hujan maksimum dalam 24 jam (mm)
$t$	= Lamanya Curah Hujan (jam)
$\bar{R}$	= Curah hujan rata-rata (mm)
$n$	= Jumlah stasiun hujan yang diamati
$Q_n$	= Debit maksimum untuk periode ulang n tahun ( $\text{m}^3/\text{det}$ )
$M_n$	= Koefisien yang tergantung pada periode yang ditetapkan
$q'$	= Banyaknya air yang mengalir dalam $\text{m}^3/\text{det}$ tiap $\text{km}^2$ , pada curah hujan sehari semalam sebesar 240 mm
$F$	= Luas elips ( $\text{km}^2$ )
$R_{70}$	= Curah hujan maksimum selama 70 tahun
$R_I$	= Curah hujan maksimum pertama
$R_{II}$	= Curah hujan maksimum kedua
$\alpha$	= Koefisien pengalihan
$\beta$	= Koefisien reduksi
$q$	= Hujan maksimum ( $\text{m}^3/\text{det} / \text{km}^2$ )
$L$	= Panjang sungai utama (km)
$i$	= Kemiringan dasar sungai
$Q$	= Debit aliran ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

$\Delta H$	= Beda tinggi muka air di hulu dan hilir (m)
$P_u$	= Tekanan air normal di hulu <i>groundsill</i> (m)
$W_w$	= Berat air yang membebani bangunan (KN)
$W$	= Berat bangunan (KN)
$P_i$	= Tekanan air pasif di hilir <i>groundsill</i> (KN)
$P_a$	= Tekanan tanah aktif (KN)
$P_p$	= Tekanan tanah pasif (KN)
$U$	= Gaya angkat air ( <i>uplift</i> ) (KN)
$P_s$	= Tekanan lumpur (KN)
$W_s$	= Berat lumpur yang membebani bangunan (KN)
$M_T$	= Momen tahan (KN.m)
$M_G$	= Momen guling (KN.m)
$L_x$	= Jarak sepanjang bidang kontak dari hulu sampai x (m)
$P_x$	= Gaya angkat pada x (kN/m <sup>2</sup> )
$\gamma_w$	= Berat jenis air (kN/m <sup>3</sup> )
$K_a$	= Koefisien tegangan aktif
$K_p$	= Koefisien tegangan pasif
$\gamma_b$	= Berat volume tanah (kN/m <sup>3</sup> )
$c$	= Kohesi (kN/m <sup>2</sup> )
$\phi$	= Sudut gesek, derajat (°)
$\delta$	= Sudut gesekan antara tanah dan dinding, derajat (°)
$\gamma_s$	= Berat jenis lumpur (kN/m <sup>3</sup> )

$G$	= Berat jenis butir (kN/m <sup>3</sup> )
$a_d$	= Percepatan gempa rencana, cm/dt <sup>2</sup>
$n, m$	= Koefisien untuk jenis tanah
$a_c$	= Percepatan kejut dasar, cm/dt <sup>2</sup>
$E$	= Koefisien gempa
$g$	= Percepatan gravitasi, cm/dt <sup>2</sup>
$e$	= Besarnya eksentrisitas konstruksi (m)
$Z$	= Faktor yang bergantung kepada letak geografis
$B$	= Panjang konstruksi (m)
$\Sigma V$	= Jumlah gaya vertikal (kN)
$L_h$	= Jumlah jarak horizontal menurut lintasan terpendek (m)
$L_v$	= Jumlah jarak vertikal menurut lintasan terpendek (m)
$L_w$	= <i>Weighted-creep-distance</i> (m)
$WCR$	= <i>Weighted creep ratio</i>
$L_x$	= Panjang bidang kontak dari hulu sampai x, (m)
$SF$	= <i>Safety Factor</i> / Faktor keamanan
$\Sigma H$	= Keseluruhan gaya horizontal yang bekerja pada bendung, KN
$f$	= Koefisien gesek.
$q_u$	= Daya dukung batas, kN/m <sup>2</sup>
$N_c, N_q, \text{ dan } N\gamma$	= Faktor-faktor daya dukung tak berdimensi
$q_a$	= Daya dukung izin, kN/m <sup>2</sup>

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang Masalah**

Kali Progo di desa Bantar memiliki aliran yang cukup deras yang dapat membuat bangunan seperti jembatan sungai di daerah tersebut yaitu jembatan Bantar mengalami gerusan pada pilarnya. Dasar sungai merupakan dasar dengan material berupa pasir yang sering dimanfaatkan dengan ditambang oleh penduduk. Tebing sungai Kali Progo di daerah Bantar berupa lereng tanah yang cukup tinggi yang tentu dapat dengan mudah terkikis akibat arus yang cukup deras. Aliran arus yang deras dan penambangan pasir di daerah hulu jembatan Bantar sungai Progo dapat membahayakan beberapa bangunan yang ada di sekitar sungai tersebut, terutama *asset* nasional berupa jalan raya dan jembatan. Kerusakan bangunan-bangunan penting dan pengikisan tebing harus dapat diatasi salah satunya dengan melakukan pembangunan guna menstabilkan dasar sungai Kali Progo agar tidak merusak ekosistem di sekitarnya. Salah satu pembangunan yang harus dilaksanakan adalah pembangunan sebuah *groundsill* di hilir Jembatan Bantar.

*Groundsill* Bantar yaitu struktur ambang melintang sungai sebagai bangunan penahan sedimen yang berfungsi untuk mengurangi laju aliran air sungai yang deras, agar tidak terjadi gerusan disekitar pilar jembatan Bantar.

*Groundsill* di desa Bantar diharapkan dapat melindungi Jembatan Bantar (jalan negara), Jembatan Pipa Pertamina untuk suplai minyak antar Provinsi Jawa

Tengah-Jawa Timur, Jembatan Kereta Api Surabaya-Jakarta, dan Jalan Provinsi D.I. Yogyakarta-Jawa Tengah.

Bangunan *groundsill* tersebut sangat penting, maka struktur *groundsill* harus kuat dan aman. Berdasarkan hal tersebut, penulis ingin menganalisis stabilitas *Groundsill* Bantar baik ditinjau dari keamanan terhadap bahaya rembesan (*piping*), keamanan terhadap bahaya guling pada saat debit banjir, keamanan terhadap daya dukung tanah, dan keamanan terhadap bahaya geser pada saat debit banjir.

#### **B. Identifikasi Masalah.**

Berdasarkan latar belakang masalah di atas dapat diidentifikasi permasalahan sebagai berikut :

1. *Groundsill* dapat dikatakan aman apabila stabil terhadap bahaya penggulingan.
2. *Groundsill* dapat dikatakan aman apabila stabil terhadap bahaya pergeseran.
3. *Groundsill* dapat dikatakan aman apabila stabil ditinjau terhadap bahaya rembesan (*piping*).
4. *Groundsill* dapat dikatakan aman apabila stabil terhadap daya dukung tanah.

#### **C. Batasan Masalah.**

Masalah yang akan dikaji pada Proyek Akhir ini dibatasi beberapa batasan diantaranya adalah stabilitas *groundsill* terhadap bahaya guling, bahaya geser, daya dukung tanah (penurunan), dan rembesan (*piping*). Sedangkan hitungan untuk bahaya patahnya tubuh konstruksi, dalam Proyek Akhir ini tidak dibahas.

#### **D. Rumusan Masalah.**

Permasalahan yang akan dikaji pada Proyek Akhir ini adalah :

1. Apakah *Grounsill* Bantar aman terhadap bahaya guling?
2. Apakah *Grounsill* Bantar aman terhadap bahaya pergeseran?
3. Apakah *Groundsill* Bantar aman ditinjau dari daya dukung tanahnya?
4. Apakah *Grounsill* Bantar aman terhadap bahaya rembesan (*piping*)?

#### **E. Tujuan Kajian.**

Tujuan dari kajian pada Proyek Akhir ini adalah ingin menganalisis stabilitas *Groundsill* Bantar ditinjau dari faktor keamanan terhadap bahaya guling pada saat debit banjir, keamanan terhadap daya dukung tanah, kemanan terhadap bahaya geser pada saat debit banjir, dan keamanan terhadap bahaya rembesan (*piping*).

#### **F. Manfaat Kajian.**

Manfaat menganalisis stabilitas *Groundsill* ini adalah untuk mengetahui stabilitas *Groundsill* Bantar apabila dihitung dengan berdasarkan standar teknis yang berlaku sebagai bentuk kontrol analisis perencanaan, sehingga dapat diketahui stabilitasnya. Apabila bangunan *groundsill* aman terhadap bahaya guling, bahaya geser, daya dukung tanah (penurunan), dan rembesan (*piping*), maka *groundsill* dapat berfungsi dengan baik.



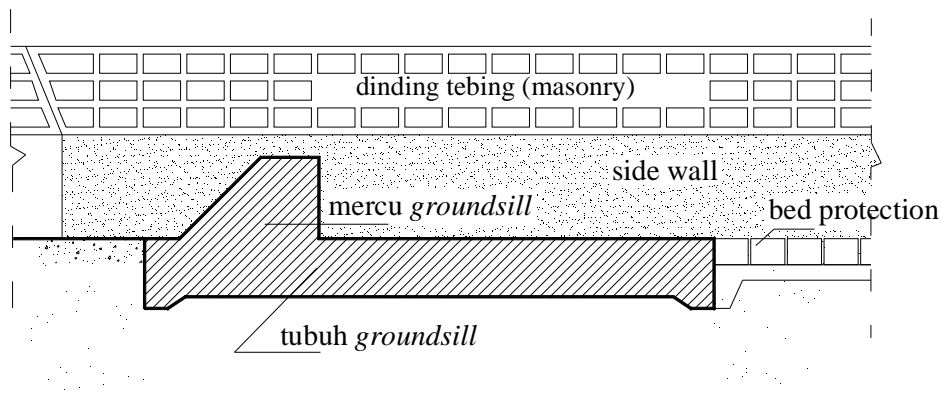
## BAB II KAJIAN TEORI

### A. *Groundsill*

*Groundsill* dan juga bendung adalah bangunan air yang dibangun melintang sungai yang sengaja dibuat untuk meninggikan elevasi muka air untuk mendapatkan tinggi terjun. Hanya saja yang menyebabkan perbedaan antara *groundsill* dan bendung adalah pada fungsi dan tujuan.

*Groundsill* merupakan suatu struktur ambang melintang yang dibangun pada alur sungai yang bertujuan untuk mengurangi kecepatan arus dan meningkatkan laju pengendapan di bagian hulu struktur. Hal ini dapat menjaga agar elevasi lapisan endapan tidak mengalami penurunan, sehingga struktur bangunan yang berada di bagian hulu sungai seperti jembatan tetap dalam keadaan aman meskipun terjadi penambangan pasir pada sungai.

Sedangkan bendung berfungsi dan bertujuan sebagai peninggi muka air sehingga air dapat disadap dan dialirkan secara gravitasi ke daerah yang membutuhkan. (Dirjen Pengairan DPU : 1986).

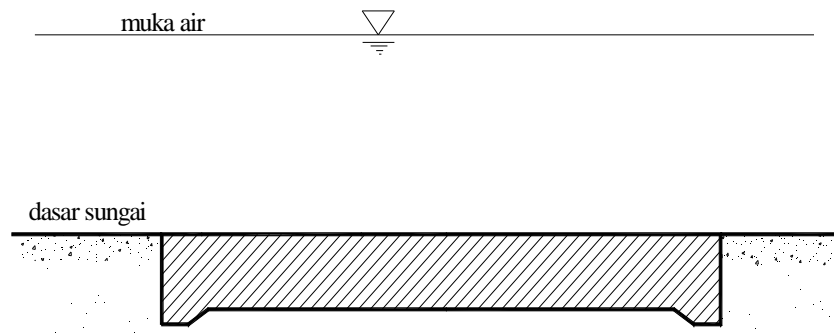


Gambar 1. Bagian-bagian *Groundsill*

Secara umum terdapat dua tipe umum *groundsill* yaitu:

1. *Groundsill* datar (*Bed gingle work*)

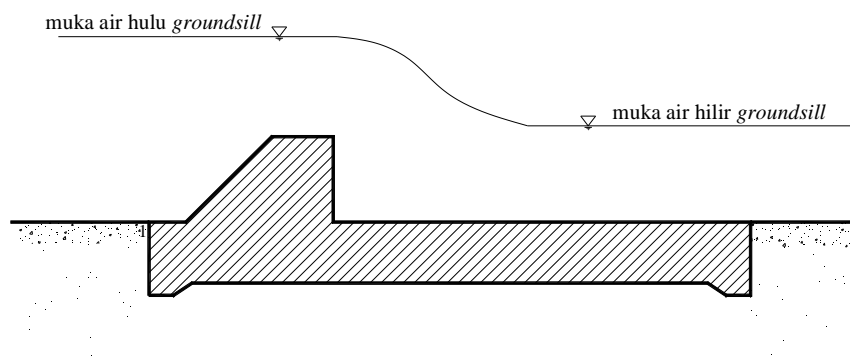
*Groundsill* datar hampir tidak mempunyai terjunan dan elevasi mercunya hampir sama dengan permukaan dasar sungai dan berfungsi untuk menjaga agar permukaan dasar sungai tidak turun lagi.



Gambar 2. *Groundsill* Datar

2. *Groundsill* Pelimpah (*Head work*)

*Groundsill* pelimpah memiliki terjunan sehingga elevasi permukaan dasar sungai disebelah hulu *groundsill* lebih tinggi daripada elevasi permukaan dasar sungai sebelah hilirnya dan tujuannya adalah untuk melandaikan kemiringan dasar sungai.



Gambar 3. *Groundsill* Pelimpah

*Groundsill* pelimpah haruslah direncanakan agar secara hidraulis dapat berfungsi dengan baik antara lain denahnya ditempatkan sedemikian rupa agar porosnya tegak arah arus sungai, khususnya arah arus banjir, denah tersebut yaitu terdiri dari :

- a. Denah tipe tegak lurus, umumnya sudah banyak dibangun pada sungai-sungai guna mencegah penurunan dasar sungai.
- b. Denah tipe diagonal, tipe ini sangat jarang dibuat.
- c. Denah tipe poligonal.
- d. Denah tipe lengkung

Denah tipe poligonal dan denah lengkung hanya untuk kondisi yang khusus saja karena berbagai kelemahannya antara lain *groundsill* menjadi lebih panjang dan limpasan air terpusat di tengah serta harganya pun mahal.

## **B. DAS ( Daerah Aliran Sungai )**

Menurut Triatmodjo (2008), Daerah aliran sungai (DAS) adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggung gunung atau pegunungan dimana air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai pada suatu titik/stasiun tertentu. Daerah aliran sungai dapat ditentukan dengan menggunakan peta topografi skala 1:50.000 yang dilengkapi dengan garis-garis kontur. Garis-garis kontur tersebut dipelajari untuk menentukan arah dari limpasan permukaan. Limpasan permukaan berasal dari titik-titik tertinggi dan bergerak menuju titik-titik yang lebih rendah. Luas DAS dapat dihitung dengan metode elips, dimana As

yang pendek sekurang-kurangnya 2/3 dari  $L_1$  panjang. Luas daerah aliran sungai dengan metode elips ditentukan dengan rumus :

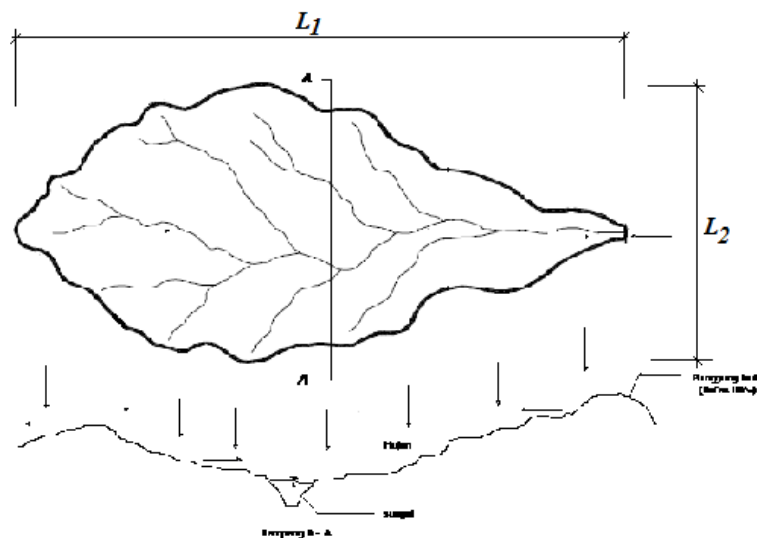
$$F = \frac{1}{4} \times \pi \times L_1 \times L_2 \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

$F$  = luas daerah aliran sungai ( $\text{km}^2$ )

$L_1$  = sumbu terpanjang (km)

$L_2$  = sumbu terpendek (km)



Gambar 4. Daerah Aliran Sungai (DAS)

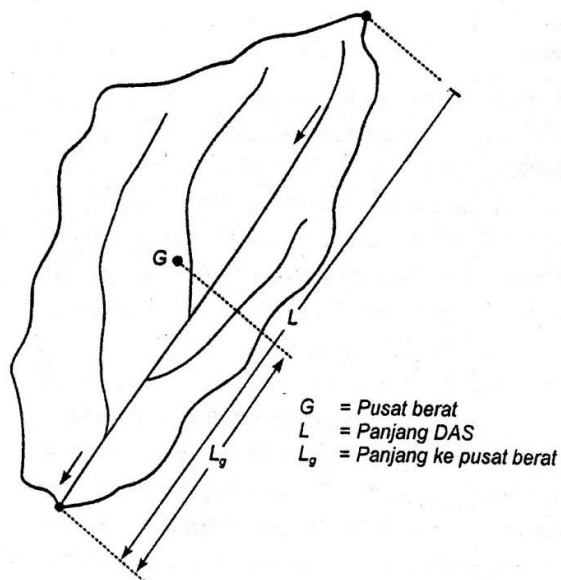
Dari Gambar 2. di atas dijelaskan bahwa  $L_1$  adalah sumbu terpanjang yaitu panjang sungai yang diukur pada peta. Panjang sungai ini diukur dari bendung yang ditinjau sampai hulu sungai. Sedangkan  $L_2$  adalah sumbu terpendek yang panjangnya kurang dari 2/3  $L_1$ .

### C. Panjang Sungai

Panjang sungai diukur pada peta. Dalam memperkirakan suatu segmen sungai disarankan untuk mengukurnya beberapa kali dan kemudian dihitung

panjang reratanya. Panjang sungai adalah panjang yang diukur sepanjang sungai, dari stasiun yang ditinjau atau muara sungai sampai ujung hulunya. Sungai utama adalah sungai terbesar pada daerah tangkapan dan yang membawa aliran menuju muara sungai.

Pengukuran panjang sungai dan panjang DAS sangat penting dalam menganalisis aliran limpasan dan debit aliran sungai. Panjang DAS  $L$  adalah panjang sungai utama dari stasiun yang ditinjau ke titik terjauh dari batas DAS. Panjang pusat berat  $L_g$  adalah panjang sungai yang diukur dari stasiun yang ditinjau sampai titik terdekat dengan titik berat daerah aliran sungai. Pusat berat DAS adalah pusat berat titik perpotongan dari dua atau lebih garis lurus yang membagi DAS menjadi dua yang kira-kira sama besar. Gambar 2. menunjukkan panjang sungai (Bambang Triatmodjo: 2008).



Gambar 5. Panjang Sungai

#### D. Intensitas Curah Hujan

Menurut Joesron (1987), intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu. Analisa intensitas curah hujan dapat diproses dari data curah hujan yang terjadi pada masa lampau. Intensitas curah hujan ini sangat penting untuk perencanaan seperti debit banjir rencana. Dari analisa melalui grafik alat ukur hujan otomatis akan dihasilkan data intensitas hujan. Seandainya data curah hujan yang ada hanya curah hujan harian maka oleh Dr. Mononobe yang dikutip oleh Joesron (1987) dirumuskan intensitas curah hujan sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

$I$  = Intensitas Curah Hujan (mm/jam)

$t$  = Lamanya Curah Hujan (jam)

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

##### 1. Perkiraan Hidrograf Larian Secara Empiris

Menurut Joesron (1987), salah satu masalah penting dalam analisa hidrologi adalah perkiraan hidrograp larian untuk suatu daerah aliran jika diketahui hujan dan kondisi hidrologinya. Hidrograp larian biasanya digambarkan oleh hubungan antara debit aliran (m<sup>3</sup>/det) dan waktu kejadiannya.

Ada tiga cara yang berbeda dalam menentukan tinggi curah hujan rerata daerah dari pengamatan curah hujan dibeberapa titik stasiun penakar atau pencatat adalah sebagai berikut (Triatmodjo: 2008) :

a. Metode *Arithmatik Mean*

Menurut Joesron (1987), metode *arithmatik mean* dipakai pada daerah yang datar dan mempunyai banyak stasiun curah hujan, dengan anggapan bahwa di daerah tersebut sifat curah hujannya adalah *uniform*. Cara perhitungan metode *arithmatik mean* menurut Sosrodarsono (2003) adalah sebagai berikut :

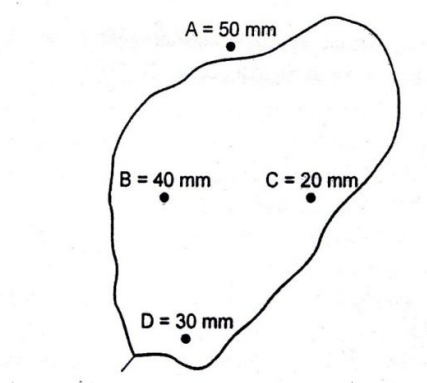
$$\bar{R} = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana :

$\bar{R}$  = curah hujan rata-rata (mm)

$n$  = jumlah stasiun hujan

$R_1, R_2, \dots, R_n$  = besarnya curah hujan pada masing-masing stasiun hujan (mm)



Gambar 6. Stasiun Hujan (Triatmodjo: 2003)

b. Metode Thiessen

Menurut Hadisusanto (2010), perhitungan hujan rata-rata metode Thiessen dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- 1) Menghubungkan masing-masing stasiun hujan dengan garis poligon.

- 2) Membuat garis berat antara 2 stasiun hujan hingga bertemu dengan garis berat lainnya pada suatu titik dalam poligon.
- 3) Luas area yang mewakili masing-masing stasiun hujan dibatasi oleh garis berat pada poligon.
- 4) Luas sub-area masing-masing stasiun hujan dipakai sebagai faktor pemberat dalam menghitung hujan rata-rata.

