

**PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN JEMBATAN DI DAERAH  
PERBUKITAN TERHADAP BAHAYA LONGSOR AKIBAT GERUSAN**

(Skripsi)

Oleh

**ADLINA MUTIARA PUTRI**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**

## **ABSTRACT**

### **BRIDGE BUILDING SAFETY PLANNING THE HILLS THE EROSION DANGER RESULT TO SCOUR**

**By**

**ADLINA MUTIARA PUTRI**

Erosion is one of the natural phenomena that cause large losses. Increasing population is creating the need for housing increases and changes in land use. Rainwater will continuously excessive seep into the ground, causing an increase in the weight of the soil. And the resulting shift and scouring material formed from the process flow instabilities increasingly large. Therefore, we need to plan the security building. This study aimed to analyze the planning and building security to overcome the erosion danger result to scour.

This research conducted hydrological analysis with maximum rainfall data CH Cisomang from 2001 to 2015. Having obtained the rain discharge plan, an analysis of hydraulics to analyze the protection structure is groundsill. Calculation of the shear and the bolsters. Furthermore, the hydraulic planning to do for an megrim and scour.

Value rain discharge for return period of 100 years with a rational method values obtained 226,8385 m<sup>3</sup>/sec. Rainfall intensity values obtained with Mononobe formula for return period of 100 years at 17,4336 mm / hour. Watershed drainage coefficient obtained at 0,7260 with a basin area 232,0086 km<sup>2</sup>. Groundsill secure against the danger of sliding and rolling. Megrim pool type that is USBR type IV with Froude number 3,8328 and need secure against scour. Based on the analysis performed, it was concluded that the appropriate safeguards are building groundsill.

Keywords: erosion, scouring, groundsill.

## ABSTRAK

### PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN JEMBATAN DI DAERAH PERBUKITAN TERHADAP BAHAYA LONGSOR AKIBAT GERUSAN

Oleh

**ADLINA MUTIARA PUTRI**

Longsor merupakan salah satu fenomena alam yang menimbulkan kerugian besar. Bertambahnya jumlah penduduk menyebabkan kebutuhan akan pemukiman bertambah dan perubahan tata guna lahan. Air hujan akan terus-menerus meresap secara berlebihan ke dalam permukaan tanah sehingga menyebabkan bertambahnya bobot tanah. Dan mengakibatkan terjadinya pergeseran material dan gerusan yang terbentuk dari proses ketidakstabilan aliran semakin lama semakin besar. Oleh karena itu, perlu dilakukan perencanaan bangunan pengaman. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan dan menganalisis bangunan pengaman untuk mengatasi bahaya longsor akibat gerusan.

Dalam penelitian ini dilakukan analisis hidrologi dengan data curah hujan maksimum CH Cisomang dari tahun 2001 sampai 2015. Setelah diperoleh debit hujan rencana, dilakukan analisis hidrolika untuk menganalisis bangunan pengaman yaitu *groundsill*. Perhitungan terhadap gaya geser dan guling. Selanjutnya dilakukan perencanaan hidrolis dilakukan untuk kolam olak dan gerusan.

Nilai debit hujan untuk kala ulang 100 tahun dengan metode rasional diperoleh nilai 226,8385 m<sup>3</sup>/detik. Diperoleh nilai intensitas hujan dengan rumus Mononobe untuk kala ulang 100 tahun sebesar 17,4336 mm/jam. Koefisien pengaliran pada DAS diperoleh sebesar 0,7260 dengan luas DAS 232,0086 km<sup>2</sup>. *Groundsill* aman terhadap bahaya geser dan guling. Tipe kolam olak yaitu USBR tipe IV dengan bilangan Froude 3,8328 dan perlu pengamanan terhadap gerusan. Berdasarkan analisis yang dilakukan, disimpulkan bahwa bangunan pengaman yang tepat yaitu *groundsill*.

Kata kunci : longsor, gerusan, *groundsill*

**PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN JEMBATAN DI DAERAH  
PERBUKITAN TERHADAP BAHAYA LONGSOR AKIBAT GERUSAN**

**Oleh**

**ADLINA MUTIARA PUTRI**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**

Judul Skripsi : **PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN  
JEMBATAN DI DAERAH PERBUKITAN  
TERHADAP BAHAYA LONGSOR AKIBAT  
GERUSAN**

Nama Mahasiswa : **Adlina Mutiara Putri**

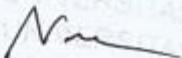
Nomor Pokok Mahasiswa : 1315011003

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

  
**Ir. Nur Arifaini, M.S.**  
NIP 19620218 199303 1 001

  
**Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D.**  
NIP 19670514 199303 1 002

**2. Ketua Jurusan Teknik Sipil**

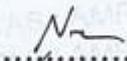
  
**Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D.**  
NIP 19700915 199503 1 006

## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

Ketua

: **Ir. Nur Arifaini, M.S.**



.....