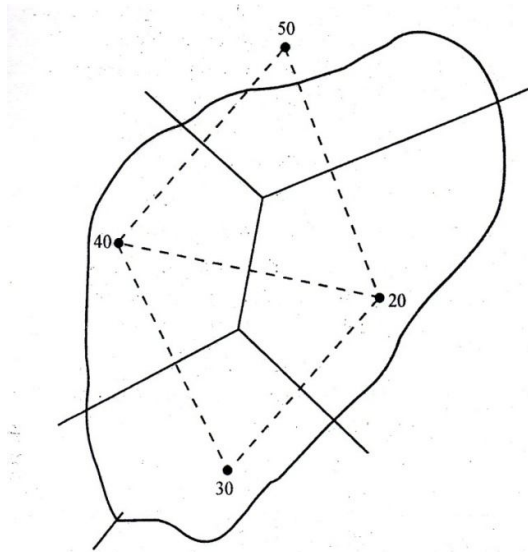
Perhitungan hujan rata-rata metode Thiessen menurut Sosrodarsono (2003) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \bar{R} &= \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \\
 &= \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A} \\
 &= W_1 R_1 + W_2 R_2 + \dots + W_n R_n \dots\dots\dots(2.4)
 \end{aligned}$$

dimana :

$$\begin{aligned}
 \bar{R} &= \text{rata-rata curah hujan (mm)} \\
 R_1, R_2, \dots, R_n &= \text{curah hujan di masing-masing stasiun dan } n \\
 &\quad \text{adalah jumlah stasiun hujan} \\
 A &= A_1 + A_2 + \dots + A_n \text{ (km}^2\text{)} \\
 A_1, A_2, \dots, A_n &= \text{luas sub-area yang mewakili masing-masing} \\
 &\quad \text{stasiun hujan (km}^2\text{)} \\
 W_1, W_2, \dots, W_n &= \frac{A_1}{A}, \frac{A_2}{A}, \dots, \frac{A_n}{A}
 \end{aligned}$$





Gambar 7. Poligon Thiessen (Triatmodjo:2003)

#### c. Metode Isohiet

Menurut Triatmodjo (2003), Isohiet adalah garis kontur yang menghubungkan tempat-tempat yang mempunyai jumlah hujan yang sama. Perhitungan hujan rata-rata metode Isohiet dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- 1) Lokasi stasiun hujan dan curah hujan pada peta daerah yang ditinjau.
- 2) Dari nilai curah hujan, stasiun curah hujan yang berdekatan dibuat interpolasi dengan pertambahan nilai yang ditetapkan.
- 3) Dibuat kurva yang menghubungkan titik-titik interpolasi yang mempunyai curah hujan yang sama. Ketelitian tergantung pada pembuatan garis isohiet dan intervalnya.
- 4) Diukur luas daerah antara dua isohiet yang berurutan dan kemudian dikalikan dengan nilai rerata dari kedua garis isohiet.

- 5) Jumlah dari perhitungan pada butir d untuk seluruh garis isohiet dibagi dengan luas daerah yang ditinjau menghasilkan curah hujan rerata daerah tersebut.

Perhitungan hujan rata-rata metode isohiet menurut Triatmodjo (2003) adalah sebagai berikut :

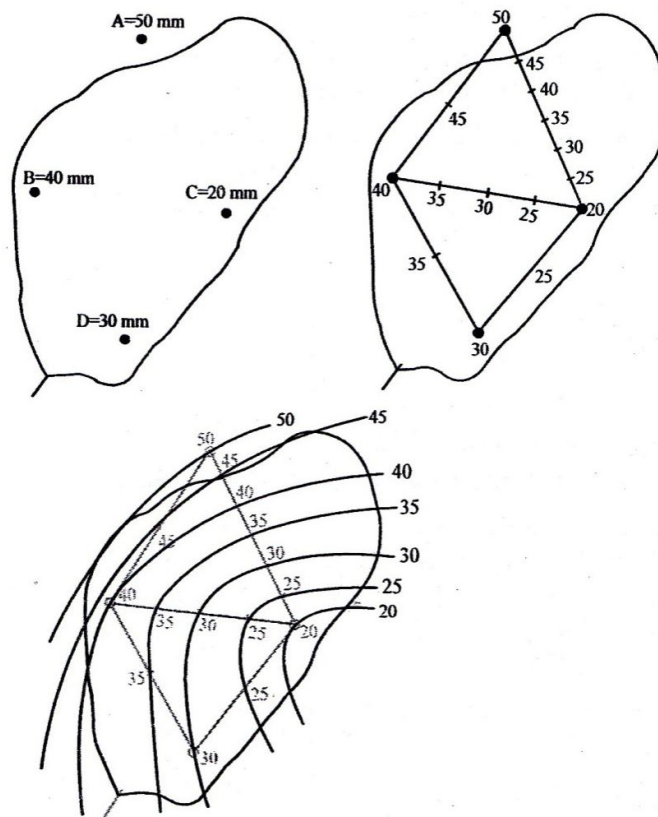
$$\bar{R} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana :

$\bar{R}$  = curah hujan rata-rata (mm)

$I_1, I_2, \dots, I_n$  = garis isohiet ke 1, 2, 3, .....,  $n, n+1$

$A_1, A_2, \dots, A_n$  = luas daerah yang dibatasi oleh garis isohiet ke 1 dan 2, 2 dan 3, .....,  $n$  dan  $n+1$



Gambar 8. Metode isohiet (Triatmodjo : 2003)

## 2. Membangkitkan Data Sintetik

Salah satu masalah yang umum dihadapi oleh para hidrologiwan, termasuk di Indonesia adalah kekurangan data, misalnya dalam analisis peluang, dari suatu banjir ataupun kekeringan, datanya masih sangat terbatas. Dengan hanya menggunakan data dari deret berkala yang rekaman datanya hanya menghasilkan 15 atau 25 buah data debit puncak banjir, maka jelas kurang sesuai untuk memperkirakan debit puncak banjir yang harus meliputi periode ulang 100 tahun.

Dengan keadaan data yang sangat terbatas, maka diperlukan cara untuk memperoleh rekaman data yang lebih banyak jumlahnya. Dengan menerapkan

cara membangkitkan (*generating techniques*), (ada pula yang menyebut cara menangkarkan) maka akan diperoleh data deret berkala buatan (*artificially generating time series*). Ada pula yang menyebut data sintetik (*synthetic data generating*). Agar jangan dicampur adukkan dengan istilah data simulasi (*simulated data*), yaitu data keluaran sebuah perhitungan model, meskipun data sintetik dapat sebagai data masukan model.

Maksud dari mendapatkan deret berkala buatan adalah untuk memperpanjang rekaman data sehingga mempunyai beberapa alternatif dalam hal analisis teknis maupun ekonomis dari suatu proyek sumber daya air. Pada dasarnya deret berkala buatan dapat dianggap sebagai sampel dari suatu populasi. Dalam hal ini data historis runtut waktu hasil pengamatan lapangan dianggap sebagai populasi.

Sembarang deret berkala dapat mengandung beberapa unsur, yaitu: trend, periodik, stokastik. Komponen trend dan periodik mempunyai sifat pasti (*deterministic*), oleh karena tidak tergantung waktu. Komponen stokastik (*stochastic*) mempunyai sifat stasioner dan tergantung waktu. Mempunyai sifat stasioner berarti sifat statistik dari sampel tidak berbeda dengan sifat statistik populasinya. Unsur stokastik dapat mengandung unsur acak dan korelasi / dapat pula tidak. Mengandung unsur korelasi berarti tiap nilai dalam deret berkala dipengaruhi oleh nilai yang terjadi sebelumnya. Misalnya debit sungai disuatu pos duga air yang terjadi hari ini besarnya dipengaruhi oleh debit yang terjadi kemarin dan mungkin dipengaruhi oleh debit yang terjadi hari-hari sebelumnya. Oleh

karena itu, pada unsur stokastik, unsur acak dan korelasi harus dipisahkan dan dinilai.

Metode stokastik yang digunakan dalam membangkitkan deret berkala buatan atas dasar pertambahan waktu tahunan. Banyak metode yang dapat digunakan, akan tetapi hanya akan disajikan 2 (dua) metode, yaitu :

- a. Penggunaan tabel bilangan acak
- b. Penggunaan proses markov

Perhitungan dalam penggunaan kedua metode tersebut dapat dengan kalkulator, tanpa harus dengan program komputer, sedangkan metode lainnya perlu menggunakan program komputer.

Perbedaan anggapan dalam menggunakan kedua methodes tersebut adalah :

- 1) Penggunaan tabel bilangan acak, berarti bahwa tiap nilai dalam rangkaian deret berkala buatan tidak tergantung nilai sebelumnya. Oleh karena itu sampel yang diperoleh mempunyai sifat acak. Disarankan untuk digunakan dalam membangkitkan deret berkala buatan dari data yang nilainya terbesar atau terkecil, misal debit puncak banjir terbesar atau debit minimum terkecil.
- 2) Proses markov merupakan suatu proses dimana setiap peristiwa hanya tergantung pada kejadian yang mendahuluinya. Penggunaan proses Markov mempunyai arti bahwa tiap nilai dalam rangkaian deret berkala buatan tergantung secara langsung dengan nilai yang terjadi sebelumnya.

Deret berkala dari rangkaian data dengan pertambahan waktu tahunan dapat dipandang sebagai rangkaian data dari suatu variabel bebas atau dapat pula dipandang sebagai rangkaian data stokastik, oleh karena itu untuk membangkitkan

data deret berkala buatan data tahunan misal volume aliran tahunan, debit puncak banjir tahunan, dapat menggunakan tabel bilangan acak atau proses Markov.

Rangkaian data deret berkala dengan pertambahan waktu bulanan tidak dapat dipandang sebagai variabel bebas, misal, debit bulan ini, besarnya sangat tergantung dari debit bulan yang lalu, bahkan mungkin bulan-bulan sebelumnya, oleh karena itu untuk membangkitkan data deret berkala buatan data bulanan sebaiknya digunakan proses Markov, tidak dengan tabel bilangan acak.

## E. Debit Banjir Rencana

Banjir rencana menunjukkan debit maksimum di sebuah sungai atau saluran alam dengan periode ulang rata-rata yang sudah ditentukan.

Metode yang dapat dipakai dalam perhitungan debit banjir rencana adalah sebagai berikut:

### 1. Metode Weduwen

Menurut Joesron (1987), rumus untuk menentukan besar debit banjir metode Weduwen adalah:

$$Q_n = M_n \times q' \times F \times \frac{R_{70}}{240} \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana:

- $Q_n$  = debit maksimum untuk periode ulang n tahun (m<sup>3</sup>/det)
- $M_n$  = koefisien tergantung dari periode yang ditetapkan sebagai periode ulang (Tabel 1. Harga pengaliran maksimum daerah luasan 0-100 km<sup>2</sup>)
- $q'$  =  $\alpha.\beta.q$  = banyaknya air yang mengalir dalam m<sup>3</sup>/det tiap km<sup>2</sup>, pada curah hujan sehari semalam sebesar 240 mm (Gambar 9. Grafik harga pengaliran maksimum daerah luasan 0-100 km<sup>2</sup>)
- $F$  = luas elips (km<sup>2</sup>)

$R_{70}$  = curah hujan maksimum selama 70 tahun

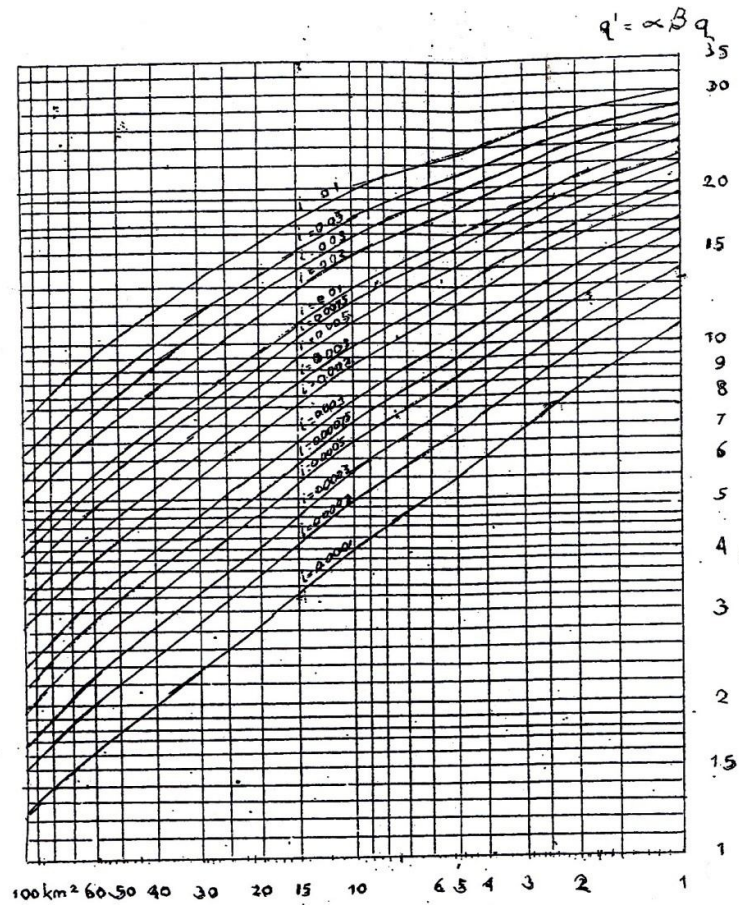
Untuk menentukan harga  $M_n$  dapat diperoleh dari Tabel 1. berikut.

Tabel 1. Harga Pengaliran Maksimum Daerah Luasan 0-100km<sup>2</sup>  
(Rachmadi Wiradinata: 1972)

	n	$M_n$
$Q_n$ n = indeks untuk	1/5 Tahun	0,238
	1/4 Tahun	0,262
	1/3 Tahun	0,291
	1/2 Tahun	0,336
	1 Tahun	0,410
	2 Tahun	0,492
	3 Tahun	0,541
	4 Tahun	0,579
	5 Tahun	0,602
	10 Tahun	0,705
	20 Tahun	0,811
	30 Tahun	0,875
	40 Tahun	0,915
	50 Tahun	0,948
	60 Tahun	0,975
	70 Tahun	1,00
	80 Tahun	1,02
	90 Tahun	1,03
	100 Tahun	1,05

Besarnya  $q^f$  dapat dicari dengan luas elips dan kemiringan menggunakan

Gambar 9. sebagai berikut.



Gambar 9. Grafik Harga Pengaliran Maksimum Daerah Luasan 0-100 km<sup>2</sup>  
(Rachmadi Wiradinata: 1972)

Untuk  $R_{70}$  dapat dicari dengan rumus:

$$R_{70} = \frac{R_I}{M_n} \text{ atau } \frac{E/e^{R_{II}}}{M_n} \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana:

$R_{70}$  = curah hujan maksimum selama 70 tahun

$R_I$  = curah hujan maksimal pertama

$R_{II}$  = curah hujan maksimal kedua

$M_n$  = koefisien tergantung dari periode yang ditetapkan sebagai periode ulang.



## 2. Metode Hasper

Menurut Joesron (1987), rumus untuk menentukan debit banjir dengan metode Hasper adalah:

$$Q_n = \alpha \cdot \beta \cdot q \cdot F \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana:

$Q_n$  = debit maksimum untuk periode ulang n tahun ( $m^3/det$ )

$\alpha$  = koefisien pengaliran

$\beta$  = koefisien reduksi

$q$  = hujan maksimum ( $m^3/det/km^2$ )

$F$  = luas elips ( $km^2$ )

Untuk koefisien pengaliran ( $\alpha$ ) dalam metode Hasper memberikan rumus:

$$\alpha = \frac{1 + 0,012 \cdot F^{0,7}}{1 + 0,075 \cdot F^{0,7}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Hasper juga menetapkan koefisien reduksi ( $\beta$ ) dengan persamaan:

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3,7 \times 10^{0,4t}}{t^2 + 15} \times \frac{F^{3/4}}{12} \dots\dots\dots (2.10)$$

Mengenai waktu konsentrasi ( $t$ ) Hasper menyatakan bahwa waktu konsentrasi adalah fungsi dari panjang sungai dan kemiringan:

$$t = 0,1 \times L^{0,8} \times i^{-0,3} \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana :

$t$  = waktu konsentrasi (jam)

$L$  = panjang sungai utama (km)

$i$  = kemiringan dasar sungai

$$i = \frac{\Delta H}{0,9 L} \dots\dots\dots (2.12)$$

$\Delta H$  = beda tinggi sungai dari titik terjauh sampai titik pengamatan (m)

Untuk hujan maksimum ( $q$ ) dengan menggunakan persamaan:

$$q = \frac{R_t}{2,6 \times t} \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana :

$q$  = hujan maksimum ( $m^3/det/km^2$ )

$R_t$  = hujan selama  $t$  jam (mm)

$t$  = waktu konsentrasi (jam)

Hujan selama  $t$  jam ( $R_t$ ) dapat dicari dengan rumus:

untuk  $t < 2$  jam

$$R_t = \frac{t \cdot R_n}{t+1-0,0008(260-R_n) \times (2-t)^2} \dots\dots\dots (2.14)$$

Untuk  $2 \text{ jam} < t < 19 \text{ jam}$

$$R_t = \frac{t \cdot R_n}{t+1} \dots\dots\dots (2.15)$$

Untuk  $19 \text{ jam} < t < 30 \text{ jam}$

$$R_t = 0,707 R_n (t+1)^{1/2} \dots\dots\dots (2.16)$$

dengan  $R_n$  adalah curah hujan maksimum periode ulang  $n$  tahun (mm) yang

diperoleh dari persamaan-persamaan berikut:

$$R_n = \overline{R_{24}} + S \cdot \mu \dots\dots\dots (2.17)$$

dimana :

$R_n$  = curah hujan maksimum periode ulang  $n$  tahun (mm)

$\overline{R_{24}}$  = curah hujan rata-rata (mm)

$S$  = standar deviasi

$\mu$  = standar variable, untuk metode Hasper digunakan angka 3,43.

$\overline{R_{24}}$  dapat diperoleh dengan rumus:

$$\overline{R_{24}} = \frac{\sum R_{24}}{n} \dots\dots\dots(2.18)$$

Standar deviasi dapat diperoleh dengan rumus:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{24} - \overline{R_{24}})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.19)$$

### 3. Rumus Bundchu

Debit banjir maksimum dapat pula dihitung dengan melihat keadaan bangunan hasil pengamatan. Dinas pengairan di Indonesia banyak menggunakan rumus “Bundchu”. Menurut Nur Yuwono (1984), Bunchu tetap menganggap bahwa kecepatan di atas ambang terbagi rata.

$$d = \frac{2}{3} H \longrightarrow Q = m \cdot b \cdot d \cdot \sqrt{g \cdot d} \dots\dots\dots(2.20)$$

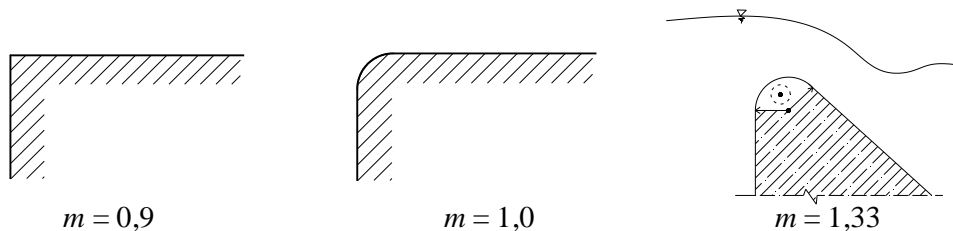
Dengan,

$Q$  = debit (m<sup>3</sup>/det)

$H$  = tinggi peluapan (m)

$g$  = percepatan gravitasi (m/det<sup>2</sup>)

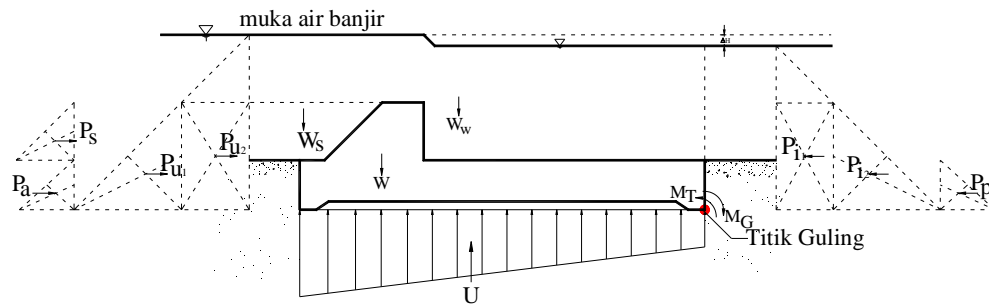
Rumus ini digunakan untuk bermacam-macam bentuk ambang dengan menggunakan harga  $m$  sesuai dengan konstruksi ambangnya. Nilai  $m$  menurut konstruksi ambangnya adalah sebagai berikut



Gambar 10. Koefisien Harga  $m$  pada Rumus Bundchu (Nur Yuwono : 1984)

### F. Perhitungan pada *groundsill*

Gaya-gaya yang bekerja pada bangunan *groundsill* yang dapat mempengaruhi stabilitas bangunan tersebut adalah sebagai berikut :



Gambar 11. Gaya yang Bekerja pada *Groundsill*

dimana,

$\Delta H$  = Beda tinggi muka air di hulu dan hilir (m)

$P_u$  = Tekanan air normal di hulu *groundsill* (m)

$W_w$  = Berat air yang membebani bangunan (KN)

$W$  = Berat bangunan itu sendiri (KN)

$P_i$  = Tekanan air pasif di hilir *groundsill* (KN)

$P_a$  = Tekanan tanah aktif (KN)

$P_p$  = Tekanan tanah pasif (KN)

$U$  = Gaya angkat ke atas / tekanan air dibawah bangunan (*uplift*) (KN)

$P_s$  = Tekanan lumpur (KN)

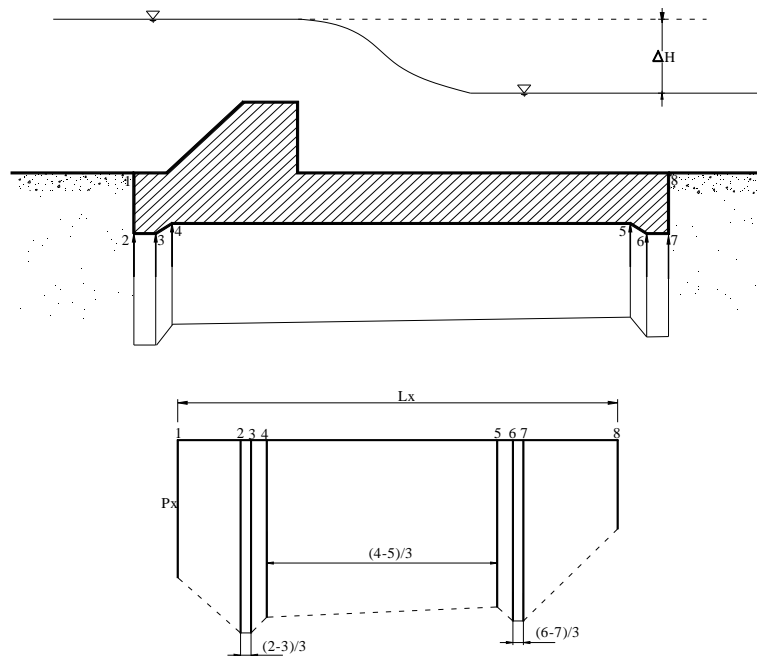
$W_s$  = Berat butir pasir yang membebani bangunan (KN)

$M_T$  = Momen tahan (KN.m)

$M_G$  = Momen guling (KN.m)

#### 1. Tekanan Air (*Uplift*)

Bidang horisontal di dalam teori *Lane* memiliki daya tahan terhadap aliran (rembesan) 3 kali lebih lemah dibandingkan dengan bidang vertikal. Gaya tekan ke atas dapat dihitung dengan cara membagi beda tinggi energi pada *groundsill* sesuai dengan panjang relatif di sepanjang pondasi (Dirjen Pengairan DPU : 1986).



Gambar 12. Gaya Angkat pada Pondasi *Groundsill*

Gaya angkat pada titik x di sepanjang dasar *groundsill* dengan mengacu gaya angkat pada bendung menurut Dirjen Pengairan DPU (1986) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_x = H_x - \frac{L_x}{L} \cdot \Delta H \quad \dots\dots\dots(2.21)$$

Di mana,

$P_x$  : Gaya angkat pada x (kN/m<sup>2</sup>)

$L$  : Panjang total bidang kontak *groundsill* sampai tanah bawah (m)

$L_x$  : Jarak sepanjang bidang kontak dari hulu sampai x (m)

$\Delta H$  : Beda tinggi energi (m)

$H_x$  : Tinggi energi di hulu *groundsill* (m).

## 2. Gaya Hidrostatik

Gaya tekan air atau gaya hidrostatik adalah gaya horizontal akibat air di hulu dan hilir bendung. Tekanan air merupakan fungsi kedalaman di bawah permukaan air, dan bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan (Prastumi: 2008).

$$P_u = \left( \left( \frac{1}{2} \cdot h_u^2 \right) - \left( \frac{1}{2} \cdot h_1^2 \right) \right) \cdot \gamma_w \dots\dots\dots (2.22)$$

$$P_i = \left( \left( \frac{1}{2} \cdot h_i^2 \right) - \left( \frac{1}{2} \cdot h_2^2 \right) \right) \cdot \gamma_w \dots\dots\dots (2.23)$$

Dengan,

$P_u$  : Tekanan air hidrostatik di hulu (KN)

$P_i$  : Tekanan air hidrostatik di hilir (KN)

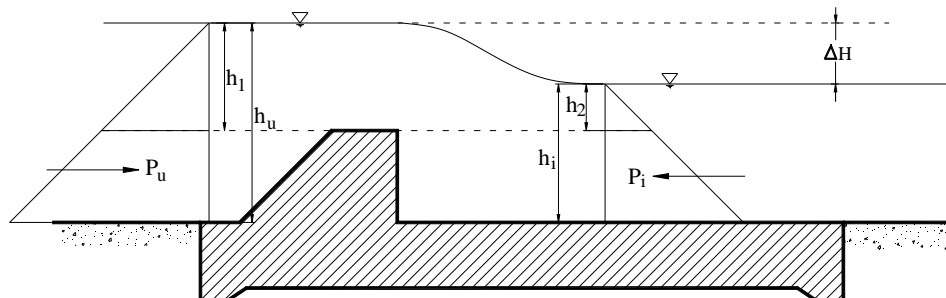
$\gamma_w$  : Berat jenis air (kN/m<sup>3</sup>)

$h_u$  : kedalaman air di hulu (m)

$h_i$  : kedalaman air di hilir (m)

$h_1$  : tinggi air di atas mercu *groundsill* bagian hulu

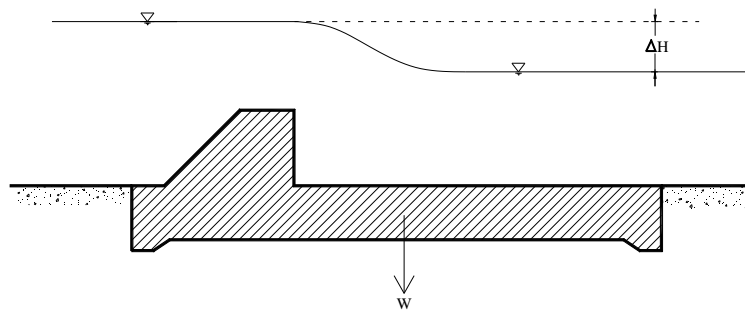
$h_2$  : tinggi air di atas mercu *groundsill* bagian hilir



Gambar 13. Gaya Tekanan Air

### 3. Berat Sendiri *Groundsill*

Hitungan berat sendiri *groundsill* dicari dengan cara membagi penampang bangunan dalam bentuk tertentu menjadi pias-pias sehingga mempermudah dalam proses perhitungan. Hitung gaya yang bekerja yaitu luas penampang dikalikan berat jenis bangunan *groundsill*. Hitung momen gaya-gaya tersebut terhadap suatu titik yaitu perkalian gaya dengan jaraknya. Jumlahkan seluruh gaya-gaya yang bekerja dan momennya dari bagian-bagian yang ditinjau.



Gambar 14. Berat Sendiri *Groundsill*

Berat bangunan bergantung pada bahan yang digunakan untuk membuat bangunan tersebut. Dalam suatu perencanaan berat volume dapat digunakan seperti dalam Tabel 2.

Tabel 2. Berat Jenis Bahan (KP-02 Dirjen Pengairan:1986)

Jenis Bahan	Berat Volume	
	KN/m <sup>3</sup>	kgf/m <sup>3</sup>
Pasangan Batu	22	2200
Beton Tumbuk	23	2300
Beton Bertulang	24	2400

#### 4. Tekanan Tanah.

Tekanan dari samping yang digunakan dalam suatu bangunan dapat dihitung dengan menggunakan cara pemecahan menurut *Rankine* (Dirjen Pengairan DPU : 1986).

Menurut cara pemecahan *Rankine*, tekanan samping aktif dan pasif dapat kita ketahui sebagai berikut:

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma_d \cdot H_1^2 - 2cH_1\sqrt{K_a} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot \gamma_d \cdot H_2^2 + 2cH_2\sqrt{K_p} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \dots\dots\dots(2.26)$$

$$K_p = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \dots\dots\dots(2.27)$$

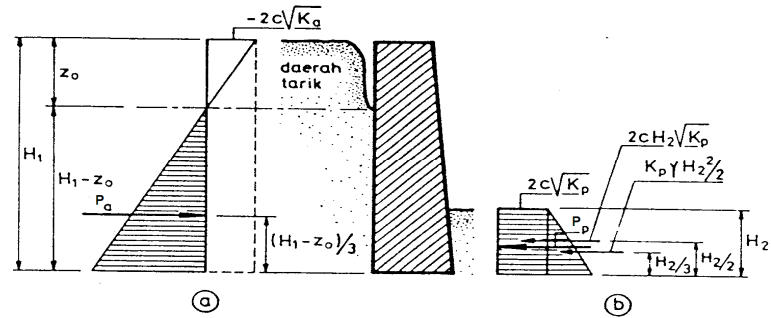
di mana :

- $P_a$  : Tekanan tanah aktif, kN/m
- $P_p$  : Tekanan tanah pasif, kN/m
- $K_a$  : Koefisien tegangan aktif
- $K_p$  : Koefisien tegangan pasif
- $\gamma_b$  : Berat volume tanah, kN/m<sup>3</sup>
- $H_1$  : Tinggi tanah untuk tekanan aktif, m
- $H_2$  : Tinggi tanah untuk tekanan pasif, m
- $c$  : kohesi, kN/m<sup>2</sup>
- $\phi$  : sudut gesek, derajat

Menurut Dirjen Pengairan DPU (1986), berat volume tanah kering diasumsikan 16 kN/m<sup>3</sup>, sedangkan untuk tanah basah adalah 17 kN/m<sup>3</sup>.

Titik tangkap  $P_a$  dan  $P_p$  dapat dilihat pada Gambar 2.15 berikut ini :





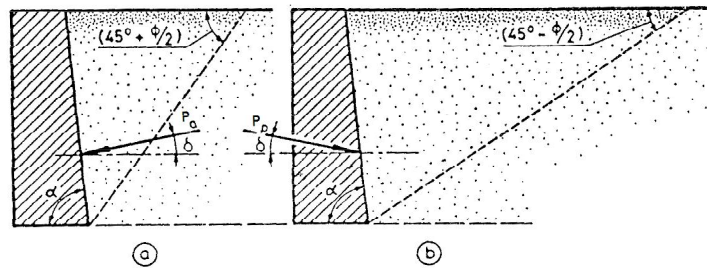
Gambar 15. Tegangan Samping Aktif dan Pasif, Cara Pemecahan Rankine:  
 (a) Aktif, (b) Pasif  $z_o = \frac{2c}{\gamma \sqrt{K_a}}$  (KP-06 Dirjen Pengairan:1986)

Tabel 3. Harga Koefisien Tegangan Aktif  $K_a$  untuk Dinding Miring Kasar dengan Permukaan Tanah Datar/Horisontal. (KP-06 Dirjen Pengairan:1986)

$\alpha$	$\phi$	10°			20°			30°			40°		
		0°	5°	10°	0°	10°	20°	0°	15°	30°	0°	20°	40°
120°	$K_a$	0,40	0,45	0,44	0,27	0,24	0,23	0,13	0,12	0,12	0,06	0,05	0,05
110°		0,58	0,54	0,52	0,35	0,32	0,30	0,20	0,18	0,17	0,11	0,10	0,09
100°		0,65	0,61	0,59	0,42	0,39	0,37	0,26	0,24	0,24	0,16	0,14	0,15
90°		0,70	0,66	0,65	0,49	0,45	0,44	0,33	0,30	0,31	0,22	0,20	0,22
80°		0,72	0,70	0,68	0,54	0,51	0,50	0,40	0,37	0,38	0,29	0,27	0,28
70°		0,73	0,70	0,70	0,57	0,54	0,54	0,46	0,44	0,45	0,35	0,34	0,38
60°		0,72	0,69	0,69	0,60	0,57	0,56	0,50	0,48	0,50	0,42	0,41	0,47

Tabel 4. Harga Koefisien Tegangan Pasif  $K_p$  untuk Dinding Miring Kasar dengan Permukaan Tanah Datar/Horisontal. (KP-06 Dirjen Pengairan:1986)

$\alpha$	$\phi$	10°			20°			30°			40°		
		0°	5°	10°	0°	10°	20°	0°	15°	30°	0°	20°	40°
120°	$K_p$	1,52	1,71	1,91	2,76	3,67	4,51	5,28	9,07	13,5	11,3	28,4	56,6
110°		1,53	1,69	1,83	2,53	3,31	4,04	4,42	7,38	10,8	8,34	19,5	39,0
100°		1,49	1,64	1,77	2,30	2,93	4,53	3,65	5,83	8,43	6,16	13,8	26,6
90°		1,42	1,55	1,66	2,04	2,55	3,04	3,00	4,62	6,56	4,60	9,69	18,2
80°		1,31	1,43	1,52	1,77	2,19	2,57	2,39	3,62	5,02	3,37	6,77	12,3
70°		1,18	1,28	1,35	1,51	1,83	2,13	1,90	2,80	3,80	2,50	4,70	8,22
60°		1,04	1,10	1,17	1,26	1,48	1,72	1,49	2,08	2,79	1,86	3,17	5,43



Gambar 16. Tekanan Aktif (a) dan Pasif (b) Menurut Rankine.  
(KP-06 Dirjen Pengairan:1986)

Arti simbol-simbol yang dipakai dalam Tabel 3. dan 4. serta Gambar 16.

adalah :

- $\alpha$  =kemiringan bagian belakang dinding
- $\delta$  =sudut gesekan antara tanah dan dinding
- $\phi$  =sudut geser dalam.

#### 5. Tekanan Lumpur

Menurut Dirjen Pengairan DPU dalam KP-06 (1986), tekanan lumpur yang bekerja terhadap muka hulu *groundsill* dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_s = \frac{\gamma_s \cdot h^2}{2} \cdot \left( \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right) \dots \dots \dots (2.28)$$

di mana:

- $P_s$  = gaya yang terletak pada 2/3 kedalaman dari atas lumpur yang bekerja secara horisontal
- $\gamma_s$  = berat jenis lumpur, kN/m<sup>3</sup>
- $h$  = dalamnya lumpur, m
- $\phi$  = sudut gesekan, derajat.

Beberapa anggapan dapat dibuat seperti berikut :

$$\gamma_s = \gamma_s' \left( \frac{G-1}{G} \right) \dots\dots\dots (2.29)$$

di mana:

$$\gamma_s' = \text{berat volume kering tanah} \cong 16 \text{ kN/m}^3 (= 1600 \text{ kfg/m}^3)$$

$$G = \text{berat jenis butir} = 2,65 \text{ KN/m}$$

$$\text{menghasilkan } \gamma_s = 10 \text{ kN/m}^3 (= 1000 \text{ kgf/m}^3)$$

Sudut gesekan dalam, yang bisa diandaikan  $30^\circ$  untuk kebanyakan hal,

menghasilkan :

$$P_s = 1,67 h^2 \dots\dots\dots (2.30)$$

## 6. Gaya Gempa

Gaya gempa ditentukan oleh berat konstruksi *groundsill* dan juga ditentukan oleh koefisien gempa dapat juga dikatakan bahwa harga gaya gempa diberikan dalam parameter bangunan, didasarkan pada peta Indonesia yang menunjukkan berbagai resiko. Faktor minimum yang akan dipertimbangkan adalah 0,1 g percepatan gravitasi sebagai harga percepatan. Dengan cara mengalikan massa bangunan sebagai gaya horisontal menuju arah paling tidak aman (arah hilir) sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$a_d = n (a_c * z)^m \dots\dots\dots (2.31)$$

$$E = \frac{a_d}{g} \dots\dots\dots (2.32)$$

di mana :

$$a_d = \text{percepatan gempa rencana, cm/dt}^2$$

$$n, m = \text{koefisien untuk jenis tanah (lihat Tabel 5.)}$$

$a_c$  = percepatan kejut dasar,  $\text{cm/dt}^2$  (untuk harga per periode ulang lihat Tabel 6.).

$E$  = koefisien gempa

$g$  = percepatan gravitasi,  $980,665 \text{ cm/dt}^2 (\cong 980)$

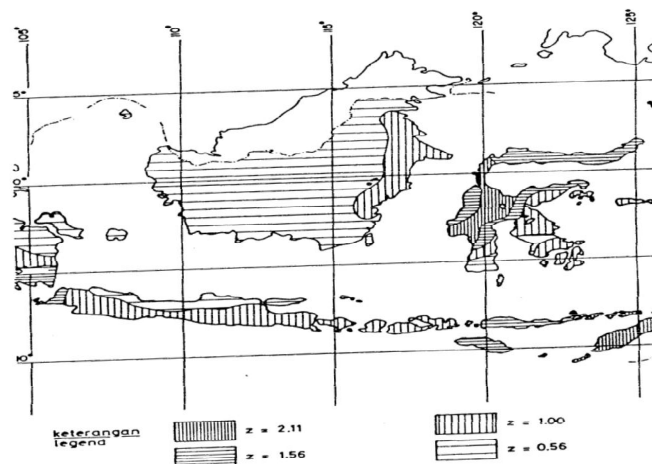
$Z$  = faktor yang bergantung kepada letak geografis (Koefisien Zona lihat Gambar 17.).

Tabel 5. Koefisien Jenis Tanah(KP-06 Dirjen Pengairan: 1986)

jenis	n	m
Batu	2,76	0,71
Diluvium	0,87	1,05
Aluvium	1,56	0,89
Aluvium lunak	0,29	1,32

Tabel 6. Periode Ulang dan Percepatan Dasar Gempa  $a_c$   
(KP-06 Dirjen Pengairan: 1986)

Periode ulang *) Tahun	$a_c$ *) ( $\text{gal} = \text{cm/dt}^2$ )
20	85
100	160
500	225
1000	275



Gambar 17. Koefisien Zona Gempa di Indonesia (Dirjen Pengairan KP-06: 1986 )

Faktor gempa E yang dicari dari rumus dan peta di atas dipakai dalam perhitungan stabilitas di mana faktor itu harus dikalikan dengan berat sendiri bangunan dan dipakai sebagai gaya horisontal.

## 7. Perhitungan Eksentrisitas

Eksentrisitas yang terjadi pada *groundsill* dapat menimbulkan penggulingan dan pergeseran. Oleh karena itu, dalam perencanaan *groundsill* perlu adanya kontrol eksentrisitas titik berat bangunan *groundsill*. Menurut Suryolelono (1994) digunakan rumus:

$$e = \left( \frac{\Sigma M}{\Sigma V} \right) - \frac{B}{2} < \frac{1}{6} B \dots\dots\dots(2.33)$$

$$\Sigma M = \Sigma M_T - \Sigma M_G \dots\dots\dots(2.34)$$

Dengan,

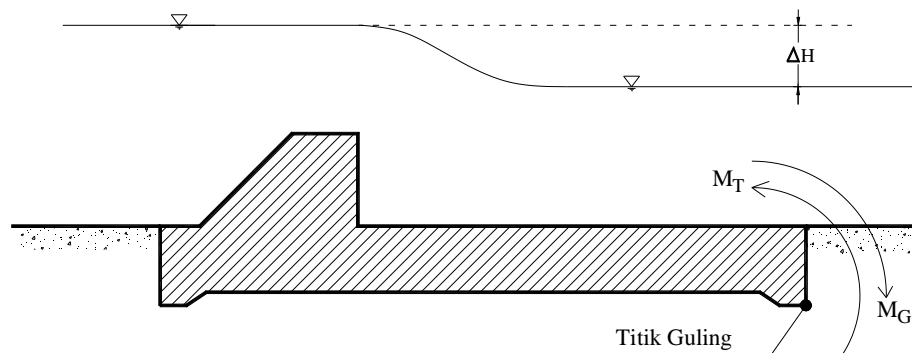
- $e$  : Besarnya eksentrisitas konstruksi (m)
- $B$  : Panjang konstruksi (m)
- $M_T$  : Momen tahan (kN.m)
- $M_G$  : *Momen guling (kN.m)*
- $\Sigma V$  : Jumlah gaya vertikal (kN)

## G. Stabilitas *Groundsill*

Dalam perhitungan stabilitas *groundsill*, perlu adanya kontrol-kontrol sebagai berikut.

### 1. Kontrol Terhadap Bahaya Guling

Agar stabilitas bangunan baik, maka bangunan harus aman terhadap guling. Resultante semua gaya yang bekerja pada bagian bangunan di atas bidang horisontal, termasuk gaya angkat, harus memotong bidang pada teras. Tidak ada tarikan pada bidang irisan manapun (Dirjen Pengairan DPU : 1986).



Gambar 18. Stabilitas Terhadap Guling

Besarnya tegangan pada bangunan dan pondasi harus tetap dipertahankan pada harga-harga maksimal yang dianjurkan. Untuk pondasi harga-harga daya dukung yang disebutkan dalam Tabel 7. berikut ini.

Tabel 7. Harga Perkiraan Daya Dukung yang diizinkan  
(KP-02 Dirjen Pengairan; 1986).

Jenis	daya dukung	
	kN/m <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>
1. Batu sangat keras	10,000	100
2. Batu kapur / batu pasir keras	4,000	40
3. Kerikil berkerapatan sedang atau pasir dan kerikil	200 - 600	2-6
4. Pasir berkerapata sedang	100 - 300	1-3
5. Lempung kenyal	150 - 300	1,5-3
6. Lempung teguh	75 - 150	0,75-1,5
7. Lempung lunak dan lumpur	1 < 75	< 0,75

Tekanan tanah lateral yang diakibatkan oleh tanah urug di belakang bangunan, cenderung menggulingkan bangunan tersebut dengan pusat rotasi pada ujung kaki dengan plat pondasi. Momen penggulingan ini dilawan oleh momen akibat berat sendiri bangunan *groundsill* dan momen akibat berat tanah di atas pondasi. (Cristady H : 2002)

## 2. Kontrol Terhadap Bahaya Geser

Gaya terhadap tanah selain menimbulkan terjadinya momen, juga menimbulkan gaya dorong sehingga *groundsill* akan bergeser. Bila *groundsill* dalam keadaan stabil, maka gaya-gaya yang bekerja dalam keadaan seimbang ( $\sum F = 0$  dan  $\sum M = 0$ ). Perlawanan terhadap gaya dorong ini terjadi pada bidang kontak antara dasar bangunan *groundsill* dengan dasar pondasi. Faktor aman terhadap pergeseran dasar pondasi minimum, diambil 1,5.

Bergesernya bangunan *ground sill* disebabkan karena gaya horisontal lebih besar dari gaya-gaya vertikal. Menurut Suyitno HP (1994) digunakan rumus :

$$SF = f \frac{\sum V}{\sum H} > 1,5 \dots \dots \dots (2.35)$$

$$\sum V = \sum W + \sum W_w + \sum W_s + \sum U \dots \dots \dots (2.36)$$

$$\sum H = \sum P_u + \sum P_i + \sum P_a + \sum P_p + \sum P_s + \sum G_p \dots \dots \dots (2.37)$$

Tabel 8. Harga Perkiraan untuk Koefisien Gesek  
(KP-02 Dirjen Pengairan:1986)

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

Besarnya gaya perlawanan adalah  $F = N \cdot f$  dimana  $f$  : koefisien gesek antara dinding beton dan tanah dasar pondasi, sedangkan  $N$  dapat dicari dari keseimbangan gaya-gaya vertikal ( $\sum F_v = 0$ ), maka diperoleh  $N = V$ . Besarnya  $f$ , bila alas pondasi relatif kasar maka  $f = \operatorname{tg} \sigma$  dimana  $\sigma$  merupakan sudut gesek dalam tanah, sebaiknya bila alas pondasi relatif halus permukaannya maka diambil  $f = \operatorname{tg}(2/3 \sigma)$ .

### 3. Kontrol Terhadap Daya Dukung Tanah

Jika tanah mengalami pembebanan, maka tanah tersebut akan mengalami distorsi atau penurunan. Apabila beban ini bertambah terus-menerus, maka penurunan pun bertambah. Akhirnya pada suatu saat terjadi kondisi dimana pada

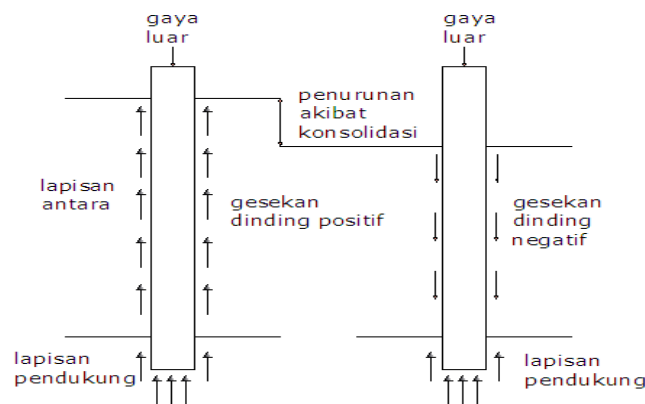


beban tetap, pondasi mengalami penurunan yang sangat besar. Hal seperti ini menunjukkan bahwa keruntuhan kapasitas dukung telah terjadi. Kapasitas dukung tanah didefinisikan sebagai beban maksimum tanah dapat mendukung beban tanpa mengalami keruntuhan. (Christady: 2002).

Terdapat 2 persyaratan yang harus dipenuhi dalam merancang pondasi, yaitu:

- a) Faktor aman terhadap keruntuhan akibat terlampauinya kapasitas dukung tanah yang harus dipenuhi.
- b) Penurunan pondasi harus masih dalam batas-batas toleransi.

Untuk menghitung stabilitas *groundsill* terdapat beberapa persamaan kapasitas dukung tanah yang dapat digunakan, seperti persamaan-persamaan kapasitas dukung Terzaghi, Meyerhof dan Hansen.



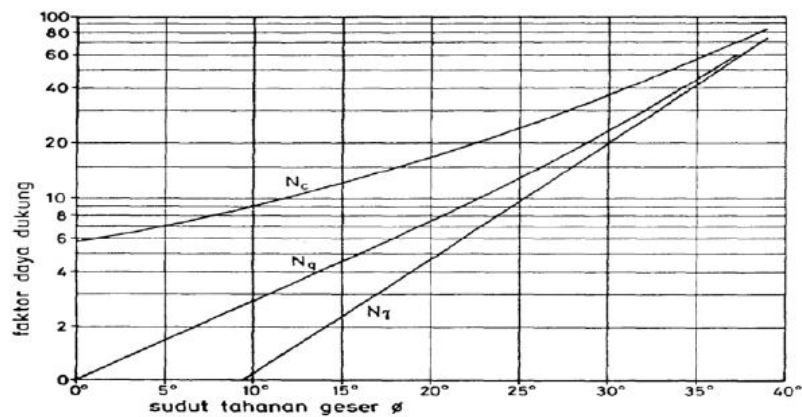
Gambar 19. Tinjauan Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah (Suyono: 2005)

Kapasitas dukung ultimit ( $q_u$ ) untuk pondasi memanjang dinyatakan oleh persamaan :

$$q_u = \alpha \cdot c \cdot N_c + z \cdot \gamma \cdot N_q + \beta \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \quad \dots\dots\dots(2.38)$$

di mana :

$q_u$	= daya dukung batas, $\text{kN/m}^2$
$c$	= kohesi, tegangan kohesif, $\text{kN/m}^2$
$N_c, N_q$ dan $N_\gamma$	= faktor-faktor daya dukung tak berdimensi (Gambar 20.)
$\gamma$	= berat volume tanah, $\text{kN/m}^3$
$B$	= lebar telapak pondasi, m
$\alpha$ dan $\beta$	= faktor tak berdimensi
$z$	= kedalaman pondasi di bawah permukaan, m.