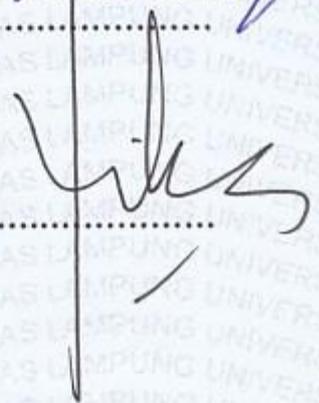
Sekretaris

: **Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D.** .....



Penguji

Bukan Pembimbing : **Ofik Taufik Purwadi, S.T., M.T.** .....



### 2. Dekan Fakultas Teknik



**Prof. Dr. Suharno, M.Sc.**

NIP 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **3 Mei 2017**

## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Skripsi dengan judul Perencanaan Bangunan Pengaman Jembatan Di Daerah Perbukitan Terhadap Bahaya Longsor Akibat Gerusan adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai tata etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 3 Mei 2017

Pembuat Pernyataan



Adlina Mutiara Putri

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 8 Juli 1995, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara dari Bapak Yanto dan Ibu Arniweli S.Pd.

Pendidikan Taman Kanak-Kanak (TK) Aisyah, Lampung diselesaikan pada tahun 2001, Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SD 2 Sukajawa, Lampung pada tahun 2004 sampai kelas tiga SD. Setelah itu melanjutkan ke SD 01 Curup, Bengkulu pada tahun 2007. Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan pada tahun 2010 di SMP Negeri 2 Curup Tengah, Bengkulu dan Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan di SMA Negeri 1 Curup, Bengkulu pada tahun 2013. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2013 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Penulis telah melakukan Kerja Praktek (KP) pada Proyek Pembangunan Apartemen *Parkland Avenue*, Tangerang Selatan selama 3 bulan. Penulis juga telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sidodadi, Kecamatan Bandar Surabaya, Kabupaten Lampung Tengah selama 40 hari pada periode Januari-Februari 2017. Penulis mengambil tugas akhir dengan judul Perencanaan

Bangunan Pengaman Jembatan di Daerah Perbukitan Terhadap Bahaya Longsor Akibat Gerusan.

Selama menjalani perkuliahan, penulis pernah menjadi Asisten Hidrologi pada tahun 2016-2017. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) sebagai anggota Bidang Hubungan Luar pada periode tahun 2014-2015.

# Persembahkan

Terima kasih untuk Ayah dan Ibu tercinta yang selalu mendoakan dan mendukung uni dalam segala hal. Terima kasih untuk hal sekecil apapun slalu mengerti uni. Terima kasih untuk kasih sayang, motivasi, dan semuanya. Walaupun jarak uni jauh dalam menggapai gelar sarjana ini. Terima kasih Bu, Ayah slalu membuat uni bangga bahwa uni memiliki orang tua sehebat dan setegar kalian. Terima kasih dapat memahami kondisi uni saat sedang terpuruk sekalipun. Doa yang tak pernah henti dilantunkan. Nasehat demi nasehat yang slalu diberikan.

Tak cukup hanya dengan kata terima kasih. Terima kasih slalu mengajarkan uni untuk mandiri, bahwa semua bisa dicapai asalkan berusaha dan berdoa. Untuk semua, semua yang telah Ibu dan Ayah berikan, tak cukup hanya kata terima kasih, tapi hanya itu yang dapat uni berikan sekarang. Maafin uni Bu, Ayah untuk keegoisan uni. Terima kasih untuk slalu percaya dan percaya dengan apa yang uni inginkan. Sehat slalu Ayah Ibu.

Ini semua khusus uni persembahkan untuk Ayah sama Ibu. Untuk gelar sarjana ini, menjadi suatu kebanggaan sebagai anak sulung yang slalu merindukan kalian. Jika tanpa doa dari Ayah Ibu semuanya takkan semudah ini. Uni sayang Ayah Ibu.