Gambar 20. Faktor Daya Dukung (KP-06 Dirjen Pengairan: 1986)

Tabel 9. Bentuk Telapak Pondasi (KP-06 Dirjen Pengairan: 1986)

Bentuk	$\alpha$	$\beta$
jalur / strip	1,0	0,5
bujur sangkar	1,3	0,4
segi empat (L x B)	$1,09 + 0,21 \text{ B/L}$	0,4
lingkaran (diameter = B)	1,3	0,3

Persamaan Terzaghi untuk menghitung kapasitas dukung tanah hanya berlaku untuk pondasi yang dibebani secara vertikal dan sentries. Kedudukan pondasi konstruksi haruslah pada tanah keras yang dapat mendukung bobot konstruksi diatasnya. Oleh sebab itu perlu diadakan kontrol terhadap daya dukung tanah.

Menurut Suryolelono (1994), jika nilai  $e < \frac{1}{6}B$  maka besarnya kuat dukung yang

terjadi adalah:

$$\sigma_{maks} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) < \sigma \text{ izin (qa)} \dots\dots\dots(2.39)$$

$$\sigma_{min} = \frac{\sum V}{B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right) > 0 \dots\dots\dots(2.40)$$

Sedangkan jika nilai  $e > \frac{1}{6}B$  (biasanya terjadi pada tanah keras), maka rumus

yang berlaku adalah:

$$\sigma_{maks} = \frac{2.V}{3 \cdot \left(\frac{B}{2} - e\right)} < \sigma \text{ izin (qa)} \dots\dots\dots(2.41)$$

Besarnya daya dukung ijin bisa dicari dari :

$$q_a = \frac{q_{un}}{F} \dots\dots\dots(2.42)$$

dengan :

$$q_{un} = q_u - \gamma \cdot z \dots\dots\dots(2.43)$$

- $q_a$  = daya dukung izin, kN/m<sup>2</sup>
- $q_u$  = daya dukung batas, kN/m<sup>2</sup>
- $F$  = faktor keamanan (2 sampai 3)

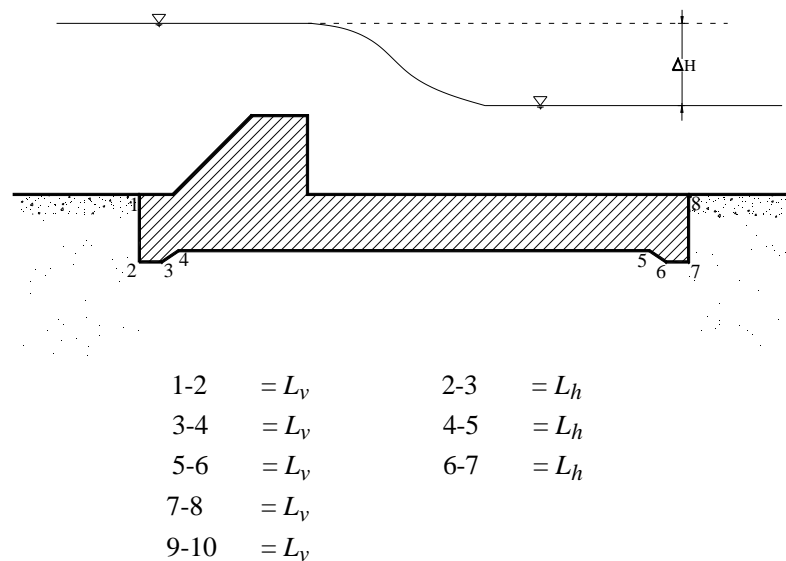
#### 4. Kontrol Terhadap Bahaya Rembesan (*Piping*)

*Piping* merupakan rembesan yang terjadi akibat perbedaan muka air di hulu dengan di hilir sehingga menyebabkan tekanan air dan terangkutnya butir-butir tanah halus. Bahaya dari *piping* adalah dapat mengakibatkan terganggunya stabilitas bendung ataupun *groundsill* (Christady: 2002).

Adanya erosi bawah tanah dapat mengakibatkan terjadinya rongga-rongga di bawah pondasi sehingga dapat menyebabkan pondasi bangunan mengalami

penurunan. Untuk mempermudah pengecekan bangunan-bangunan utama agar dapat mengetahui adanya erosi bawah tanah, metode *Lane* atau yang biasa disebut metode angka rembesan *Lane* dapat digunakan agar memberikan hasil yang aman dan mudah dipakai. Dalam hal ini digunakan rumus:

$$L_w = \frac{\sum L_h}{3} + \sum L_v \dots\dots\dots(2.44)$$



Gambar 21. Titik-titik yang dilalui Rembesan

di mana :

$L_w$  = *weighted-creep-distance* (m)

$L_h$  = jumlah jarak horisontal lintasan (m)

$L_v$  = jumlah jarak vertikal lintasan (m)

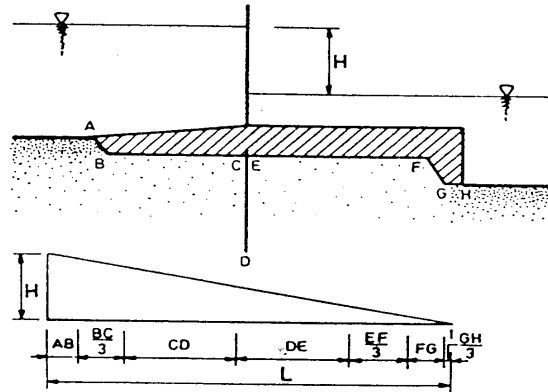
$$WCR = \frac{L_w}{\Delta H} \dots\dots\dots(2.45)$$

dengan :

$WCR$  = *weighted creep ratio*

$\Delta H$  = Beda tinggi muka air antara hulu dan hilir(m)

Lintasan aliran yang melewati struktur dengan sudut kemiringan  $>45^\circ$  diperhitungkan sebagai lintasan vertikal ( $L_v$ ), sedangkan kemiringan lintasan aliran  $\leq 45^\circ$ , diperhitungkan sebagai lintasan horizontal ( $L_h$ ).



Gambar 22. Metode Angka Rembesan *Lane*  
(KP-02 Dirjen Pengairan:1986)

Tabel 10. Harga minimum angka rembesan Lane (KP-02 Dirjen Pengairan:1986)

Pasir sangat halus atau lanau	8,5
Pasir halus	7,0
Pasir sedang	6,0
Pasir kasar	5,0
Kerikil halus	4,0
Kerikil sedang	3,5
Kerikil kasar termasuk berangkal	3,0
Bongkah dengan sedikit berangkal dan kerikil	2,5
Lempung lunak	3,0
Lempung sedang	2,0
Lempung keras	1,8
Lempung sangat keras	1,6

Dalam Standar Perencanaan Irigasi KP-02 (1986), bahwa angka-angka rembesan di Tabel 2.10 tersebut di atas sebaiknya dipakai :

1. 100 % jika tidak dipakai pembuang, tidak dibuat jaringan aliran dan tidak dilakukan penyelidikan dengan model;
2. 80 % kalau ada pembuangan air, tapi tidak ada penyelidikan maupun jaringan aliran;
3. 70 % bila semua bagian tercakup.

### **BAB III**

#### **PELAKSANAAN KAJIAN**

##### **A. Pengumpulan Data**

Pengumpulan data yang dilaksanakan dalam proses penyusunan Proyek Akhir ini menggunakan beberapa metode yaitu dokumentasi, observasi, dan studi literatur.

###### **1. Metode Dokumentasi**

Metode Dokumentasi adalah suatu istilah umum yang mempunyai arti semua bentuk penerimaan data yang telah disimpan dan didokumentasikan. Data yang dibutuhkan adalah data yang digunakan untuk menghitung stabilitas *groundsill*. Metode dokumentasi ini bertujuan untuk mencari data-data yang diperlukan dalam perhitungan, seperti Gambar hasil perencanaan, data tanah, dan data-data lainnya yang diperlukan dalam proses kajian stabilitas *groundsill*.

###### **2. Metode Observasi**

Metode observasi adalah suatu usaha sadar untuk mengumpulkan data yang dilakukan secara sistematis dengan prosedur yang terstandar. Dengan metode ini dapat diperoleh langsung data-data dengan melakukan pencatatan apa yang telah dilihat di lapangan dan memvisualisasikan dan akan lebih baik jika dilengkapi objek dan fotonya.

Penulis melaksanakan observasi dengan mengamati keadaan aliran yang ada di Kali Progo, mengamati keadaan tebing di sekitar bangunan *groundsill*, mencocokkan gambar dengan kondisi di lapangan, mengamati bangunan-bangunan

yang dilindungi dengan pembangunan *groundsill* tersebut, dan menyaksikan penambangan pasir di hulu jembatan Bantar.

### 3. Metode Literatur

Menggunakan buku-buku sebagai referensi yang dapat digunakan sebagai dasar teori, agar menunjang kajian yang dilakukan.

## **B. Data Kajian**

Untuk mencapai hasil yang maksimal diperlukan urutan-urutan yang benar dan sistematis. Penyusunan tahap awal yang harus dilakukan adalah mengumpulkan data yang akan diperlukan, karena dalam proyek akhir ini berupa kajian analisis stabilitas suatu *groundsill*, maka diperlukan beberapa data untuk mendukung penyelesaian proyek akhir ini, seperti :

### 1. Data Gambar *Groundsill*

Gambar *groundsill* merupakan data terpenting yang diperlukan dalam perhitungan stabilitasnya, karena dalam hitungan analisis diperlukan bentuk dan ukuran yang diketahui secara tepat. Data gambar *groundsill* itu sendiri penulis dapatkan dari kontraktor pelaksana pembangunan *groundsill* bantar tersebut, yang berupa *hard file* yang berisi gambar denah *groundsill*, potongan *groundsill*, dan gambar detail-detail lainnya yang kemudian digunakan dalam proses perhitungan dan penulis cantumkan dalam lampiran 26.

## 2. Data Tanah Hasil Pengujian

Data tanah hasil pengujian diperlukan dalam perhitungan stabilitas *groundsill* karena beberapa hitungan seperti tekanan tanah harus menggunakan nilai-nilai angka koefisien dan angka keamanan berdasarkan keadaan tanah dilapangan. Data ini didapatkan melalui proses birokrasi dengan surat permohonan yang diajukan melalui fakultas dan ditunjukkan kepada Balai Besar Wilayah Sungai Serayu-Opak. Data-data tersebut berupa data tanah hasil *boring test*, dan beberapa tes pengujian lain sehingga didapat beberapa kesimpulan nilai berat jenis tanah dan nilai lain yang diperlukan dalam perhitungan stabilitas *groundsill* Bantar. Data yang dibutuhkan tersebut telah tersaji dalam data tanah tersebut dan telah penulis cantumkan dalam lampiran 21, lampiran 22, lampiran 23, dan lampiran 24.

## 3. Data Curah Hujan

Data curah hujan Kali Progo diperlukan untuk menghitung debit banjir rencana. Sebagaimana data tanah, data curah hujan dan DAS didapat dari Balai Besar Wilayah Sungai Serayu-Opak melalui beberapa proses birokrasi. Data curah hujan sendiri berupa tabel berisi intensitas curah hujan di titik pengamatan stasiun hujan di sekitar Kali Progo. Penulis cantumkan data curah hujan yang didapatkan dan digunakan dalam proses perhitungan dalam lampiran 20.

## C. Langkah Analisis Data

Untuk analisis data digunakan rumus-rumus seperti yang telah dituliskan dalam teori. Sedangkan langkah-langkah secara rinci dalam analisis data untuk kontrol stabilitas *groundsill*, adalah sebagai berikut:



1. Menghitung analisis angka rembesan *groundsill* (*Piping*)

Analisis angka rembesan (piping) dihitung dengan cara menghitung  $L_w$  (*Weighted-Creep-distance*) terlebih dahulu dengan menggunakan rumus (2.41), dan kemudian dengan menggunakan rumus no. (2.42) didapatkan nilai rembesannya.

2. Perhitungan gaya angkat air (*Uplift*)

Gaya angkat air dicari pada titik-titik tertentu dengan menggunakan rumus (2.20) agar dapat diketahui bentuk gaya angkat yang dapat dihitung luasannya untuk kemudian dikalikan dengan berat jenis air sehingga diketahui total gaya angkat air yang bekerja.

3. Perhitungan berat bangunan

Berat bangunan dihitung dengan cara membagi bentuk bangunan *groundsill* ke dalam beberapa pias-pias agar memudahkan dalam perhitungan. Kemudian dicari luasan masing-masing pias, dan dikalikan dengan berat jenis bangunan tersebut. Sehingga didapatkan jumlah total berat dari bangunan *groundsill*.

4. Perhitungan berat air yang membebani bangunan

Air di atas bangunan perlu dihitung karena menjadi salah satu faktor yang mendukung stabilitas *groundsill*. Cara perhitungannya yaitu dengan membagi ke dalam beberapa bagian agar mudah dalam menghitung luasnya. Setelah diketahui luasnya kemudian dikalikan dengan berat jenis air sehingga didapat berat air yang membebani bangunan.

5. Perhitungan berat butir pasir

Berat butir pasir dihitung dengan mengalikan luasan dengan berat jenis butir pasir tersebut. Sedangkan berat jenis dari butir pasir tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus (2.28).

6. Perhitungan tekanan air

Tekanan air atau gaya hidrostatik ada dua macam yaitu tekanan di hulu dan di hilir bangunan *ground sill*. Untuk tekanan air di hulu *ground sill* dihitung menggunakan rumus (2.21) sedangkan tekanan di hilirnya dihitung dengan menggunakan rumus (2.22).

7. Perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif

Tekanan tanah aktif adalah tekanan tanah di hulu *ground sill* yang dapat menyebabkan terjadinya gulung dan geser. Untuk tekanan aktif dihitung dengan menggunakan rumus (2.23). Sedangkan tekanan pasif adalah sebaliknya dan dihitung dengan menggunakan rumus (2.24).

8. Perhitungan tekanan butir pasir

Tekanan butir pasir yang bekerja terhadap muka hulu *ground sill* dihitung dengan menggunakan rumus (2.27).

9. Perhitungan gaya gempa akibat struktur

Gaya gempa juga ditentukan oleh berat konstruksi *ground sill* dan koefisien gempa. Besarnya gaya gempa yang terjadi dihitung dengan menggunakan rumus (2.30).

10. Kontrol terhadap penggulingan

Setelah semua gaya yang bekerja pada *groundsill* dihitung dan diketahui, kemudian dianalisis stabilitas terhadap bahaya guling. Bahaya guling dihitung dengan rumus  $SF = \frac{M_T}{M_G}$  dengan nilai SF minimum yang diambil adalah 1,5.

11. Kontrol terhadap pergeseran

Kontrol terhadap pergeseran dihitung dengan menggunakan rumus

$$(2.34), \text{ yaitu } SF = f \frac{\sum V}{\sum H} > 1,5.$$

12. Tinjauan terhadap eksentrisitas

Eksentrisitas dihitung untuk menentukan rumus yang akan digunakan dalam perhitungan daya dukung tanah. Rumus untuk menghitung eksentrisitas yang terjadi adalah rumus (2.32)

13. Tinjauan terhadap daya dukung tanah

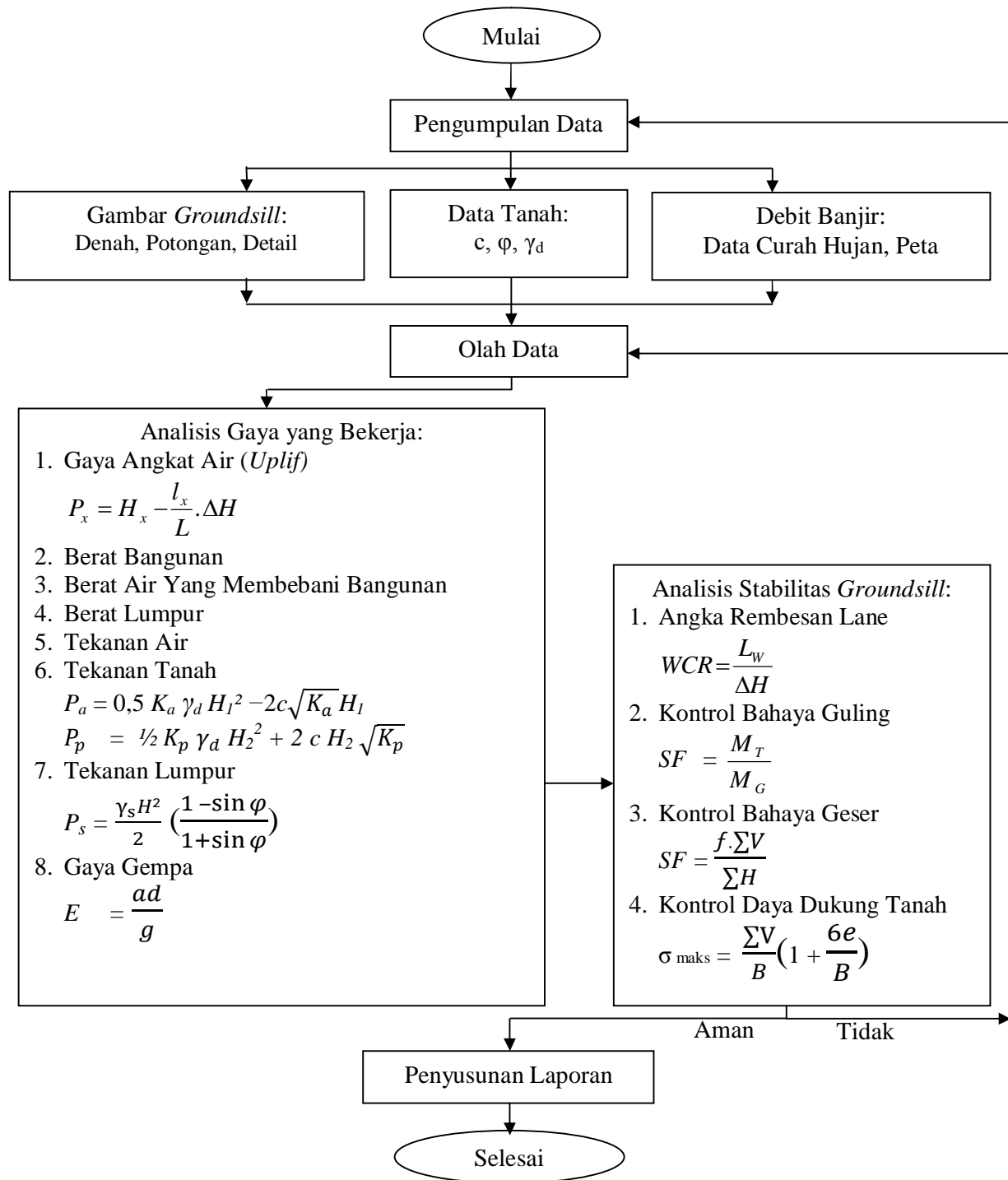
Setelah eksentrisitas diketahui, maka diketahui juga rumus yang harus digunakan untuk menghitung daya dukung tanah pada bangunan *groundsill*.

Rumus untuk menghitung daya dukung tanah menggunakan rumus (2.38)

atau rumus (2.40) tergantung besarnya eksentrisitas yang terjadi apakah  $\leq \frac{1}{6}B$

atau  $> \frac{1}{6}B$ .

#### D. Alur Analisis Data



Gambar 23. *flowchart* Analisis Data

## **BAB IV**

### **HASIL ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

#### **A. Hasil Analisis**

##### **1. Hasil Analisis Banjir Rencana**

Banjir rencana merupakan debit maksimum sebuah sungai ataupun saluran alami dengan periode ulang atau rata-rata. Untuk menghitung debit banjir rencana Kali Progo diperlukan data-data sebagai berikut:

- 1) Panjang sungai pada peta = 99,6 km
- 2) Elevasi sungai tertinggi = + 1650,00 m
- 3) Elevasi sungai terendah = + 47,00 m
- 4) Data curah hujan

Dari data-data tersebut kemudian dihitung luas *cathment area*, serta angka debit banjir dihitung dengan menggunakan metode metode Hasper (hitungan dapat dilihat dalam lampiran) dan dihitung juga debit banjir rencana yang terjadi dengan melihat gambar rencana dan didapat angka debit banjir rencana sebagai berikut.

Tabel 11. Hasil Analisis Debit Banjir Rencana

No.	Metode	Debit Banjir Rencana (Q)	m <sup>3</sup> /det
1	Hasper	Q <sub>50</sub>	358,05
		Q <sub>70</sub>	377,69
		Q <sub>100</sub>	396,57
2	Debit sesuai gambar	Q	1359,11

Untuk perhitungan perencanaan konstruksi digunakan  $Q$  yang terbesar dari perhitungan di atas. Debit yang terpakai adalah debit banjir rencana dari gambar yaitu  $1359,11 \text{ m}^3/\text{det}$ .

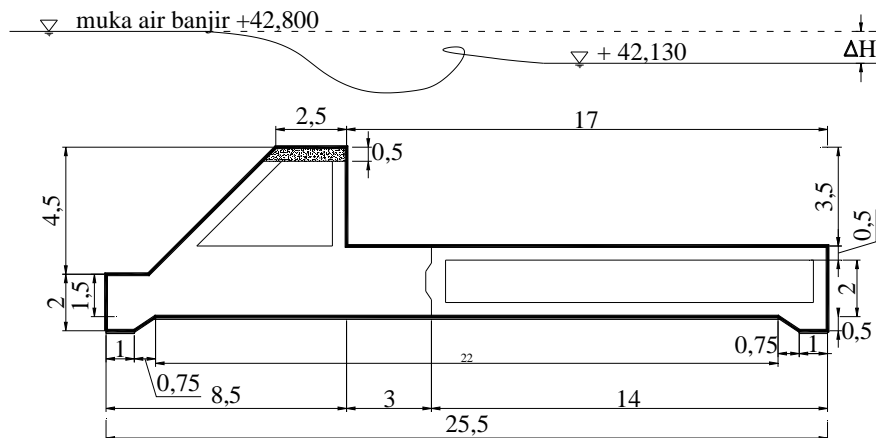
$Q_{100}$  tahun terpakai =  **$1359,11 \text{ m}^3/\text{det}$** .

## 2. Hasil Analisis Angka Rembesan (*Piping*)

Analisis angka rembesan dihitung untuk menyelidiki keamanan struktur *groundsill* dari bahaya *piping* yang akan mengakibatkan tergantungnya stabilitas bangunan tersebut. Cara perhitungannya adalah dengan menggunakan pedoman teori *Lane* (1935).

Data : Muka Air Banjir Hulu = +42,800

Muka Air Banjir Hilir = +42,130



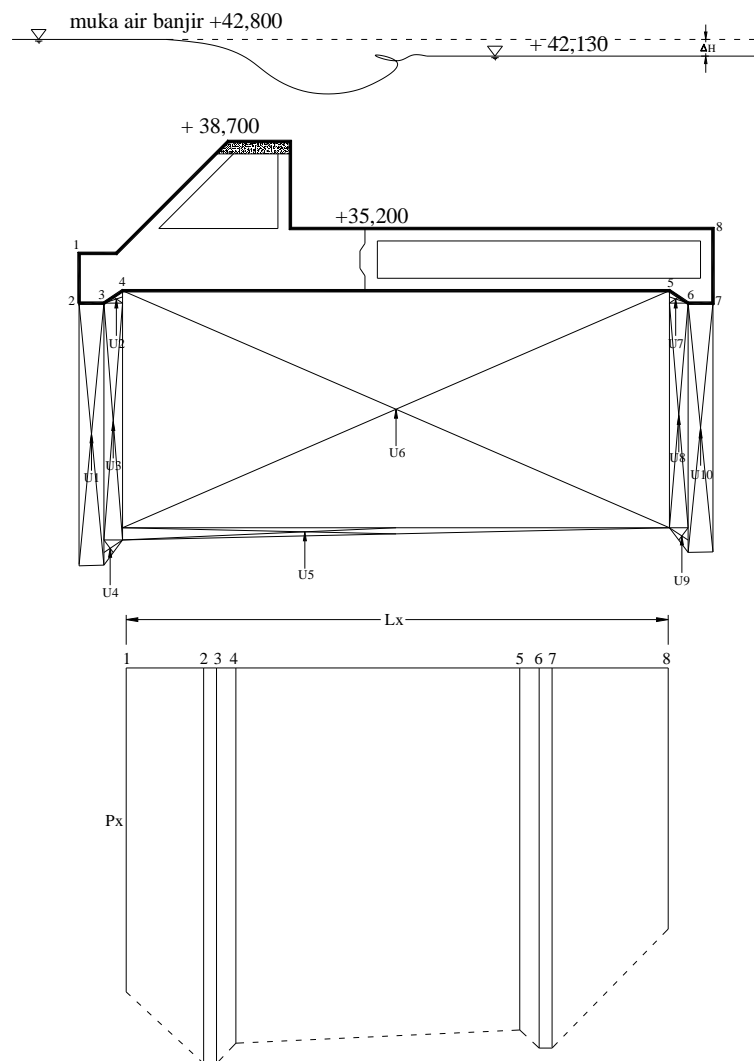
Gambar 24. Detail Ukuran *Groundsill* Bantar

Dari gambar 24. diketahui muka air banjir dan ukuran *groundsill* sehingga dapat dihitung angka rembesan *Lane*. Dari perhitungan dengan menggunakan

rumus (2.44) didapatkan hasil angka  $WCR = 20,1 > 7$  (nilai WCR untuk pasir halus).

### 3. Hasil Analisis Gaya Angkat Air (*Uplift*)

Dengan cara membagi-bagi beda tinggi energi pada *groundsill* sesuai panjang relatif di sepanjang pondasi *groundsill* maka dapat diketahui gaya *uplift* yang bekerja. Cara perhitungan berdasarkan persatuan lebar *groundsill* diambil 1 m lebar tegak lurus bidang gambar.



Gambar 25. Tekanan Angkat (*Uplift*)

Tabel 12. Hasil Analisis Gaya Angkat pada x ( $P_x$ )

No titik	$H_x$ (m)	L (m)	$\Delta H$ (m)	$L_x$ (m)	$P_x$ (m)
titik 1	8,6	30,5	0,67	0,00	8,60
titik 2	10,6	30,5	0,67	2,00	10,60
titik 3	10,6	30,5	0,67	3,00	10,53
titik 4	10,1	30,5	0,67	3,75	10,02
titik 5	10,1	30,5	0,67	25,75	9,53
titik 6	10,6	30,5	0,67	26,50	10,02
titik 7	10,6	30,5	0,67	27,50	10,00
titik 8	7,6	30,5	0,67	30,50	6,93

Tabel 12. di atas menunjukkan hasil perhitungan masing-masing nilai  $H_x$  dari masing-masing titik yang ditinjau. Dari perhitungan menggunakan rumus (2.21) dapat diketahui bahwa nilai  $P_x$  terbesar terletak pada titik 2 yaitu sebesar  $P_x = 10,56$  m.

Setelah  $P_x$  masing-masing titik diketahui kemudian digambar gaya *uplift* pada bangunan *groundsill* sehingga dapat diketahui bentuk gaya dan dapat diketahui besarnya gaya angkat ( $U_x$ ) dan besarnya momen *uplift* yang bekerja pada *groundsill*.

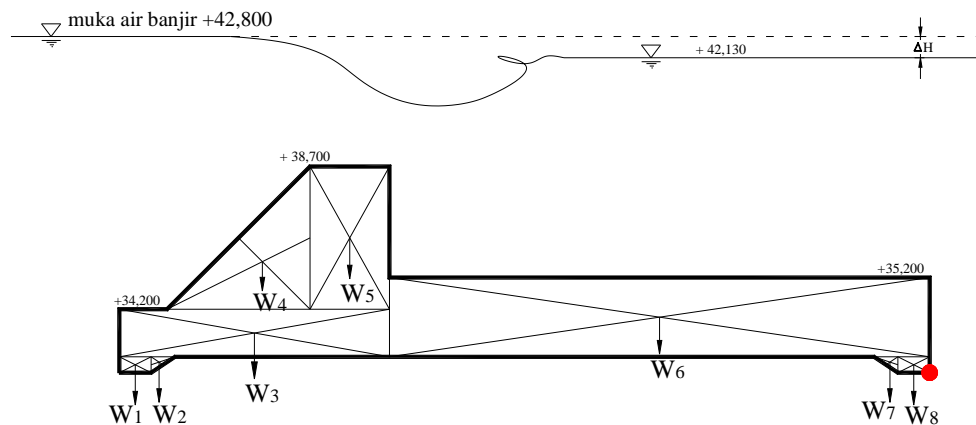
Tabel 13. Hasil Analisis Gaya *Uplift* dan Momen

No. Gaya	Luas (m <sup>2</sup> )	$\gamma_w$ (KN/m <sup>3</sup> )	$U_x$ (KN)	Lengan momen (m)	Momen (KN.m)
U <sub>1</sub>	0,5 x 1 x (10,56+10,53)	10	105,45	25	2636,25
U <sub>2</sub>	0,5 x 0,75 x 0,5	10	1,875	24	45,00
U <sub>3</sub>	0,75 x 9,52	10	71,4	24,125	1722,53
U <sub>4</sub>	0,5 x 0,75 x 1,01	10	3,7875	24,25	91,85
U <sub>5</sub>	0,5 x 0,49 x 22	10	53,9	16,417	884,88
U <sub>6</sub>	9,53 x 22	10	2096,6	12,75	26731,65
U <sub>7</sub>	0,5 x 0,75 x 0,5	10	1,875	1,5	2,81
U <sub>8</sub>	9,03 x 0,75	10	67,725	1,375	93,12
U <sub>9</sub>	0,5 x 0,75 x 0,99	10	3,7125	1,25	4,64
U <sub>10</sub>	0,5 x 1 x (10,00+10,02)	10	100,10	0,5	50,05
$\Sigma U$			2506,43	$\Sigma MU$	32262,77



Tabel 13. menunjukan besarnya nilai  $U_x$  dan momennya. Nilai  $U_x$  didapat dari luas bagian dikalikan dengan  $\tau_w$  dan besar luasan gaya *uplift* paling besar terdapat pada gaya  $U_6$  yaitu  $U_x = 2096,6$  KN. Kemudian nilai momen adalah perkalian dari  $U_x$  dengan lengan momennya terhadap titik guling. Lengan momen terpanjang adalah gaya terjauh dari titik guling yaitu  $U_1$ . Namun karena nilai  $U_x$  terbesar adalah  $U_3$  yang jauh lebih besar dari gaya  $U_x$  yang lain, jadi nilai momen terbesar tetap pada gaya  $U_6$  yaitu  $Mu_6 = 26731,65$  KNm. Total nilai  $U_x$  dapat dilihat jumlahnya adalah  $\Sigma U = 2506,43$  KN dan  $\Sigma MU = 32262,77$  KNm. ↻

#### 4. Hasil Analisis Berat Bangunan



Gambar 26. Tubuh *Groundsill*

Berat bangunan ini tergantung pada bahan atau material yang digunakan dalam pembangunan *groundsill* tersebut. Berat sendiri bangunan dibagi dalam bentuk tertentu dan saya membaginya dalam beberapa pias. Dalam proyek pembangunan *Groundsill* Bantar ini menggunakan material beton bertulang sehingga berat jenisnya adalah  $2,4 \text{ t/m}^3$  sedangkan berat adalah perkalian luas pias dengan berat jenis.

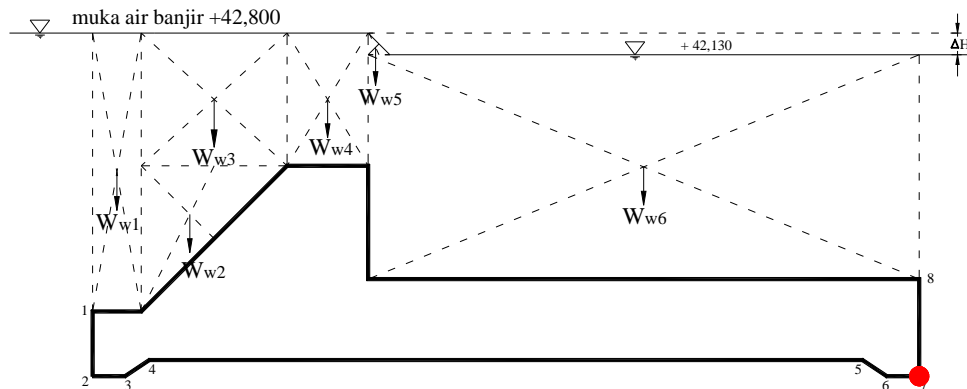
Tabel 14. Hasil Analisis Berat Bangunan dan Momen

No Pias	Luas bagian (m <sup>2</sup> )	$\gamma_{beton}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Berat Tubuh <i>Groundsill</i> (KN)	Lengan Momen Terhadap Titik Guling (m)	Momen (KN.m)
$W_1$	0,500	24	12,00	25,00	300,00
$W_2$	0,188	24	4,50	24,25	109,13
$W_3$	12,750	24	306,00	21,25	6502,50
$W_4$	10,125	24	243,00	21,00	5103,00
$W_5$	11,250	24	270,00	18,25	4927,50
$W_6$	42,500	24	1020,00	8,50	8670,00
$W_7$	0,188	24	4,50	1,25	5,63
$W_8$	0,500	24	12,00	0,50	6,00
$\Sigma W$			1872	$\Sigma MW$	25623,75

Dari Tabel 14. diketahui berat bangunan dan momennya terhadap titik guling bangunan *groundsill*. Berat tubuh *groundsill* yang dihitung dengan dibagi menjadi pias-pias kemudian dijumlahkan dan diketahui total berat bangunan *groundsill* adalah  $\Sigma W = 1872 \text{ KN}$ . Momen terhadap titik gulingpun dihitung per pias yang kemudian dijumlahkan. Total momen untuk berat sendiri *groundsill* adalah  $\Sigma M_W = 25623,75 \text{ KNm}$ .

##### 5. Hasil Analisis Berat Air yang Membebani Bangunan

Untuk menghitung berat air yang membebani bangunan terlebih dahulu air dibagi menjadi bentuk pias kemudian dikalikan dengan berat jenis air yaitu 10 KN/m<sup>3</sup> dan untuk momennya adalah berat atau beban air tersebut dikali dengan lengan momennya sepanjang horisontal sejarak dari sisi terbawah di tubuh *groundsill* sampai dengan titik berat air yang ditinjau.



Gambar 27. Beban air yang membebani bangunan pada saat banjir

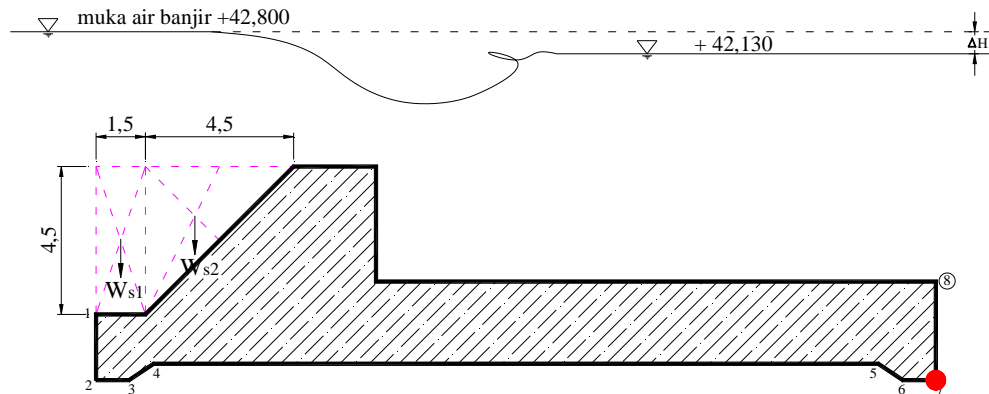
Tabel 15. Hasil Analisis Berat Air dan Momen

No Pias	Luas bagian (m <sup>2</sup> )	$\gamma_w$ (KN/m <sup>3</sup> )	Berat Air (KN)	Lengan Momen Terhadap Titik Guling (m)	Momen (KN.m)
$W_{w1}$	12,9	10	129	24,75	3192,75
$W_{w2}$	10,125	10	101,25	22,5	2278,125
$W_{w3}$	18,45	10	184,5	21,75	4012,875
$W_{w4}$	10,25	10	102,5	18,25	1870,625
$W_{w5}$	0,22	10	2,2445	16,77	37,64025
$W_{w6}$	117,81	10	1178,1	8,5	10013,85
$\Sigma W_w$			1697,5945	$\Sigma M W_w$	21405,8653

Tabel 15. menunjukan analisis berat air yang membebani bangunan dan besar momen berat air terhadap titik guling. Setelah berat air dibagi dalam pias-pias, kemudian dikalikan dengan  $\gamma_w$  sehingga didapat nilai berat air dari masing-masing pias yang kemudian dijumlahkan sehingga diketahui total berat air yang membebani bangunan *groundsill* adalah  $\Sigma W_w = 1697,5945 \text{ KN}$ . Sedangkan nilai momen berat air dikalikan dengan lengan momennya dan dijumlahkan sehingga didapatkan nilai momen berat air terhadap titik guling total adalah sebesar

$$\Sigma M W_w = 21405,8653 \text{ KNm.}$$

## 6. Hasil Analisis Berat Butir Pasir



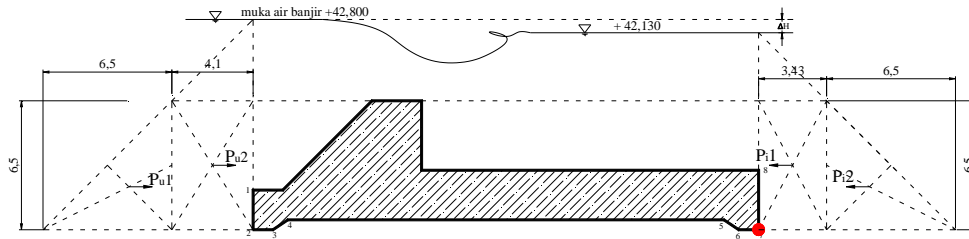
Gambar 28. Berat Butir Pasir

Tabel 16. Hasil Analisis Berat Butir Pasir dan Momen

No Pias	Luas bagian (m <sup>2</sup> )	$\gamma_s$ (KN/m <sup>3</sup> )	Berat Butir Pasir (KN)	Lengan Momen Terhadap Titik Guling (m)	Momen (KN.m)
$W_{s1}$	6,75	12,158	82,07	24,75	2031,146
$W_{s2}$	10,125	12,158	123,10	22,50	2769,744
$\sum W_s$			205,17	$\sum MW_s$	4800,89

Berat butir pasir dalam Tabel 16. dibagi menjadi dua bentuk pias yang kemudian dihitung luasnya dan dikalikan dengan  $\gamma_s$ . Nilai  $\gamma_s$  telah dihitung dan nilainya adalah sebesar 12,158 KN/m<sup>3</sup>. Total berat butir pasir dalam hasil perhitungan untuk bangunan *Groundsill* Bantar ini adalah  $\sum W_s = 205,17$  KN, dan besar momen berat lumpur terhadap titik gulingnya adalah  $\sum MW_s = 4800,89$  KNm.

## 7. Hasil Analisis Tekanan Air



Gambar 29. Tekanan Air

### a) Tekanan Air di Hulu *Groundsill*

Tabel 17. Tekanan Air di Hulu dan Momen

No Pias	Luas bagian (m <sup>2</sup> )	$\gamma_w$ (KN/m <sup>3</sup> )	Gaya Tekan (KN)	Lengan Momen Terhadap Titik Guling (m)	Momen (KN.m)
$P_{u1}$	10,125	10	211,25	2,167	457,779
$P_{u2}$	18,45	10	266,5	3,25	866,125
$\Sigma P_u$			477,75	$\Sigma MP_u$	1323,9

### b) Tekanan Air di Hilir *Groundsill*

Tabel 18. Tekanan Air di Hilir dan Momen

No Pias	Luas bagian (m <sup>2</sup> )	$\gamma_w$ (KN/m <sup>3</sup> )	Gaya Tekan (KN)	Lengan Momen Terhadap Titik Guling (m)	Momen (KN.m)
$P_{i1}$	12,005	10	222,95	3,25	724,588
$P_{i2}$	6,125	10	211,25	2,162	456,722
$\Sigma P_i$			434,2	$\Sigma M P_i$	1181,31

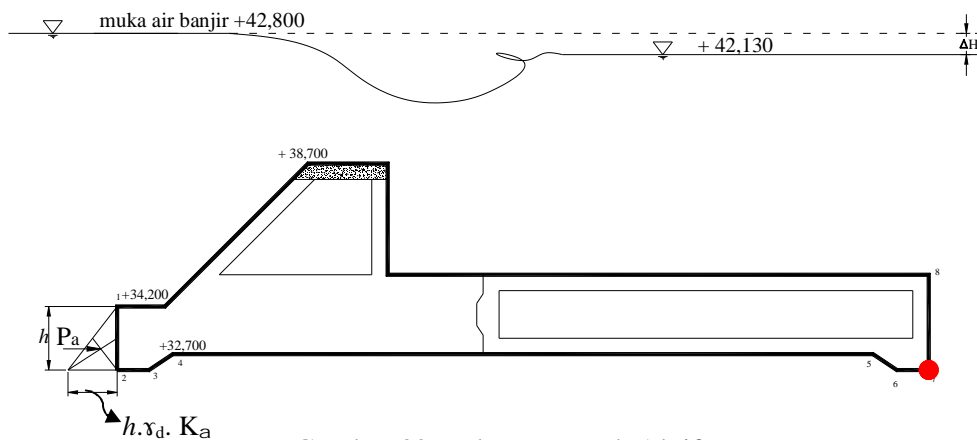
Tabel 17. dan Tabel 18. adalah tabel tekanan air di hulu dan di hilir bangunan *groundsill*. Besar gaya tekan air di hulu adalah sebesar  $\Sigma P_u = 181,30$  KN dan momennya adalah  $\Sigma MP_u = 1138,5$  KNm. Sedangkan tekanan air di hilir

*groundsill* adalah  $\sum P_i = 181,30 \text{ KN}$ , dengan besar momennya  $\sum M P_i = 825,466$

**KNm.** ↻

#### 8. Tekanan Tanah Aktif

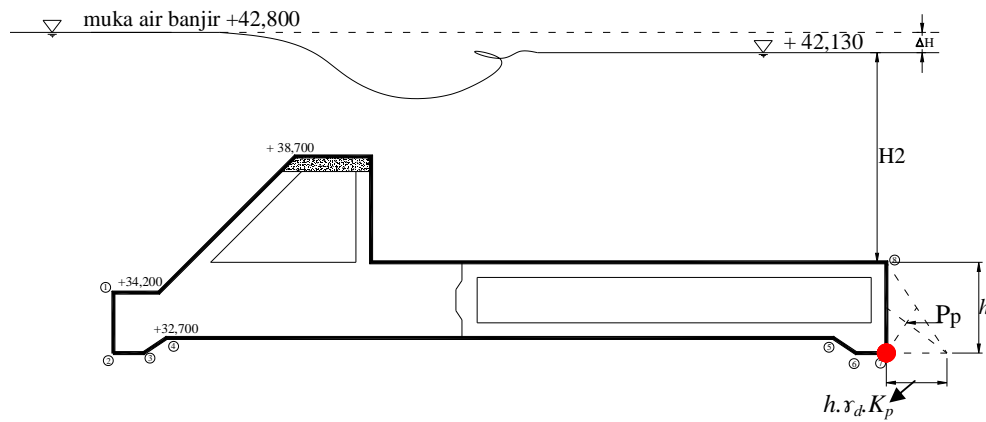
Tekanan tanah aktif dihitung dari tanah dihilu *groundsill*. Dengan menggunakan rumus (2.26) didapatkan nilai  $K_a = 0,24$  dan kemudian dengan rumus (2.24) didapatkan nilai tekanan tanah aktif  $P_a = 2,95 \text{ KN/m}$ .



Gambar 30. Tekanan Tanah Aktif

#### 9. Tekanan Tanah Pasif

Tekanan tanah pasif adalah tanah yang bergerak berlawanan dari tanah aktif dan berfungsi menjaga kestabilan struktur yang dihitung dari tanah di hilir *groundsill*. Tekanan tanah aktif dihitung dari tanah dihilu *groundsill*. Dengan menggunakan rumus (2.27) didapatkan nilai  $K_p = 4,10$  dan kemudian dengan rumus (2.25) didapatkan nilai tekanan tanah aktif  $P_p = 375,93 \text{ KN/m}$ .



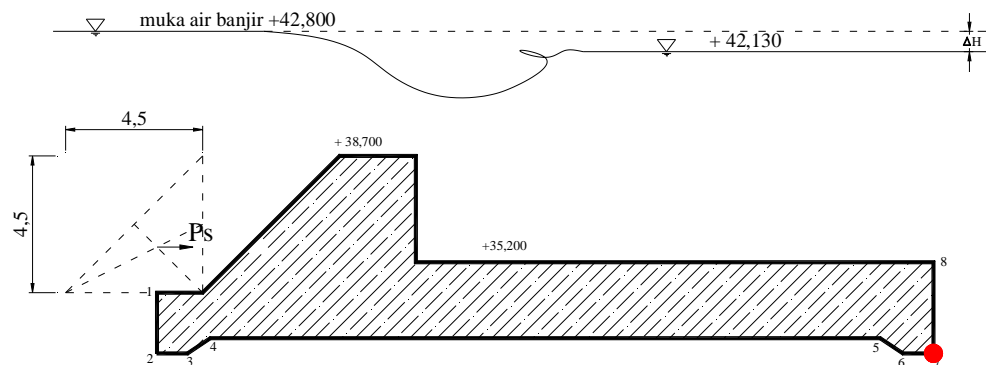
Gambar 31. Tekanan Tanah Pasif

Setelah diketahui nilai  $P_a$  dan  $P_p$  kemudian dihitung momennya dengan dikalikan lengan momen, hasilnya adalah pada Tabel 19. berikut ini.

Tabel 19. Rekapitulasi Tekanan Tanah

	Beban (KN)	Lengan Momen Terhadap Titik Guling (m)	Momen (KN.m)
$P_a$	2,95	0,67	1,98
$P_p$	375,93	1	375,93

## 10. Hasil Analisis Tekanan Butir Pasir



Gambar 32. Tekanan Butir Pasir

Nilai besarnya  $\gamma_s$  dapat dihitung dengan menggunakan rumus (2.29) sehingga didapatkan nilainya adalah  $12,158 \text{ kN/m}^3$ . Setelah  $\gamma_s$  diketahui kemudian dihitung nilai tekanan lumpur dan didapatkan nilai  $P_s = \mathbf{30,04 \text{ KN/m}}$ . Setelah nilai  $P_s$  diketahui kemudian dihitung momennya, dan hasilnya adalah sebagai berikut dalam Tabel 20.