Kalian harus bahagia.

Untuk Nana, Billa dan Dharma, adikku tersayang yang sedang sama-sama berjuang demi masa depan. Untuk nana terima kasih dalam memahami keegoisan uni. Untuk Nana, Billa dan Dharma, teruslah belajar dek, teruslah berjuang, tujuan hidup kita sama yakni membuat bangga dan membahagiakan Ayah Ibu. Semoga kita sama-sama jadi orang sukses.

Untuk saudara-saudaraku yang telah memberikan dukungan, doa serta motivasi.

Untuk semua teman-temanku di sekolah, di kampus, di manapun kalian berada. Terima kasih sudah hadir dalam hidupku dan terima kasih telah mengizinkanku hadir dalam hidup kalian. Terima kasih telah mengajarkanku banyak hal dalam hidup ini.

Untuk semua guru-guru dan dosen-dosen yang telah mengajarkan banyak hal kepadaku. Terima kasih untuk ilmu, pengetahuan, dan pelajaran hidup yang sudah diberikan.

Untuk teman terdekatku, Muhammad Najmul Falah Novriansyah terima kasih atas motivasi dan doa yang telah diberikan kepadaku.

Untuk teman seperjuangan skripsiku, Putri Restu Barokah terima kasih atas motivasi, doa dan kebersamaan kita selama ini dalam mengejar gelar sarjana. Terima kasih untuk slalu dan slalu mengingatkanku sholat. Bahwasanya “Hati yang keras bisa jadi lembut kalau dibacain itu. Makin sayang sama Baginda Rasul”.

Untuk teman-teman spesialku, Fista, Mocin, Septi, Atika, Dian, Poppy, Oktary, Nanda, Debi, Astri, Zahra, Fitri A, Dhyna, Erny, Mita, Ardini, Lintang, Sella, Novia, Clara, Sani, Fazario, Guritno, Tammeld, Wan, Faishal, Singgih, Zunio, Doni, Illyasa, Yusrizal, Agnes, Zakia, Dwi, Renada, Nisa dan Pranita terima kasih untuk canda tawa yang selalu kalian berikan kepadaku selama ini. Kalian hebat. Harus cepat menyusul ya.

Dan untuk keluarga baruku, rekan seperjuanganku, Teknik Sipil Universitas Lampung Angkatan 2013. Kalian luar biasa. Harus cepat menyusul semuanya biar bisa sukses bareng-bareng biarpun di tempat yang berbeda-beda. Kalian pasti bisa.

# MOTTO

Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan.

**(QS. Al Insyirah : 6)**

Yakinlah ada sesuatu yang menantimu selepas banyak kesabaran (yang kau jalani) yang akan membuatmu terpana hingga kau lupa pedihnya rasa sakit.

**(Imam Ali bin Abu Thalib AS)**

Jadilah dirimu sendiri, agar kau puas dalam merasakan kehidupan ini.

**(M. Najmul Falah N.)**

Perbanyak sholawat bahwasanya "Hati yang keras bisa jadi lembut kalau dibaca itu. Makin sayang sama Baginda Rasul".

**(Putri Restu Barokah)**

"Mengapa lelah? Sementara Allah SWT selalu menyemangati dengan (Hayya 'alal Falah) bahwa jarak kemenangan hanya berkisar antara kening dan sajadah.

**(Anonim)**

Jika sesuatu ditakdirkan untukmu, sampai kapanpun tidak akan pernah menjadi milik orang lain.

**(Adlina Mutiara Putri)**

Buatlah orang tersenyum dan menjadi bahagia karena dirimu.

**(Adlina Mutiara Putri)**

## SANWACANA

Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas berkat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul Perencanaan Bangunan Pengaman Jembatan Di Daerah Perbukitan Terhadap Bahaya Longsor Akibat Gerusan. Skripsi ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Atas terselesainya skripsi ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Ir. Nur Arifaini, M.S., selaku Dosen Pembimbing 1 skripsi saya yang telah membimbing dalam proses penyusunan skripsi.
4. Bapak Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing 2 skripsi saya yang telah membimbing dalam proses penyusunan skripsi.
5. Bapak Ofik Taufik Purwadi, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji skripsi saya atas bimbingannya dalam seminar skripsi.
6. Bapak Ir. Idharmahadi Adha, M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak membantu penulis selama masa perkuliahan.

7. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung atas ilmu dan pembelajaran yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
8. Keluargaku tercinta terutama orang tuaku, Yanto dan Arniweli S.Pd., adikku Nana, Billa dan Dharma, serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan dan doa.
9. Teman-teman spesialku, keluarga baruku, rekan seperjuanganku, Teknik Sipil Universitas Lampung Angkatan 2013, Putri, Diego, Fista, Mocin, Septi, Dian, Atika, Poppy, Nanda, Debi, Oktary, Fitri A, Dhyna, Fazario, Doni, Yusrizal, Guritno, Wan, Tammeld, Zunio, Faishal, Astri, Zahra, Erny, Tika, Dwi, Pika, Cinta, Melly, Ardini, Lintang, Devi, Sella, Kiting, Vio, Novia, Clara, Sani, Widi, Hatwan, Illyasa, Adit, Jo, Agung, Ega, Andre, Angel, Nisa, Anwar, Apis, Arif, Aldo, Dani, Rizki, Dhini, Dipo, Dono, Efri, Fahmi, Gojo, Hariadi, Ato, Antok, Ibnu, Ikhfan, Ican, Ismawan, Jamal, Nay, Kasri, Fajar Kikay, Medi, Mohden, Molly, Mustika, Parsaulian, Abot, Ragil, Acil, Reston, Rioqisthi, Roy, Singgih, Theresia, Stephanus, Tipo, Tulus, Widi, Wan, Yogo, Yovi, Ucup seluruh kakak dan adik yang telah mendukung dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat diharapkan. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca. Terima kasih.

Bandar Lampung, Mei 2017

Penulis

**Adlina Mutiara Putri**



## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR TABEL</b> .....	i
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Batasan Masalah .....	3
D. Tujuan Penelitian .....	3
E. Manfaat Penelitian .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
A. Siklus Hidrologi .....	5
B. Tanah.....	6
C. Morfologi Sungai .....	7
D. Jembatan .....	7
E. Analisis Hidrologi .....	9
F. Perhitungan Hidrolis .....	15
G. Perencanaan Hidrolika .....	18
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	42
A. Wilayah Studi.....	42
B. Data yang Digunakan.....	42
C. Analisis Data .....	43
D. Bagan Alir Penelitian .....	44

<b>IV. PEMBAHASAN</b> .....	46
A. Analisis Hidrologi .....	46
B. Perhitungan Hidrolis .....	58
C. Analisis Hidrolika .....	65
D. Perencanaan Hidrolis .....	86
<b>V. PENUTUP</b> .....	90
A. Kesimpulan .....	90
B. Saran .....	91
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	92
<b>LAMPIRAN</b> .....	94

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Faktor-faktor penentu metode perhitungan hujan kawasan .....	15
2. Koefisien kekasaran Manning untuk permukaan saluran .....	20
3. Berat jenis bahan .....	29
4. Koefisien jenis tanah .....	31
5. Periode ulang dan percepatan dasar gempa ac .....	32
6. Harga perkiraan untuk koefisien gesek .....	34
7. Bentuk telapak pondasi .....	35
8. Harga minimum angka rembesan .....	38
9. Data curah hujan maksimum (CH) Cisomang .....	46
10. Parameter statistik curah hujan .....	47
11. Ketentuan dalam pemilihan distribusi .....	49
12. Perhitungan uji Chi-Kuadrat .....	50
13. Perhitungan metode Log Pearson III .....	52
14. Perhitungan curah hujan rencana .....	53
15. Perhitungan intensitas hujan .....	54
16. Perhitungan koefisien pengaliran .....	56
17. Perhitungan debit hujan dengan metode rasional .....	56
18. Hasil analisis gaya angkat pada x ( $P_x$ ) .....	66
19. Hasil analisis gaya <i>uplift</i> dan momen .....	68

20. Hasil analisis berat bangunan dan momen.....	70
21. Hasil analisis berat air dan momen .....	72
22. Hasil analisis berat butir pasir dan momen.....	73
23. Tekanan air di hulu dan momen.....	74
24. Tekanan air di hilir dan momen .....	75
25. Rekapitulasi tekanan tanah .....	78
26. Hasil analisis tekanan butir pasir dan momen.....	78
27. Rekapitulasi gaya gempa akibat struktur.....	80
28. Rekapitulasi total gaya dan momen yang bekerja .....	81