Tabel 20. Hasil Analisis Tekanan Lumpur dan Momen

No Gaya	Besar Gaya (KN/m)	Lengan (m)	Momen (KN.m)
$P_s$	30,04	3,5	105,14
$\sum P_s$	30,04	$\sum MP_s$	105,14

#### 11. Hasil Analisis Gaya Gempa Akibat Struktur

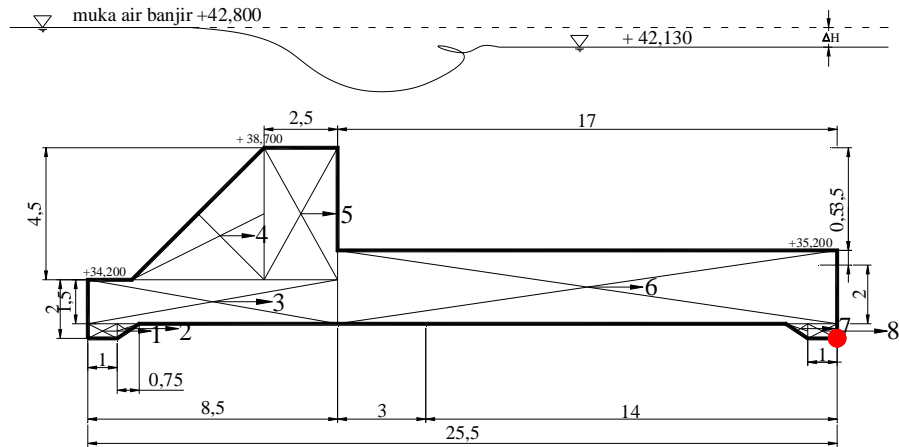
Faktor-faktor beban akibat gempa pada bangunan air seperti *groundsill* perlu dihitung karena merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap stabilitas bangunan *groundsill* terhadap bahaya geser dan bahaya guling. Dengan menggunakan rumus (2.30) dan rumus (2.31) didapatkan nilai

$$ad = 142,82 \text{ cm/det}^2$$

$$E = 0,143.$$

Setelah nilai  $ad$  dan  $E$  diketahui kemudian bentuk bangunan dibagi dalam pias-pias untuk dihitung luasnya untuk dikalikan dengan  $\gamma_{\text{beton}}$  dan koefisien  $E$  sehingga didapat besar beban gempa yang dialami bangunan *groundsill*. Hasil perhitungan selengkapnya terdapat pada Tabel 21.





Gambar 33. Gaya Gempa *Groundsill*

Tabel 21. Rekapitulasi Gaya Gempa Akibat Struktur

No	Luas Pias (m <sup>2</sup> )	$\gamma_{beton}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Beban (KN)	Koefisien Gempa (E)	Beban Gempa (KN)	Lengan Momen (m)	Momen (KN.m)
1	0,500	24	12,0	0,143	1,72	0,25	0,43
2	0,188	24	4,5	0,143	0,64	0,33	0,21
3	12,750	24	306,0	0,143	43,76	1,25	54,70
4	10,125	24	243,0	0,143	34,75	3,5	121,62
5	11,250	24	270,0	0,143	38,61	4,25	164,09
6	42,500	24	1020,0	0,143	145,86	1,75	255,26
7	0,188	24	4,5	0,143	0,64	0,33	0,21
8	0,500	24	12,0	0,143	1,72	0,25	0,43
$\Sigma G_p$					267,70	$\Sigma MG_p$	596,95

Dari Tabel 21. diketahui bahwa nilai beban gempa yang dialami *groundsill* adalah  $\Sigma G_p = 267,70$  KN dan besar momennya adalah  $\Sigma MG_p = 596,95$  KNm.

Setelah semua gaya yang dialami *groundsill* dihitung, kemudian hasilnya direkapitulasi untuk memudahkan dalam perhitungan jumlah gaya dan momen yang bekerja yang mempengaruhi stabilitas *groundsill*. Hasil rekapitulasi disajikan dalam Tabel 22. berikut.

Tabel 22. Rekapitulasi Total Gaya dan Momen yang Bekerja

No	Nama	Kode Gaya	Gaya / Beban KN	Kode Momen	Momen KN.m	
Gaya Vertikal (KN)		V				
1	Berat sendiri	$\sum W$	1872	$\sum MW$	25623,75	↪
2	Berat air	$\sum W_w$	1697,59	$\sum MW_w$	21405,86	↪
3	Berat butir pasir	$\sum W_s$	205,166	$\sum MP_s$	4800,89	↪
4	Tekanan Ke atas	$\sum U$	2509,01	$\sum MU$	31648,66	↪
Gaya Horizontal (KN)		H				
1	Tekanan air hulu	$\sum P_u$	477,75	$\sum M P_u$	1323,904	↪
2	Tekanan air hilir	$\sum P_i$	434,2	$\sum M P_i$	1181,31	↪
3	Tekanan tanah aktif	$\sum P_a$	2,95	$\sum M P_a$	1,978	↪
4	Tekanan tanah pasif	$\sum P_p$	375,93	$\sum M P_p$	375,93	↪
5	Tekanan Butir Pasir	$\sum P_s$	30,04	$\sum M P_s$	105,14	↪
6	Gempa	$\sum Gp$	267,7	$\sum MGp$	596,95	↪

## 12. Kontrol Terhadap Penggulingan

Dari kombinasi pembebanan yang terjadi, nilai *Safety Factor* (*SF*) dalam kontrol penggulingan diambil 1,5.

$$SF = \frac{M_T}{M_G} \geq 1,5 \text{ (syarat aman) .....(4.1)}$$

$$M_T = 53387,74 \text{ KN.m}$$

$$M_G = 34290,74 \text{ KN.m}$$

Dengan diketahuinya nilai  $M_T$  dan  $M_G$  maka dapat diketahui nilai *SF* untuk penggulingan. Dari hasil analisis didapatkan hasil sebagai berikut.

$$SF = 1,56 > 1,5 \text{ .....AMAN}$$

Dari hasil analisis dapat diketahui bahwa besarnya momen tahan terhadap momen yang dapat menyebabkan bangunan *groundsill* terguling adalah 1,56 dengan batas aman 1,5.

## 13. Kontrol Terhadap Pergeseran

Setelah dianalisis stabilitas terhadap bahaya guling, dianalisis juga stabilitas *groundsill* terhadap geser, dengan menggunakan rumus (2.35) yaitu:

$$SF = \frac{f \cdot \sum V}{\sum H} > 1,5 \text{ (rumus 2.34)}$$

$$\sum V = 1268,33 \text{ KN}$$

$$\sum H = 31,69 \text{ KN}$$

$$SF = 12 > 1,5 \text{ .....AMAN}$$

Nilai *SF* yang didapatkan dari hasil analisis adalah 12 dengan batas keamanan untuk bahaya geser pada *Groundsill* Bantar adalah 1,5.

#### 14. Tinjauan Terhadap Eksentrisitas

Nilai eksentrisitas dihitung dari data dan hasil analisis sebelumnya:

$$B = 25,5 \text{ m}$$

$$M_T = 53387,74 \text{ KN.m}$$

$$M_G = 34290,74 \text{ KN.m}$$

$$\Sigma V = 1268,33 \text{ KN}$$

Besarnya nilai  $e$  menggunakan rumus (2.32) didapatkan hasil :

$$e = 2,31 < 4,25 \dots\dots\dots e < e \text{ ijin, sehingga rumus daya dukung tanah yang dipakai adalah rumus (2.39).}$$

#### 15. Tinjauan Terhadap Daya Dukung Tanah

Dari data dapat diketahui nilai  $q_u$  dengan menggunakan rumus (2.38) dan hasilnya adalah:

$$q_u = 16392,3 \text{ KN/m}^2$$

Besarnya daya dukung izin dapat dihitung dengan menggunakan rumus (2.42) dan hasilnya adalah:

$$q_a = 5442,6 \text{ KN/m}^2$$

Berdasarkan rumus (2.39) Tinjauan Terhadap Daya Dukung Tanah adalah:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{maks}} &= \frac{\Sigma V}{B} \left( 1 + \frac{6e}{B} \right) < \sigma \text{ ijin} \quad (\text{rumus 2.39}) \\ &= 76,68 \text{ KN/m}^2 < 5442,6 \text{ KN/m}^2 \dots\dots\dots \mathbf{AMAN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{min}} &= \frac{\Sigma V}{B} \left( 1 - \frac{6e}{B} \right) > 0 \quad (\text{rumus 2.40}) \\ &= 19,73 \text{ KN/m}^2 > 0 \text{ KN/m}^2 \dots\dots\dots \mathbf{AMAN} \end{aligned}$$

## B. Pembahasan

### 1. Perhitungan Debit Banjir Rencana

Hasil perhitungan banjir rencana yang dilakukan dengan menggunakan metode Hesper hasilnya tidak sesuai dengan perhitungan menggunakan rumus Bundchu pada perhitungan dengan melihat gambar kerja. Hasil perhitungan dengan metode Hesper ini tidak sesuai karena kurangnya data yang diperlukan, yaitu titik stasiun hujan dan data curah hujannya, sehingga hasilnya tidak mewakili untuk keseluruhan debit banjir Kali Progo yang ada di sekitar bangunan *Groundsill* Bantar. Perhitungan debit banjir menggunakan rumus Bundchu didapatkan hasil sebesar  $Q = 1359,11 \text{ m}^3/\text{det.}$

### 2. Keamanan Terhadap Gejala *Piping*

Data yang berpengaruh dalam perhitungan untuk mencari besarnya angka keamanan untuk adanya gejala *piping* yaitu harus mengetahui  $L_w$  (*weight-creep-distance*), jumlah jarak vertikal dan jumlah jarak horizontal. Setelah  $L_w$  dihitung kemudian dapat ditentukan  $WCR$  (*weighted-creep-ratio*) dengan persamaan Lane (1935). Ketinggian muka air di hulu dan di hilir sangat berpengaruh dalam proporsi tekanan yang ditimbulkan. Seperti yang telah dihitung bahwa  $WCR = \frac{13,5}{0,67} = 20,1 > 7$  (nilai  $WCR$  untuk tanah jenis Pasir halus). Dimana  $L_w = 13,5 \text{ m}$  dan  $0,67 \text{ m}$  adalah  $\Delta H$  antara hulu dengan hilir.

### 3. Keamanan Terhadap Gaya Guling

Bangunan *groundsill* dapat terguling apabila momen tahan ( $M_T$ ) lebih kecil dari momen guling ( $M_G$ ) Christady (2006), dimana momen tahan didapatkan dari hasil penjumlahan dari momen berat sendiri ( $MW$ ), momen berat air di atas bangunan ( $MW_w$ ), momen berat butir pasir ( $MW_s$ ), momen tekanan air di hilir *groundsill* ( $MP_i$ ), dan momen tanah pasif ( $MP_p$ ). Sedang momen guling adalah penjumlahan dari momen *uplift* ( $M_U$ ), momen tekanan air di hulu *groundsill* ( $MP_u$ ), momen tanah aktif ( $MP_a$ ), momen tekanan butir pasir ( $MP_s$ ), dan momen gempa akibat struktur bangunan itu sendiri ( $MGp$ ).

$$SF = \frac{\sum MT}{\sum MG} \geq 1,5 \text{ (faktor keamanan yang disyaratkan), dengan}$$

$$M_T = MW + MW_w + MW_s + MP_i + MP_p, \text{ dan}$$

$$M_G = MU + MP_u + MP_a + MP_s + MGp$$

Maka dengan menggunakan rumus tersebut didapatkan  $SF = \frac{\sum MT}{\sum MG} = \frac{53387,74}{34290,74} = 1,56 > 1,5$  ( $SF$  yang disyaratkan). Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan rumus tersebut, maka *groundsill* Bantar dapat dikatakan aman dari bahaya penggulingan.

Pada kontrol penggulingan, bangunan *groundsill* dapat terguling pada badan *groundsill*nya saja, dan akan dapat terjadi patahan pada lantai *groundsill*. Titik guling yang terjadi adalah terletak pada bagian sambungan lantai *groundsill* sehingga dalam perhitungan, lantai *groundsill* tidak dihitung. Namun dalam Proyek Akhir ini perhitungan dilaksanakan sampai seluruh ujung *groundsill*.

#### 4. Keamanan Terhadap Gaya Geser

Bergesernya *groundsill* sangat dipengaruhi oleh berat konstruksi ( $\sum W$ ), berat air di atas bangunan ( $\sum W_w$ ), berat lumpur ( $\sum W_s$ ), tekanan keatas ( $\sum U$ ) sebagai gaya vertikal, gaya tekan air di hulu ( $\sum P_u$ ), gaya tekan air di hilir ( $\sum P_i$ ), tekanan tanah aktif ( $\sum P_a$ ), tanah pasif ( $\sum P_p$ ), tekanan lumpur ( $\sum P_s$ ), dan gaya gempa ( $\sum G_p$ ) sebagai gaya yang menekan atau gaya horizontal. Koefisien geser ( $f$ ) =  $\tan \sigma$ , dengan  $\sigma$  adalah sudut gesek tanah dasar dan dasar pondasi, diambil ( $2/3 \phi$ ) (Christady : 2006).

$$SF = \frac{f \cdot \sum V}{\sum H} > 1,5 \text{ (faktor keamanan yang disyaratkan), dengan :}$$

$f$  = koefisien gesek

$$\sum V = \sum W + \sum W_w + \sum W_s + \sum U$$

$$\sum H = \sum P_u + \sum P_i + \sum P_a + \sum P_p + \sum P_s + \sum G_p$$

Pada hasil perhitungan yang diperoleh di atas, pergeseran dapat diketahui dengan perbandingan besarnya *safety factor* yang telah ditentukan, maka diperoleh  $SF = \frac{1268,326 \cdot 0,3}{31,69} = 12 > 1,5$  (faktor keamanan yang disyaratkan).

Dengan demikian, menurut hasil perbandingan perhitungan dengan faktor keamanan tersebut, maka *Groundsill* Bantar dapat dikatakan aman terhadap stabilitas dari bahaya pergeseran.

## 5. Keamanan Terhadap Daya Dukung Tanah

Tinjauan terhadap daya dukung tanah sangat mempengaruhi pondasi bangunan agar tidak mengalami penurunan. Daya dukung ini sendiri sangat dipengaruhi oleh hasil pengujian tanah setempat dimana bangunan dibuat, lebar bangunan ( $B$ ), eksentrisitas ( $e$ ) dan gaya vertikal total ( $V$ ).

Menurut Suyono (2005), Ohsaki mengusulkan rumus untuk daya dukung batas yang merupakan modifikasi dari rumus Terzaghi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}q_u &= \alpha \cdot c \cdot N_c + \gamma \cdot z \cdot N_q + \beta \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \\&= 16392,3 \text{ KN/m}^2 \\q_{un} &= q_u - \gamma \cdot z \\&= 16327,8 \text{ KN/m}^2 \\q_a &= \frac{q_{un}}{F} \\&= 5442,6 \text{ KN/m}^2\end{aligned}$$

Sedangkan tinjauan terhadap daya dukungnya yaitu :  $\sigma_{\text{maks}} = \frac{V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) < \sigma \text{ izin}$ ,

dimana  $\sigma_{\text{maks}}$  = tegangan atau daya dukung maksimum, dan  $\sigma_{\text{min}} = \frac{V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) > 0$ ,

dengan  $\sigma_{\text{min}}$  = tegangan atau daya dukung minimum.

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, maka didapatkan  $\sigma_{\text{maks}} = 76,68 \text{ KN/m}^2 < 5442,6 \text{ KN/m}^2$ , dan  $\sigma_{\text{min}} = 19,73 \text{ KN/m}^2 > 0 \text{ KN/m}^2$  dengan demikian *Groundsill* Bantar dapat dikatakan aman ditinjau dari daya dukung tanahnya baik.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil Analisis perhitungan dan pembahasan di atas maka kesimpulan yang dapat diambil antara lain adalah:

1. *Groundsill* Bantar di Kali Progo aman terhadap erosi bawah bendung (*piping*) karena pada nilai WCR hitung > dari nilai WCR untuk tanah jenis lempung lunak.
2. *Groundsill* Bantar di Kali Progo aman terhadap gaya guling karena berdasarkan analisis perhitungan momen yang bekerja yaitu momen guling < dari momen tahan dan dari hasil perbandingan kedua momen tersebut menunjukkan > dari *safety factor* yang telah ditentukan yaitu 1,5.
3. *Groundsill* Bantar di Kali Progo aman terhadap gaya geser karena berdasarkan analisis perhitungan diperoleh bahwa hasil perkalian koefisien geser dengan perbandingan gaya yang bekerja secara vertikal dan horizontal > *safety factor* yaitu 1,5.
4. *Groundsill* Bantar di Kali Progo aman terhadap daya dukung tanah karena pada hasil perhitungan diketahui bahwa nilai tegangan maksimum yang terjadi < nilai tegangan atau daya dukung tanah maksimum yang diizinkan, dan nilai tegangan minimum > 0.

## **B. Saran – Saran**

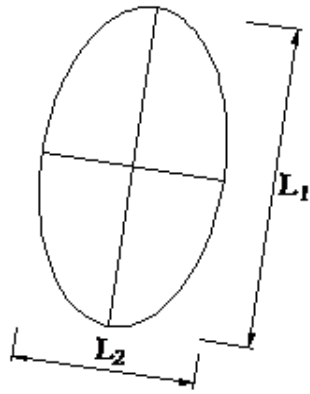
1. `Saran kepada pembaca karya tulis ini bahwa di dalam memahami dan membaca karya tulis ini akan lebih baik apabila pembaca juga membaca buku yang telah diacu pada kajian pustaka.
2. Kepada mahasiswa yang juga akan menulis tentang kestabilan bangunan air, untuk data dan perhitungan yang lebih akurat perlu disiapkan data dan referensi selengkap mungkin agar hasil perhitungan lebih maksimal dan lebih valid.

## DAFTAR PUSTAKA

- DPU, 1986, *KP-02 Bangunan Utama*. Jakarta: Dirjen Pengairan.
- DPU, 1986, *KP-06 Parameter Bangunan*. Jakarta: Dirjen Pengairan.
- Hadi Putro, S. 1994. *Irigasi*. Fakultas Teknik UNY: Diktat Mata Kuliah.
- Hardiyatmo, C.H.. 2006. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, C.H.. 2007. *Mekanika Tanah 2*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Loebis, Joesron. 1987. *Bangunan Air*. Bandung : Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Mawardi, E. dan Memed, M. *Bendung Tetap*. Bandung: Alfabeta.
- Sosrodarsono, S. dan Nakazawa, K. 2005. *Mekanika Tanah & Teknik Pondasi*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Suryolelono, K. B, & Dip, H. E. 1994 . *Teknik Pondasi Bagian I (Pondasi Telapak Dan Dinding Penahan Tanah)*. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.
- Triatmodjo, B. 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta : Beta Offset.
- Wiradinata, Rachmadi. 1972. *Perencanaan Saluran*. Bandung : Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Yuwono, Nur. *Hidraulika 1*. Yogyakarta: Hanindita.

### Lampiran 1. Perhitungan Luas *Cathcment Area*

*Cathcment area* dihitung dengan metode Elips



Jika diketahui :

$$L_1 = 99,6 \text{ km}$$

$$L_2 = \frac{2}{3} \cdot L_1$$

$$= \frac{2}{3} \cdot 99,6 \text{ km}$$

$$= 66,4 \text{ km}$$

Maka :

$F$  = luas *cathcment area* (luas elips)

$$F = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot L_1 \cdot L_2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 99,6 \cdot 66,4$$

$$F = 5196,27 \text{ km}^2$$

## Lampiran 2. Perhitungan Debit Banjir

### Dihitung dengan Methode Hesper

Data :

1)  $F$  = Luas *Catchment area* = 5196,27 km<sup>2</sup>

2)  $L$  = Panjang sungai = 99,6 km

3)  $H$  = 1650 – 47 = 1603 m

4)  $i = \frac{H}{\frac{9}{10}L} = 0,018$

No	R24	R242
1	8	64
2	16	256
3	25	625
4	33	1089
5	36	1296
6	37	1369
7	48	2304
8	50	2500
9	57	3249
10	59	3481
$\Sigma$	369	16233

Perhitungan  $R_{100}$  metode Hasper

$$R = \frac{369}{10} = 36,9 \text{ mm}$$

$$S = \sqrt{\frac{16233 - 36,9 \times 369}{10 - 1}} = 17,05$$

$$\mu = 3,43$$

$$R_{100} = R + S \cdot \mu$$

$$= 36,9 + 17,05 \cdot 3,43$$

$$= 95,38 \text{ mm}$$

Setelah  $R_{100}$  diketahui, kemudian  $Q_{100}$  metode Hasper dihitung melalui beberapa langkah dan yang pertama adalah menghitung koefisien pengaliran ( $\alpha$ ) dengan menggunakan rumus (2.10).

$$\alpha = \frac{1 + 0,012 \times F^{0,7}}{1 + 0,075 \times F^{0,7}} = \frac{1 + 0,012 \times 5196,27^{0,7}}{1 + 0,075 \times 5196,27^{0,7}} = 0,187$$

$$t = 0,1 \times L^{0,8} \times i^{-0,3} \text{ (rumus 2.12)}$$

$$= 0,1 \times 99,6^{0,8} \times 0,018^{-0,3}$$

$$= 13,24 \text{ jam}$$

Nilai koefisien  $\beta$  dicari dengan rumus (2.11)

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3,7 \times 10^{-0,14 \times t}}{t^2 + 15} \times \frac{F^{\frac{3}{4}}}{12}$$

$$= 1 + \frac{13,24 + 3,7 \times 10^{-0,14 \times 13,24}}{13,24^2 + 15} \times \frac{5196,27^{\frac{3}{4}}}{12} = 1,414$$

$$\beta = 0,219$$

Karena  $2 \text{ jam} < t = 13,24 \text{ jam} < 19 \text{ jam}$ , maka untuk mencari nilai  $R_t$

digunakan rumus (2.16).

$$R_t = \frac{t \cdot R_n}{t + 1} = \frac{13,24 \cdot 95,38}{13,24 + 1}$$

$$= 88,68 \text{ mm}$$

$$q = \frac{R_t}{3,6t}$$

$$= \frac{88,68}{3,6 \times 13,24} = 1,86 \text{ m}^3 / \text{det} / \text{km}^2$$

Maka nilai  $Q_{100}$  dapat dapat dihitung dengan rumus (2.9).

$$Q_{100} = \alpha \cdot \beta \cdot q \cdot F$$

$$= 0,187 \cdot 0,219 \cdot 1,86 \cdot 5196,27$$

$$= 396,58 \text{ m}^3/\text{det}$$

### **Perhitungan Debit Banjir Rencana pada Gambar**

Dihitung dengan rumus Bundchu

$$Q = m \cdot b \cdot d \cdot \sqrt{g \cdot d} \quad (\text{rumus no. 2.20})$$

$m = 1$  (dilihat dari bentuk konstruksi ambangnya, gambar 10.)

$b = 96,2 \text{ m}$  (dilihat pada gambar kerja denah *groundsill*)

$H = 4,1 \text{ m}$  (dilihat pada gambar kerja *groundsill*)

$$d = \frac{2}{3} H = \frac{2}{3} \cdot 4,1 = 2,73 \text{ m}$$

Jadi, besarnya debit banjir adalah :

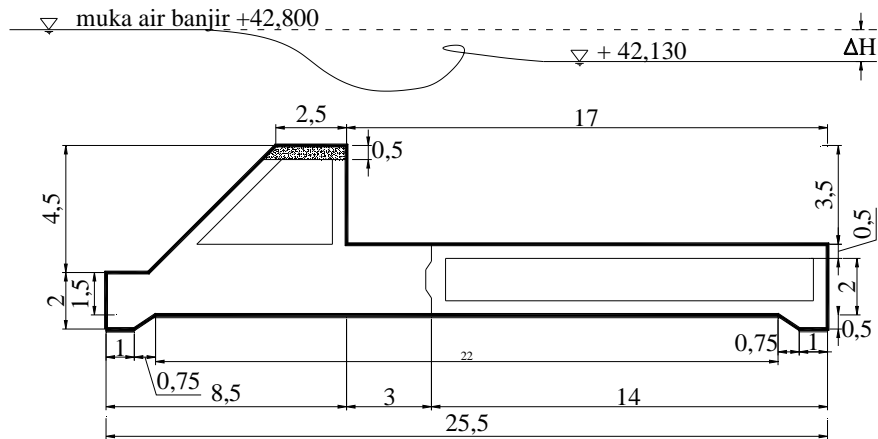
$$Q = 1 \cdot 96,2 \cdot 2,73 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 2,73}$$

$$Q = 1359,11 \text{ m}^3/\text{det}$$

### Lampiran 3. Perhitungan Analisis Angka Rembesan (*Piping*)

Diketahui : Muka Air Banjir Hulu = +42,800

Muka Air Banjir Hilir = +42,130



Gambar Detail Ukuran *Groundsill* Bantar

$$L_w = \frac{\sum L_h}{3} + \sum L_v$$

$$L_h = 1 + 0,75 + 22 + 0,75 + 1 = 25,5 \text{ m}$$

$$L_v = 2 + 3 = 5 \text{ m}$$

$$L_w = \frac{25,5}{3} + 5 = 13,5 \text{ m}$$

$$\Delta H = 42,80 - 42,13 = 0,67 \text{ m}$$

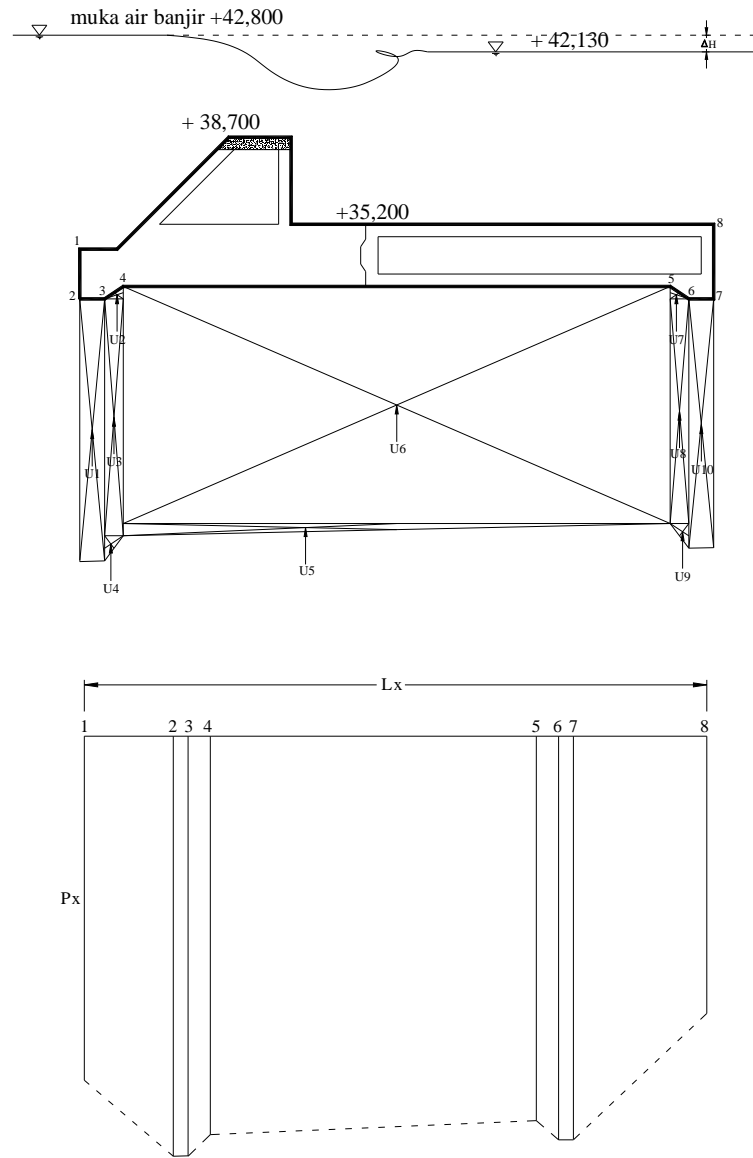
Setelah  $L_w$  diketahui maka digunakan metode WCR (*weight creep ratio*)

$$WCR = \frac{L_w}{\Delta H}$$

$$WCR = \frac{13,5}{0,67} = 20,1 > 7 \text{ (nilai WCR untuk pasir halus).}$$



#### Lampiran 4. Perhitungan Gaya Angkat Air (*Uplift*)



Gambar Tekanan Angkat (*Uplift*)

$$P_x = H_x - \frac{L_x \cdot \Delta H}{L}$$

$P_x$  = Gaya angkat pada x, m

$H_x$  = Tinggi energi di hulu bendung sampai titik x, m

$L$  = Panjang total bidang kotak pada bendung sampai tanah bawah, m

$L_x$  = Panjang bidang kotak dari hulu sampai x, m

$\Delta H$  = Beda tinggi energi, m

Tabel Perhitungan Gaya Angkat Pada x ( $P_x$ )

No titik	$H_x$ (m)	L (m)	$\Delta H$ (m)	$L_x$ (m)	$P_x$ (m)
titik 1	8,6	30,5	0,67	0,00	8,60
titik 2	10,6	30,5	0,67	2,00	10,60
titik 3	10,6	30,5	0,67	3,00	10,53
titik 4	10,1	30,5	0,67	3,75	10,02
titik 5	10,1	30,5	0,67	25,75	9,53
titik 6	10,6	30,5	0,67	26,50	10,02
titik 7	10,6	30,5	0,67	27,50	10,00
titik 8	7,6	30,5	0,67	30,50	6,93

$$P_1 = 8,6 - \frac{(0 \cdot 0,67)}{30,5} = 8,60 \text{ m}$$

$$P_2 = 10,6 - \frac{(2 \cdot 0,67)}{30,5} = 10,60 \text{ m}$$

$$P_3 = 10,6 - \frac{(3 \cdot 0,67)}{30,5} = 10,53 \text{ m}$$

$$P_4 = 10,1 - \frac{(3,75 \cdot 0,67)}{30,5} = 10,02 \text{ m}$$

$$P_5 = 10,1 - \frac{(25,75 \cdot 0,67)}{30,5} = 9,53 \text{ m}$$

$$P_6 = 10,6 - \frac{(26,50 \cdot 0,67)}{30,5} = 10,02 \text{ m}$$

$$P_7 = 10,6 - \frac{(27,50 \cdot 0,67)}{30,5} = 10,00 \text{ m}$$

$$P_8 = 7,6 - \frac{(30,5 \cdot 0,67)}{30,5} = 6,93 \text{ m}$$

Tabel Perhitungan gaya *uplift* dan momen

No. Gaya	Luas (m <sup>2</sup> )	$\gamma_w$ (KN/m <sup>3</sup> )	$U_x$ (KN)	Lengan momen (m)	Momen (KN.m)
U <sub>1</sub>	0,5 x 1 x (10,56+10,53)	10	105,45	25	2636,25
U <sub>2</sub>	0,5 x 0,75 x 0,5	10	1,875	24	45,00
U <sub>3</sub>	0,75 x 9,52	10	71,4	24,125	1722,53
U <sub>4</sub>	0,5 x 0,75 x 1,01	10	3,7875	24,25	91,85
U <sub>5</sub>	0,5 x 0,49 x 22	10	53,9	16,417	884,88
U <sub>6</sub>	9,53 x 22	10	2096,6	12,75	26731,65
U <sub>7</sub>	0,5 x 0,75 x 0,5	10	1,875	1,5	2,81
U <sub>8</sub>	9,03 x 0,75	10	67,725	1,375	93,12
U <sub>9</sub>	0,5 x 0,75 x 0,99	10	3,7125	1,25	4,64
U <sub>10</sub>	0,5 x 1 x (10,00+10,02)	10	100,10	0,5	50,05
$\Sigma U$			2506,43	$\Sigma MU$	32262,77

Cara perhitungan berdasarkan persatuan lebar *groundsill* (diambil 1 m lebar),

jadi nilai U dikalikan 1 m.

$$U_x = \text{Luas pias} \cdot 1 \cdot \gamma_w$$

$$U_1 = (0,5 \times 1 \times (10,56+10,53)) \cdot 1 \cdot 10 = 105,45 \text{ KN}$$

$$U_2 = (0,5 \times 0,75 \times 0,5) \cdot 1 \cdot 10 = 1,875 \text{ KN}$$

$$U_3 = (0,75 \times 9,52) \cdot 1 \cdot 10 = 71,4 \text{ KN}$$

$$U_4 = (0,5 \times 0,75 \times 1,01) \cdot 1 \cdot 10 = 3,7875 \text{ KN}$$

$$U_5 = (0,5 \times 0,49 \times 22) \cdot 1 \cdot 10 = 53,9 \text{ KN}$$

$$U_6 = (9,53 \times 22) \cdot 1 \cdot 10 = 2096,6 \text{ KN}$$

$$U_7 = (0,5 \times 0,75 \times 0,5) \cdot 1 \cdot 10 = 1,875 \text{ KN}$$

$$U_8 = (9,03 \times 0,75) \cdot 1 \cdot 10 = 67,725 \text{ KN}$$

$$U_9 = (0,5 \times 0,75 \times 0,99) \cdot 1 \cdot 10 = 3,7125 \text{ KN}$$

$$U_{10} = (0,5 \times 1 \times (10,00+10,02)) \cdot 1 \cdot 10 = 100,10 \text{ KN}$$

**$MU_x = U_x \cdot \text{lelangan momen}$**

$$MU_1 = 105,45 \cdot 25 = 2636,25 \text{ KN.m}$$

$$MU_2 = 1,875 \cdot 24 = 45,00 \text{ KN.m}$$

$$MU_3 = 71,4 \cdot 24,125 = 1722,53 \text{ KN.m}$$

$$MU_4 = 3,7875 \cdot 24,25 = 91,85 \text{ KN.m}$$

$$MU_5 = 53,9 \cdot 16,417 = 884,88 \text{ KN.m}$$

$$MU_6 = 2096,6 \cdot 12,75 = 26731,65 \text{ KN.m}$$

$$MU_7 = 1,875 \cdot 1,5 = 2,81 \text{ KN.m}$$

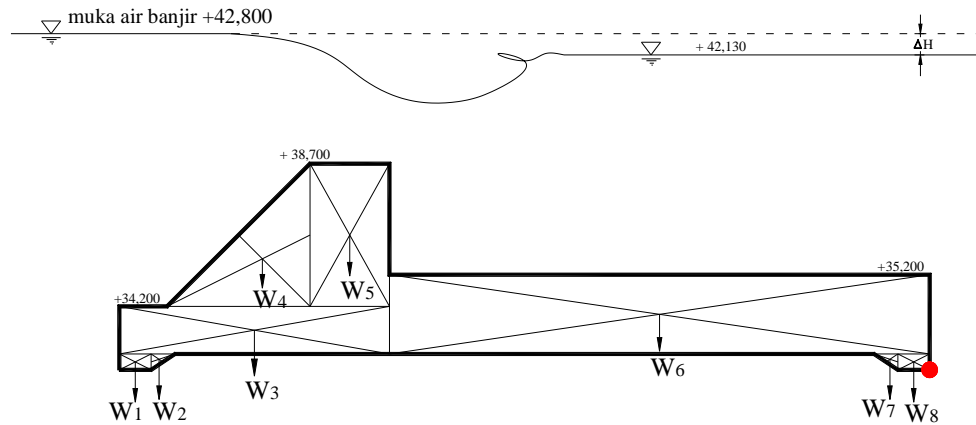
$$MU_8 = 67,725 \cdot 1,375 = 93,12 \text{ KN.m}$$

$$MU_9 = 3,7125 \cdot 1,25 = 4,64 \text{ KN.m}$$

$$MU_{10} = 100,10 \cdot 0,5 = 50,05 \text{ KN.m}$$

$$\Sigma MU = 2623,75 + 1850,09 + 27022,84 + 101,58 + 50,40 = \mathbf{32262,77 \text{ KN.m}} \quad ( \curvearrowright )$$

## Lampiran 5.Perhitungan Berat Bangunan



Gambar Berat Sendiri *Groundsill*

Tabel Perhitungan berat bangunan dan momen

No Pias	Luas bagian (m <sup>2</sup> )	$\gamma_{beton}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Berat Tubuh Bendung (KN)	Lengan Momen Terhadap Titik Guling (m)	Momen (KN.m)
W <sub>1</sub>	0,500	24	12,00	25,00	300,00
W <sub>2</sub>	0,188	24	4,50	24,25	109,13
W <sub>3</sub>	12,750	24	306,00	21,25	6502,50
W <sub>4</sub>	10,125	24	243,00	21,00	5103,00
W <sub>5</sub>	11,250	24	270,00	18,25	4927,50
W <sub>6</sub>	42,500	24	1020,00	8,50	8670,00
W <sub>7</sub>	0,188	24	4,50	1,25	5,63
W <sub>8</sub>	0,500	24	12,00	0,50	6,00
$\Sigma W$			1872	$\Sigma MW$	25623,75

Cara perhitungan berdasarkan persatuan lebar *groundsill* (diambil 1 m lebar), jadi nilai W dikalikan 1 m.

$$W_x = \text{luas bagian} \cdot 1 \cdot \gamma_{beton}$$

$$W_1 = (1 \cdot 0,5) \cdot 1 \cdot 24 = 12,00 \text{ KN}$$

$$W_2 = (0,5 \cdot 0,75 \cdot 0,5) \cdot 1 \cdot 24 = 4,50 \text{ KN}$$

$$W_3 = (8,5 \cdot 1,5) \cdot 1 \cdot 24 = 306 \text{ KN}$$

$$W_4 = (0,5 \cdot 4,5 \cdot 4,5) \cdot 1 \cdot 24 = 243 \text{ KN}$$

$$W_5 = (4,5 \cdot 2,5) \cdot 1 \cdot 24 = 270 \text{ KN}$$

$$W_6 = (17 \cdot 2,5) \cdot 1 \cdot 24 = 1020 \text{ KN}$$

$$W_7 = (0,5 \cdot 0,75 \cdot 0,5) \cdot 1 \cdot 24 = 4,50 \text{ KN}$$

$$W_8 = (1 \cdot 0,5) \cdot 1 \cdot 24 = 12,00 \text{ KN}$$

$$MW_x = W_x \cdot \text{lengan momen}$$

$$MW_1 = 12,00 \cdot 25,00 = 300,00 \text{ KN.m}$$

$$MW_2 = 4,50 \cdot 24,25 = 109,13 \text{ KN.m}$$

$$MW_3 = 306 \cdot 21,25 = 6502,50 \text{ KN.m}$$

$$MW_4 = 243 \cdot 21,00 = 5103,00 \text{ KN.m}$$

$$MW_5 = 270 \cdot 18,25 = 4927,50 \text{ KN.m}$$

$$MW_6 = 1020 \cdot 8,50 = 8670,00 \text{ KN.m}$$

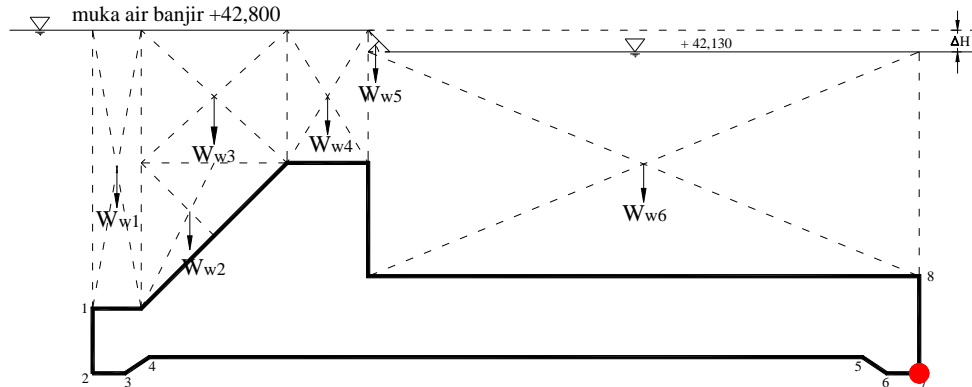
$$MW_7 = 4,50 \cdot 1,25 = 5,63 \text{ KN.m}$$

$$MW_8 = 12,00 \cdot 0,50 = 6,00 \text{ KN.m}$$

$$\sum M_U = 300 + 109,13 + 6502,50 + 5103 + 4927,50 + 8670 + 5,63 + 6,00 = \mathbf{25623,75 \text{ KN.m}}$$

( ↺ )

## Lampiran 6. Perhitungan Berat Air Yang Membebani Bangunan



Gambar Beban Air yang Membebani Bangunan pada Saat Banjir

Tabel Perhitungan Berat Air dan Momen

No Pias	Luas bagian (m <sup>2</sup> )	$\gamma_w$ (KN/m <sup>3</sup> )	Berat Air (KN)	Lengan Momen Terhadap Titik Guling (m)	Momen (KN.m)
$W_{w1}$	12,9	10	129	24,75	3192,75
$W_{w2}$	10,125	10	101,25	22,5	2278,125
$W_{w3}$	18,45	10	184,5	21,75	4012,875
$W_{w4}$	10,25	10	102,5	18,25	1870,625
$W_{w5}$	0,22	10	2,2445	16,77	37,64025
$W_{w6}$	117,81	10	1178,1	8,5	10013,85
$\Sigma W_w$			1697,5945	$\Sigma M W_w$	21405,8653

Cara perhitungan berdasarkan persatuan lebar *groundsill* (diambil 1 m lebar), jadi nilai  $W_w$  dikalikan 1 m.

$$W_{wx} = \text{luas bagian} \cdot 1 \cdot \gamma_w$$

$$W_{w1} = (8,6 \cdot 1,5) \cdot 1 \cdot 10 = 129 \text{ KN}$$

$$W_{w2} = (0,5 \cdot 4,5 \cdot 4,5) \cdot 1 \cdot 10 = 101,25 \text{ KN}$$

$$W_{w3} = (4,5 \cdot 4,1) \cdot 1 \cdot 10 = 184,5 \text{ KN}$$

$$W_{w4} = (2,5 \cdot 4,1) \cdot 1 \cdot 10 = 102,5 \text{ KN}$$

$$W_{w5} = (0,5 \cdot 0,67 \cdot 0,67) \cdot 1 \cdot 10 = 2,2445 \text{ KN}$$

$$W_{w6} = (17 \cdot 6,93) \cdot 1 \cdot 10 = 1178,1 \text{ KN}$$

$$MW_{wx} = W_{wx} \cdot \text{lengan momen}$$

$$MW_{w1} = 129 \cdot 24,75 = 3192,75 \text{ KN.m}$$

$$MW_{w2} = 101,25 \cdot 22,5 = 2278,125 \text{ KN.m}$$

$$MW_{w3} = 184,5 \cdot 21,75 = 4012,875 \text{ KN.m}$$

$$MW_{w4} = 102,5 \cdot 18,25 = 1870,625 \text{ KN.m}$$

$$MW_{w5} = 2,2445 \cdot 16,77 = 37,64025 \text{ KN.m}$$

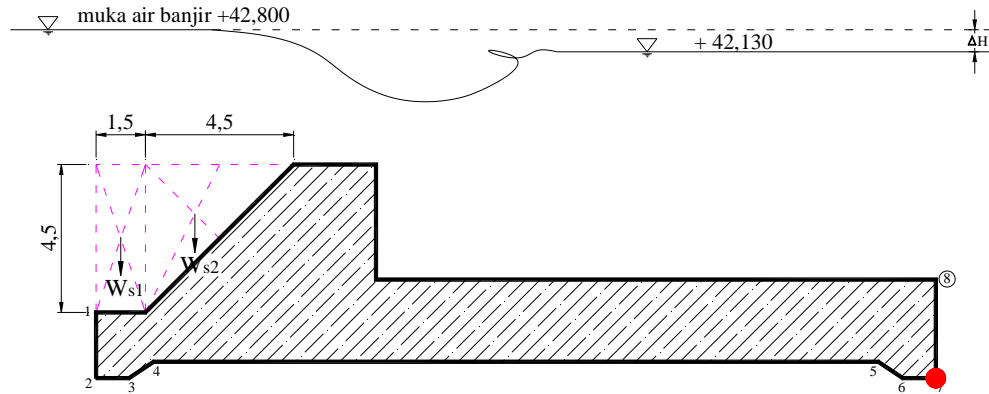
$$MW_{w6} = 1178,1 \cdot 8,5 = 10013,85 \text{ KN.m}$$

$$\sum MW_w = 3192,75 + 2278,125 + 4012,875 + 1870,625 + 37,64025 + 10013,8$$

$$21405,8653 \text{ KN.m} \quad ( \curvearrowright )$$



## Lampiran 7.Perhitungan Berat Butir Pasir



Gambar Berat Butir Pasir

Tabel Perhitungan Berat Butir Pasir

No Pias	Luas bagian (m <sup>2</sup> )	$\gamma_s$ (KN/m <sup>3</sup> )	Berat Butir Pasir (KN)	Lengan Momen Terhadap Titik Guling (m)	Momen (KN.m)
$W_{s1}$	6,75	12,158	82,07	24,75	2031,146
$W_{s2}$	10,125	12,158	123,10	22,50	2769,744
$\sum W_s$			205,17	$\sum MW_s$	4800,89

Cara perhitungan berdasarkan persatuan lebar *groundsill* (diambil 1 m lebar), jadi nilai  $W_s$  dikalikan 1 m.

$$W_{sx} = \text{luas bagian} \cdot 1 \cdot \gamma_s$$

$$W_{s1} = (4,5 \cdot 1,5) \cdot 1 \cdot 12,158 = 82,07 \text{ KN}$$

$$W_{s2} = (0,5 \cdot 4,5 \cdot 4,5) \cdot 1 \cdot 12,158 = 123,10 \text{ KN}$$

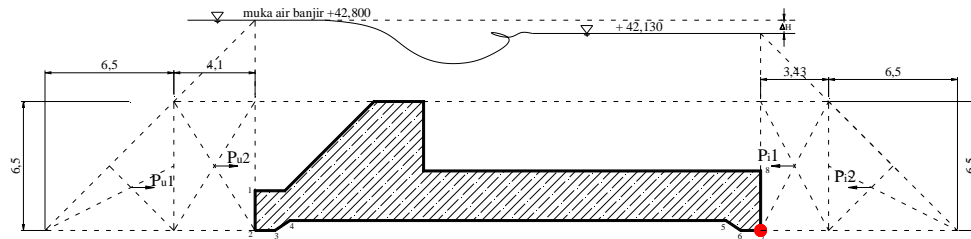
$$MW_{sx} = W_{sx} \cdot \text{lengan momen}$$

$$MW_{s1} = 82,07 \cdot 24,75 = 2031,146 \text{ KN.m}$$

$$MW_{s2} = 123,10 \cdot 22,50 = 2769,744 \text{ KN.m}$$

$$\sum MW_s = 1670,625 + 2278,125 = 4800,89 \text{ KN.m} \quad (\curvearrowright)$$

## Lampiran 8.Perhitungan Tekanan Air



Gambar Tekanan Air

### c) Tekanan Air di Hulu *Groundsill*

Tabel Tekanan air di hulu dan momen

No Pias	Luas bagian (m <sup>2</sup> )	$\gamma_w$ (KN/m <sup>3</sup> )	Gaya Tekan (KN)	Lengan Momen Terhadap Titik Guling (m)	Momen (KN.m)
$P_{u1}$	10,125	10	211,25	2,167	457,779
$P_{u2}$	18,45	10	266,5	3,25	866,125
$\Sigma P_u$			477,75	$\Sigma MP_u$	1323,9

Cara perhitungan berdasarkan persatuan lebar *groundsill* (diambil 1 m lebar), jadi nilai  $P_u$  dikalikan 1 m.