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Data Curah Hujan Maksimum CH Cisomang .....	95
2. Tabel Koefisien Pengaliran (C) .....	95
3. Tabel Nilai $\Delta$ kritik Uji Smirnov Kolmogorov .....	96
4. Tabel Daya Dukung Tanah.....	96
5. Tabel Nilai G untuk berbagai Cs positif dan T .....	98
6. Tabel Nilai G untuk berbagai Cs negatif dan T .....	99
7. Perhitungan analisis angka rembesan ( <i>piping</i> ) .....	100
8. Perhitungan analisis gaya angkat air ( <i>uplift</i> ).....	101
9. Perhitungan analisis berat bangunan.....	107
10. Perhitungan Analisis Berat Air yang Membebani Bangunan .....	110
11. Perhitungan Hasil Analisis Berat Butir Pasir .....	112
12. Perhitungan Hasil Analisis Tekanan Air.....	113
13. Perhitungan Tekanan Tanah Aktif .....	115
14. Perhitungan Tekanan Tanah Pasif.....	116
15. Perhitungan Hasil Analisis Tekanan Butir Pasir.....	117
16. Perhitungan Hasil Analisis Gaya Gempa Akibat Struktur .....	119
17. Perhitungan Kontrol Terhadap Penggulingan.....	124
18. Perhitungan Kontrol Terhadap Pergeseran .....	124

19. Perhitungan Eksentrisitas .....	125
20. Tinjauan Terhadap Daya Dukung Tanah .....	125
21. Tabel Uji Chi Kuadrat.....	128

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Siklus hidrologi .....	6
2. Bagian - bagian jembatan.....	8
3. Metode rerata aritmatik .....	11
4. Metode Thiessen .....	13
5. Metode Isohyet.....	14
6. Harga-harga koefisien $C_0$ untuk bendung ambang bulat sebagai fungsi perbandingan $H_1/r$ .....	16
7. Koefisien $C_1$ sebagai fungsi perbandingan $P/H$ .....	17
8. Harga-harga koefisien $C_2$ .....	17
9. <i>Groundsill</i> ambang datar.....	22
10. <i>Groundsill</i> ambang pelimpah.....	23
11. <i>Groundsill</i> .....	25
12. Gaya angkat pada pondasi <i>groundsill</i> .....	26
13. Gaya tekanan air.....	28
14. Berat sendiri <i>groundsill</i> .....	28
15. Tegangan samping aktif dan pasif .....	30
16. Koefisien zona gempa di Indonesia .....	32
17. Titik-titik yang dilalui rembesan.....	37

18. Grafik untuk menentukan $D_m$ .....	41
19. Wilayah studi .....	42
20. Bagan alir penelitian .....	45
21. Grafik logaritmik .....	51
22. Tata guna lahan Daerah Aliran Sungai .....	55
23. Peta situasi penelitian.....	57
24. Lebar efektif pada sungai .....	58
25. Hubungan antara $H_1/r$ dengan $C_o$ .....	59
26. Hubungan antara $P/H_1$ dengan $C_1$ .....	60
27. Hubungan antara $P/H_1$ dengan $C_2$ .....	60
28. Tampak atas <i>groundsill</i> .....	63
29. Detail <i>groundsill</i> .....	64
30. Detail ukuran <i>groundsill</i> .....	65
31. Tekanan angkat ( <i>uplift</i> ) .....	66
32. Gaya tekanan angkat ( <i>uplift</i> ) .....	68
33. Gaya berat bangunan <i>groundsill</i> .....	69
34. Beban air yang membebani bangunan pada saat banjir .....	72
35. Berat butir pasir.....	73
36. Tekanan air di hulu .....	74
37. Tekanan air di hilir.....	75
38. Tekanan tanah aktif.....	76
39. Tekanan tanah pasif .....	77
40. Tekanan butir pasir .....	78
41. Gaya gempa <i>groundsill</i> .....	79

42. Arah aliran .....	87
43. Kolam olah.....	87
44. Diameter butir (mm) .....	88

## DAFTAR NOTASI

$p$	= Hujan rerata kawasan
$p_1, p_2, \dots, p_n$	= Hujan di stasiun 1, 2, ..., n
$n$	= Jumlah stasiun
$A_1, A_2, \dots, A_n$	= Luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, ..., n
$I_1, I_2, \dots, I_n$	= Garis isohyet ke 1, 2, ..., n, n+1
$Q$	= Debit aliran sungai ( $m^3/dtk$ )
$A$	= Luas bagian penampang basah ( $m^2$ )
$V$	= Kecepatan aliran ( $m/dtk$ )
$R$	= Jari – jari hidrolis (m)
$I$	= Kemiringan dasar saluran
$C$	= Koefisien Chezy
$n$	= Koefisien Manning
$H$	= Beda tinggi muka air di hulu dan hilir (m)
$P_u$	= Tekanan air normal di hulu <i>groundsill</i>
$W_w$	= Berat air yang membebani bangunan (kN)
$W$	= Berat bangunan itu sendiri (kN)
$P_i$	= Tekanan air pasif di hilir <i>groundsill</i> (kN)
$P_a$	= Tekanan tanah aktif (kN)
$K_a$	= Koefisien tekanan tanah aktif

$P_p$	= Tekanan tanah pasif (kN)
$K_p$	= Koefisien tekanan tanah pasif
$U$	= Gaya angkat ke atas / tekanan air dibawah bangunan ( <i>uplift</i> ) (kN)
$P_s$	= Tekanan lumpur (kN)
$W_s$	= Berat butir pasir yang membebani bangunan (kN)
$MT$	= Momen tahan (kN.m)
$MG$	= Momen guling (kN.m)
$P_x$	= Gaya angkat pada x (kN/m <sup>2</sup> )
$L$	= Panjang total bidang kontak <i>groundsill</i> sampai tanah bawah (m)
$L_x$	= Jarak sepanjang bidang kontak dari hulu sampai x (m)
$H_x$	= Tinggi energi di hulu <i>groundsill</i> (m)
$\gamma_w$	= Berat jenis air (kN/m <sup>3</sup> )
$h_u$	= Kedalaman air di hulu (m)
$h_i$	= Kedalaman air di hilir (m)
$h$	= Tinggi air di atas mercu <i>groundsill</i>
$\gamma_b$	= 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 ( <sup>0</sup> )
$P_s$	= Gaya yang terletak pada 2/3 kedalaman dari atas lumpur yang bekerja secara horizontal

$\gamma_s$	= Berat jenis lumpur ( $\text{kN/m}^3$ )
$\gamma_s'$	= Berat volume kering tanah $\cong 16 \text{ kN/m}^3$ ( $= 1600 \text{ kgf/m}^3$ )
G	= Berat jenis butir = $2,85 \text{ kN/m}$
ad	= Percepatan gempa rencana ( $\text{cm/dtk}^2$ )
n, m	= Koefisien untuk jenis tanah
ac	= Percepatan kejut dasar ( $\text{cm/dtk}^2$ )
E	= Koefisien gempa
g	= Percepatan gravitasi ( $\text{cm/dtk}^2$ )
z	= Faktor yang bergantung kepada letak geografis
e	= Besarnya eksentrisitas konstruksi (m)
P	= Panjang konstruksi (m)
V	= Jumlah gaya vertikal (kN)
H	= Jumlah gaya vhorizontal (kN)
qu	= Daya dukung batas ( $\text{kN/m}^2$ )
$N_c, N_q$ dan $N_\gamma$	= Faktor-faktor daya dukung tak berdimensi
B	= Lebar telapak pondasi (m)
$\alpha$ dan $\beta$	= Faktor tak berdimensi
z	= Kedalaman pondasi di bawah permukaan (m)
qa	= Daya dukung izin ( $\text{kN/m}^2$ )
qu	= Daya dukung batas ( $\text{kN/m}^2$ )
F	= Faktor keamanan (2 sampai 3)
Lh	= Jumlah jarak horizontal lintasan (m)
Lv	= Jumlah jarak vertikal lintasan (m)
WCR	= <i>Weighted Creep Ratio</i>

$B_{\text{eff}}$	= Lebar efektif (m)
$B$	= Lebar sungai (m)
$K_a$	= Koefisien kontraksi pada dinding (0,1)
$K_p$	= Koefisien kontraksi pada pilar (0,01)
$H$	= Tinggi energi (m)
$C_d$	= Koefisien debit ( $C_d = C_o.C_1.C_2$ )
$m$	= Koefisien
$P$	= Keliling basah
$Fr$	= Bilangan Froude
$v_1$	= Kecepatan awal loncatan (m/dtk)
$y_1$	= Kedalaman air di awal loncat air (m)
$q$	= Debit per satuan lebar
$t$	= Tebal lantai kolam olak (m)
$s$	= Faktor keamanan
$G$	= Kedalaman gerusan (m)
$f$	= Faktor lumpur <i>Lacey</i> = 1,76
$D_m$	= Diameter rata-rata material