$$P_{ux} = \text{luas bagian} \cdot 1 \cdot \gamma_w$$

$$P_{u1} = (0,5 \cdot 6,5 \cdot 6,5) \cdot 1 \cdot 10 = 211,25 \text{ KN}$$

$$P_{u2} = (6,5 \cdot 4,1) \cdot 1 \cdot 10 = 266,5 \text{ KN}$$

$$MP_{ux} = P_{ux} \cdot \text{lengan momen}$$

$$MP_{u1} = 211,25 \cdot 2,167 = 457,779 \text{ KN.m}$$

$$MP_{u2} = 266,5 \cdot 3,25 = 866,125 \text{ KN.m}$$

$$\Sigma MP_u = 354,375 + 784,125 = 1323,9 \text{ KN.m} \quad ( \curvearrowright )$$

d) Tekanan Air di Hilir *Groundsill*

Tabel Tekanan air di hilir dan momen

No Pias	Luas bagian (m <sup>2</sup> )	$\gamma_w$ (KN/m <sup>3</sup> )	Gaya Tekan (KN)	Lengan Momen Terhadap Titik Guling (m)	Momen (KN.m)
$P_{i1}$	12,005	10	222,95	3,25	724,588
$P_{i2}$	6,125	10	211,25	2,162	456,722
$\sum P_i$			434,2	$\sum M P_i$	1181,31

Cara perhitungan berdasarkan persatuan lebar *groundsill* (diambil 1 m lebar), jadi nilai  $P_i$  dikalikan 1 m.

$$P_{ix} = \text{luas bagian} \cdot 1 \cdot \gamma_w$$

$$P_{i1} = (3,43 \cdot 6,5) \cdot 1 \cdot 10 = 222,95 \text{ KN}$$

$$P_{i2} = (0,5 \cdot 6,5 \cdot 6,5) \cdot 1 \cdot 10 = 211,25 \text{ KN}$$

$$MP_{ix} = P_{ix} \cdot \text{lengan momen}$$

$$MP_{i1} = 222,95 \cdot 3,25 = 724,588 \text{ KN.m}$$

$$MP_{i2} = 211,25 \cdot 2,162 = 456,722 \text{ KN.m}$$

$$\sum MP_i = 570,238 + 225,229 = \mathbf{1181,31 \text{ KN.m}} \quad (\curvearrowright)$$

### Lampiran 9. Perhitungan tekanan tanah aktif

$$P_a = 0,5 K_a \gamma b H^2 - 2c\sqrt{K_a} H$$

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

Dengan :

$P_a$  = tekanan tanah aktif total, KN/m

$K_a$  = koefisien tekanan aktif

$\gamma_d$  = berat jenis tanah kering, KN/m<sup>3</sup>

$H$  = kedalaman tanah, m

$c$  = tegangan geser efektif, KN/m<sup>2</sup>

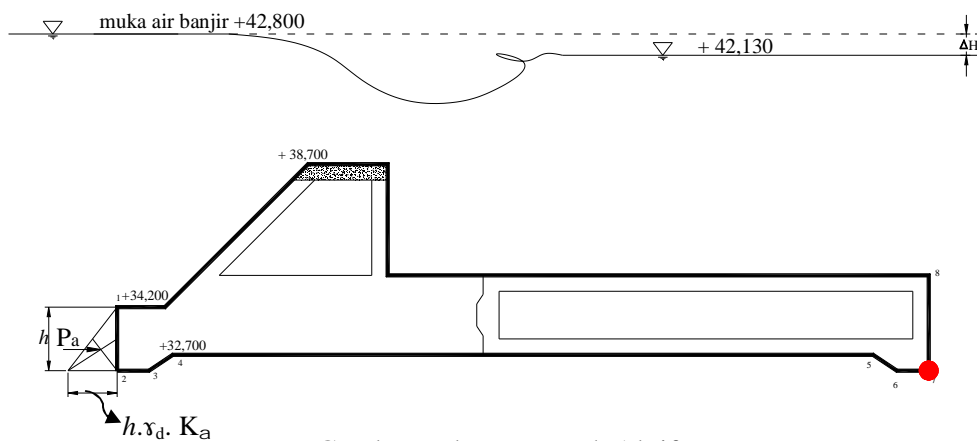
$\varphi$  = sudut gesek internal (°)

Dari data – data

Diketahui:  $\gamma_d = 18,4 \text{ KN/m}^3$

$\varphi = 37,42^\circ$

$c = 3 \text{ KN/m}^2$



Gambar Tekanan Tanah Aktif

$$K_a = \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\emptyset}{2})$$

$$K_a = \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{37,42}{2}) = 0,24$$

$$2cH_l \sqrt{K_a} = 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot \sqrt{0,24}$$

$$= 5,88 \text{ KN/m}^2 \text{ (Pengurangan tekanan aktif akibat tarikan)}$$

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma_d h_1^2 - 2c h_1 \sqrt{K_a}$$

$$= 0,5 \cdot 0,24 \cdot 18,4 \cdot 2^2 - 5,88$$

$$= \mathbf{2,95 \text{ KN/m}}$$

### Lampiran 10. Perhitungan Tekanan Tanah Pasif

Tekanan tanah Pasif adalah tanah yang bergerak berlawanan dari tanah aktif dan berfungsi menjaga kestabilan struktur yang dihitung dari tanah di hilir *ground sill*. Menurut Dirjen Pengairan, DPU 1986 digunakan rumus :

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma_b H_2^2 + 2 c H_2 \sqrt{K_p}$$

$$K_p = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

Dengan :

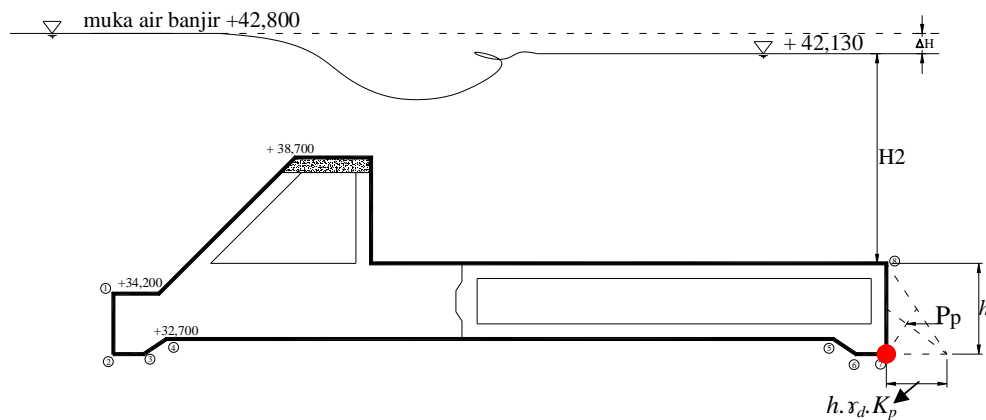
$P_p$  = Tekanan pasif total, KN/m

$K_p$  = Koefisien tekanan pasif

Diketahui :  $\gamma_d$  = 18,4 KN/m<sup>3</sup>

$\phi$  = 37,42°

$c$  = 3 KN/m<sup>2</sup>



Gambar Tekanan Tanah Pasif

$$K_p = tg^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$K_p = tg^2 \left( 45^\circ + \frac{37,42}{2} \right) = 4,10$$

$$2cH_2 \sqrt{K_p} = 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot \sqrt{4,10}$$

$$= 36,45 \text{ KN/m}^2 \text{ (Pengurangan tekanan Pasif akibat tarikan)}$$

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma_d h_2^2 + 2c h_2 \sqrt{K_p}$$

$$= 0,5 \cdot 4,10 \cdot 18,4 \cdot 3^2 + 36,45$$

$$= 375,93 \text{ KN/m}$$

Tabel rekapitulasi tekanan tanah

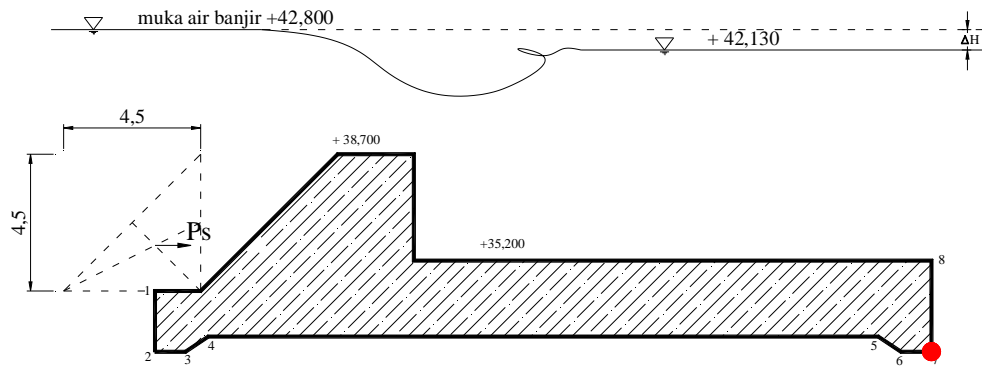
	Beban (KN)	Lengan Momen Terhadap Titik Guling (m)	Momen (KN.m)
$P_a$	2,95	0,67	1,98
$P_p$	375,93	1	375,93

**$MP = P \cdot \text{lengan momen}$**

$$MP_a = 2,95 \cdot 1 \cdot 0,67 = 1,98 \text{ KN.m} \quad ( \curvearrowright )$$

$$MP_i = 375,93 \cdot 1 \cdot 1 = 375,93 \text{ KN.m} \quad ( \curvearrowleft )$$

## Lampiran 11. Perhitungan Tekanan Butir Pasir



Gambar Tekanan Butir Pasir

$$P_s = \frac{\gamma_s H^2}{2} \left( \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right)$$

$$\gamma_s = \gamma_s' \cdot \left( \frac{G - 1}{G} \right)$$

Dengan :

$P_s$  = gaya yang terletak pada 2/3 kedalaman dari atas Butir Pasir yang bekerja secara horizontal (KN)

$\gamma_s$  = berat volume butir pasir, (KN/m<sup>3</sup>)

$H$  = dalamnya Butir Pasir, m

$\phi$  = sudut gesek internal (°)



Diketahui :

$$\varphi = 37,42^\circ \text{ (hasil geologi setempat)}$$

$$h = 4,5 \text{ m}$$

$$\gamma_s' = 18,73 \text{ KN/m}^3 \text{ (berat volume kering tanah).}$$

$$G = 2,85 \text{ (berat jenis butir)}$$

$$\gamma_s = 18,73 \left( \frac{2,85-1}{2,85} \right)$$

$$\gamma_s = 12,158 \text{ KN/m}^3$$

$$P_s = \frac{12,158 \cdot 4,5^2}{2} \left( \frac{1-\sin 37,42}{1+\sin 37,42} \right)$$

$$P_s = 30,04 \text{ KN/m} \cdot 1 \text{ m} = 30,04 \text{ KN}$$

Tabel perhitungan tekanan butir pasir

No Gaya	Besar Gaya (KN/m)	Lengan (m)	Momen (KN.m)
$P_s$	30,04	3,5	105,14
$\sum P_s$	30,04	$\sum MP_s$	105,14

$$MP_s = P_s \cdot \text{lengan momen}$$

$$MP_s = 30,04 \cdot 3,5 = \mathbf{105,14 \text{ KN.m}} \quad ( \curvearrowright )$$

## Lampiran 12. Perhitungan Gaya Gempa Akibat Struktur

Faktor-faktor beban akibat gempa yang digunakan pada bangunan pengairan diberikan dalam bentuk peta yang dibuat DPMA. Dalam KP-06 parameter bangunan dipakai rumus :

$$ad = n(ac \times z)^m$$

$$E = \frac{ad}{g}$$

$n = 1,56$  (karena tanah berjenis aluvium, yaitu tanah yang mengalami pengendapan oleh air sungai sehingga menjadi berlapis dengan endapan antara lain lempung, lanau, pasir dan kerikil) (lihat Tabel 5)

$m = 0,89$  (karena tanah berjenis aluvium, yaitu tanah yang mengalami pengendapan oleh air sungai sehingga menjadi berlapis dengan endapan antara lain lempung, lanau, pasir dan kerikil) (lihat Tabel 5.)

$ac = 160 \text{ cm/det}^2$  (untuk periode ulang 100 tahun, lihat Tabel 6.)

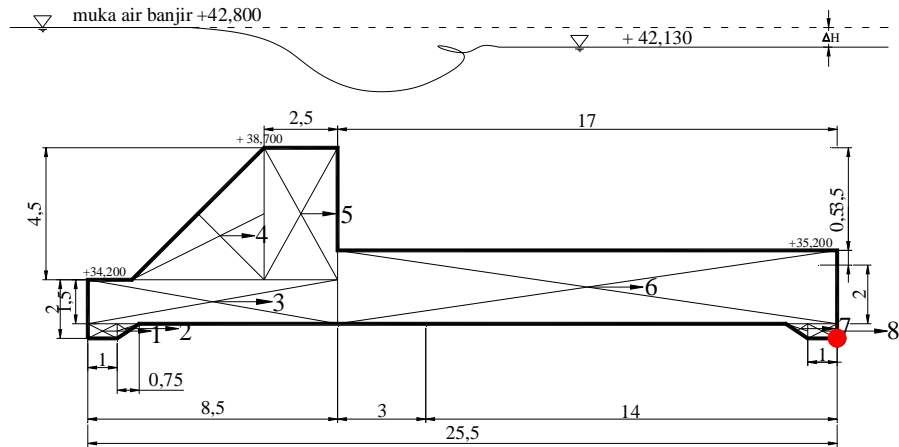
$g = 1000 \text{ cm/det}^2$

$z = 1$  (koefisien zona, lihat Gambar 17.)

$$\begin{aligned} ad &= n(ac \times z)^m \\ &= 1,56(160 \times 1)^{0,89} \end{aligned}$$

$$= 142,82 \text{ cm/det}^2$$

$$E = \frac{142,82}{1000} = 0,143$$



Gambar Gaya Gempa Bendung

Tabel 4.10 Rekapitulasi Gaya Gempa Akibat Struktur

No	Luas Pias (m <sup>2</sup> )	$\gamma_{beton}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Beban (KN)	Koefisien Gempa (E)	Beban Gempa (KN)	Lengan Momen Terhadap Dasar (m)	Momen (KN.m)
1	0,500	24	12,0	0,143	1,72	0,25	0,43
2	0,188	24	4,5	0,143	0,64	0,33	0,21
3	12,750	24	306,0	0,143	43,76	1,25	54,70
4	10,125	24	243,0	0,143	34,75	3,5	121,62
5	11,250	24	270,0	0,143	38,61	4,25	164,09
6	42,500	24	1020,0	0,143	145,86	1,75	255,26
7	0,188	24	4,5	0,143	0,64	0,33	0,21
8	0,500	24	12,0	0,143	1,72	0,25	0,43
$\Sigma Gp$					267,70	$\Sigma MGp$	596,95

Cara perhitungan berdasarkan persatuan lebar *groundsill* (diambil 1 m lebar), jadi nilai  $Gp$  dikalikan 1 m.

$$Gp = \text{luas bagian} \cdot 1 \cdot \gamma_{beton} \cdot E$$

$$Gp_1 = (1 \cdot 0,5) \cdot 1 \cdot 24 \cdot 0,143 = 1,72 \text{ KN}$$

$$Gp_2 = (0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,75) \cdot 1 \cdot 24 \cdot 0,143 = 0,64 \text{ KN}$$

$$Gp_3 = (8,5 \cdot 1,5) \cdot 1 \cdot 24 \cdot 0,143 = 43,76 \text{ KN}$$

$$Gp_4 = (0,5 \cdot 4,5 \cdot 4,5) \cdot 1 \cdot 24 \cdot 0,143 = 34,75 \text{ KN}$$

$$Gp_5 = (4,5 \cdot 2,5) \cdot 1 \cdot 24 \cdot 0,143 = 38,61 \text{ KN}$$

$$Gp_6 = (17 \cdot 2,5) \cdot 1 \cdot 24 \cdot 0,143 = 145,86 \text{ KN}$$

$$Gp_7 = (0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,75) \cdot 1 \cdot 24 \cdot 0,143 = 0,64 \text{ KN}$$

$$Gp_8 = (1 \cdot 0,5) \cdot 1 \cdot 24 \cdot 0,143 = 1,72 \text{ KN}$$

$$**MGp = Gp_x \cdot lengan momen**$$

$$M Gp_1 = 1,72 \cdot 0,25 = 0,43 \text{ KN.m}$$

$$M Gp_2 = 0,64 \cdot 0,33 = 0,21 \text{ KN.m}$$

$$M Gp_3 = 43,76 \cdot 1,25 = 54,70 \text{ KN.m}$$

$$M Gp_4 = 34,75 \cdot 3,5 = 121,62 \text{ KN.m}$$

$$M Gp_5 = 38,61 \cdot 4,25 = 164,09 \text{ KN.m}$$

$$M Gp_6 = 145,86 \cdot 1,75 = 255,26 \text{ KN.m}$$

$$M Gp_7 = 0,64 \cdot 0,33 = 0,21 \text{ KN.m}$$

$$M Gp_8 = 1,72 \cdot 0,25 = 0,43 \text{ KN.m}$$

$$\Sigma M Gp = 0,43 + 0,21 + 54,70 + 121,62 + 164,09 + 255,26 + 0,21 + 0,43 = \mathbf{596,95 \text{ KN.m}} \quad ( \curvearrowright )$$

Tabel Rekapitulasi Total Gaya dan Momen Yang Bekerja

No	Nama	Kode Gaya	Gaya / Beban KN	Kode Momen	Momen KN.m
Gaya Vertikal (KN)		V			
1	Berat sendiri	$\Sigma W$	1872	$\Sigma MW$	25623,75
2	Berat air	$\Sigma W_w$	1697,59	$\Sigma MW_w$	21405,86
3	Berat butir pasir	$\Sigma W_s$	205,166	$\Sigma MP_s$	4800,89
4	Tekanan Ke atas	$\Sigma U$	2509,01	$\Sigma MU$	31648,66
Gaya Horizontal (KN)		H			
1	Tekanan air hulu	$\Sigma P_u$	477,75	$\Sigma M P_u$	1323,904
2	Tekanan air hilir	$\Sigma P_i$	434,2	$\Sigma M P_i$	1181,31
3	Tekanan tanah aktif	$\Sigma P_a$	2,95	$\Sigma M P_a$	1,978
4	Tekanan tanah pasif	$\Sigma P_p$	375,93	$\Sigma M P_p$	375,93
5	Tekanan Butir Pasir	$\Sigma P_s$	30,04	$\Sigma M P_s$	105,14
6	Gempa	$\Sigma G_p$	267,7	$\Sigma M G_p$	596,95

### Lampiran 13. Perhitungan Kontrol Terhadap Penggulingan

$$SF = \frac{M_T}{M_G} \geq 1,5$$

$$\begin{aligned} M_T &= \sum MW + \sum MW_w + \sum MW_s + \sum MP_i + \sum MP_p \quad ( \curvearrowright ) \\ &= 25623,75 + 21405,86 + 4800,89 + 1181,31 + 375,93 \\ &= 53387,74 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_G &= \sum MU + \sum MP_u + \sum MP_a + \sum MP_s + \sum MG_p \quad ( \curvearrowleft ) \\ &= 31648,66 + 1138,5 + 2,97 + 86,49 + 596,95 \\ &= 34290,74 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

$$SF = \frac{53387,74}{34290,74} = 1,56 > 1,5 \dots\dots\dots \text{AMAN}$$

#### Lampiran 14. Perhitungan Kontrol Terhadap Pergeseran

$$SF = \frac{f \cdot \sum V}{\sum H} > 1,5$$

Dimana :

$$\begin{aligned}\sum V &= \sum W + \sum W_w + \sum W_s + \sum U \\ &= 1872 + 1697,59 + 205,166 + (-2506,43) \\ &= 1268,33 \text{ KN}\end{aligned}$$

$$f = 0,3 \text{ (koefisien gesek lempung lunak, lihat tabel 8.)}$$

$$\begin{aligned}\sum H &= \sum P_u + \sum P_i + \sum P_a + \sum P_p + \sum P_s + \sum Gp \\ &= (-477,75) + 434,2 + (-2,95) + 375,93 + (-30,04) + (-267,7) \\ &= 31,69 \text{ KN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SF &= \frac{1268,33 \cdot 0,3}{31,69} > 1,5 \\ &= 12 > 1,5 \dots\dots\dots \underline{\underline{\text{AMAN}}}\end{aligned}$$

### Lampiran 15. Perhitungan Eksentrisitas

$$B = 25,5 \text{ m}$$

$$M_T = 53387,74 \text{ KN.m}$$

$$M_G = 34290,74 \text{ KN.m}$$

$$\Sigma V = 1268,33 \text{ KN}$$

Besarnya nilai  $e$  adalah :

$$e = \left( \frac{M_T - M_G}{V} \right) - \frac{1}{2}B < \frac{B}{6}$$

$$= \left( \frac{52236,97 - 33473,57}{1229,33} \right) - \frac{1}{2} \cdot 25,5 < \frac{25,50}{6}$$

$$= 2,31 < 4,25 \quad \dots\dots\dots e < e \text{ ijin, sehingga rumus daya}$$

dukung tanah yang dipakai adalah rumus (2.39).



### Lampiran 16. Tinjauan Terhadap Daya Dukung Tanah

Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung tanah, Terzaghi (1943) menganalisis dengan anggapan bahwa keruntuhan terjadi pada kondisi keruntuhan geser umum (*general shear failure*), dikarenakan pondasi berbentuk memanjang dan juga karena tanah pada dasar pondasi *Groundsill* Bantar tersebut kasar serta juga pada pertemuan antara sisi baji dengan dasar pondasi membentuk sudut gesek dalam tanah  $\phi$ . Oleh Karena itu definisi rumusnya adalah :

$$q_u = \alpha \cdot c \cdot N_c + z \cdot \gamma \cdot N_q + \beta \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \quad (\text{lihat rumus no. 2.38})$$

Dari data dan hasil analisis dapat diketahui nilai :

$c = 0 \text{ KN/m}^2$  (dari hasil data geologi setempat, lihat Lampiran)

$\phi = 37,42^\circ$  (dari hasil data geologi setempat, lihat Lampiran)

$N_c = 70$  (diperoleh dari Gambar 20.)

$N_q = 60$  (diperoleh dari Gambar 20.)

$N_\gamma = 56$  (diperoleh dari Gambar 20.)

$\gamma = 21,5 \text{ KN/m}^3$

$B = 25,5 \text{ m}$

$\alpha = 1,09 + 0,21 B/L = 1,15$  (Tabel 9)

$\beta = 0,4$  (Tabel 9.)

$z = 3 \text{ m}$  (kedalaman pondasi dibawah permukaan)

$\Sigma V = 1229,33 \text{ KN}$

$q_u = 1,15 \cdot 3 \cdot 70 + 21,5 \cdot 3 \cdot 60 + 0,4 \cdot 21,5 \cdot 25,5 \cdot 56$

$= 16392,3 \text{ KN/m}^2$

$$q_{un} = q_u - \gamma \cdot z \quad (\text{rumus 2.43})$$

$$= 16392,3 - 21,5 \cdot 3$$

$$= 16327,8 \text{ KN/m}^2$$

Besarnya daya dukung izin :

$$q_a = \frac{q_{un}}{F} \quad (\text{rumus 2.42})$$

$$= \frac{16327,8}{3}$$

$$= 5442,6 \text{ KN/m}^2$$

Tinjauan Terhadap Daya Dukung Tanah

$$\sigma_{\text{maks}} = \frac{\Sigma V}{B} \cdot \left(1 + \frac{6e}{B}\right) < \sigma_{\text{izin}} \quad (\text{rumus 2.39})$$

$$= \frac{1229,33}{25,5} \cdot \left(1 + \frac{6 \times 2,51}{25,5}\right) < \sigma_{\text{izin}}$$

$$= 76,68 \text{ KN/m}^2 < 5442,6 \text{ KN/m}^2 \dots \dots \dots \underline{\text{AMAN}}$$

$$\sigma_{\text{min}} = \frac{\Sigma V}{B} \cdot \left(1 - \frac{6e}{B}\right) > 0$$

$$= \frac{1229,33}{25,5} \cdot \left(1 - \frac{6 \times 2,51}{25,5}\right) > 0$$

$$= 19,73 \text{ KN/m}^2 > 0 \text{ KN/m}^2 \dots \dots \dots \underline{\text{AMAN}}$$