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Sungai adalah aliran air yang besar dan memanjang yang mengalir secara terus-menerus dari hulu (sumber) menuju hilir (muara). Akan tetapi dengan adanya air yang mengalir didalamnya, sungai menggerus tanah dasarnya terus menerus dan terbentuklah lembah-lembah sungai. Volume sedimen yang sangat besar yang dihasilkan dari keruntuhan tebing-tebing sungai di daerah pegunungan mengakibatkan kemiringan sungainya menjadi curam, sehingga gaya tarik aliran airnya cukup besar. (Sumber: Wikipedia)

Dengan adanya perubahan kemiringan yang mendadak pada alur sungai dari curam ke landai, terjadilah proses pengendapan yang sangat intensif. Pada daerah dataran yang aliran sungainya tidak stabil, terjadilah erosi pada tebing belokan luar yang berlangsung sangat intensif, sehingga terbentuklah *meander*. *Meander* adalah badan sungai yang berbelok-belok secara teratur dengan arah belokan mencapai setengah lingkaran. *Meander* umumnya terjadi pada ruas-ruas sungai di dataran rendah. (Sumber: Wikipedia)

Sifat-sifat suatu sungai dipengaruhi oleh luas dan bentuk daerah pengaliran serta kemiringannya. Topografi suatu daerah sangat berpengaruh terhadap

morfologi sungai yang ada, daerah dengan bentuk pegunungan pendek-pendek mempunyai daerah pengaliran yang tidak luas dan kemiringan dasarnya besar begitupun sebaliknya. Hal-hal yang berkaitan erat dengan morfologi sungai antara lain bentuk aliran, dimensi aliran, bentuk badan aliran, kemiringan saluran, daya tampung dan sifat alirannya.

Gerusan merupakan pembesaran dari suatu aliran yang disertai pemindahan material melalui aksi gerakan fluida. Proses penggerusan akan terjadi secara alami, baik karena pengaruh morfologi sungai maupun perubahan kondisi aliran. Transpor sedimen bertambah dengan meningkatnya tegangan geser sedimen.

Seiring dengan pertumbuhan penduduk, pembangunan di daerah perkotaan meningkat pesat. Kebutuhan akan sarana transportasi seperti jembatan juga meningkat. Hal ini menimbulkan komponen material yang digunakan dalam pembangunan perlu dipertimbangkan. Air hujan akan terus-menerus meresap secara berlebihan ke dalam permukaan tanah sehingga menyebabkan bertambahnya bobot tanah. Sehingga mengakibatkan terjadinya pergeseran material dan gerusan yang terbentuk dari proses ketidakstabilan aliran semakin lama semakin besar.

Pada umumnya, jembatan dibangun melintasi sungai yang memiliki pola aliran debris dapat menyebabkan ambruknya struktur bawah yang disebabkan oleh gerusan dan longsor. Dengan demikian untuk mencegah agar tidak terjadi

longsor akibat gerusan pada jembatan direncanakan bangunan pengaman yaitu *ground sill*.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bahwa aliran air di sungai yang cukup deras dapat menyebabkan terjadinya longsor akibat gerusan pada bagian bawah struktur jembatan. Sehingga bangunan pengaman yang direncanakan yaitu *ground sill*.

## **C. Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Wilayah studi, data tanah dan luas DAS.
2. Data curah hujan maksimum untuk menganalisis debit sungai.
3. Kala ulang yang digunakan dalam perencanaan adalah kala ulang 100 tahun.
4. Analisis yang dilakukan yaitu analisis hidrologi, analisis hidrolika, dan analisis geoteknik.

## **D. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menentukan tipe bangunan pengaman jembatan yang tepat di daerah tersebut yaitu *ground sill*.
2. Mengetahui hasil analisis bangunan tersebut apakah aman terhadap bahaya guling, geser dan penurunan daya dukung tanah.

## **E. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan informasi mengenai studi perencanaan bangunan pengaman jembatan sebagai usaha pengendalian tanah longsor akibat gerusan.
2. Memberikan masukan kepada pihak-pihak terkait perencanaan bangunan pengaman jembatan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

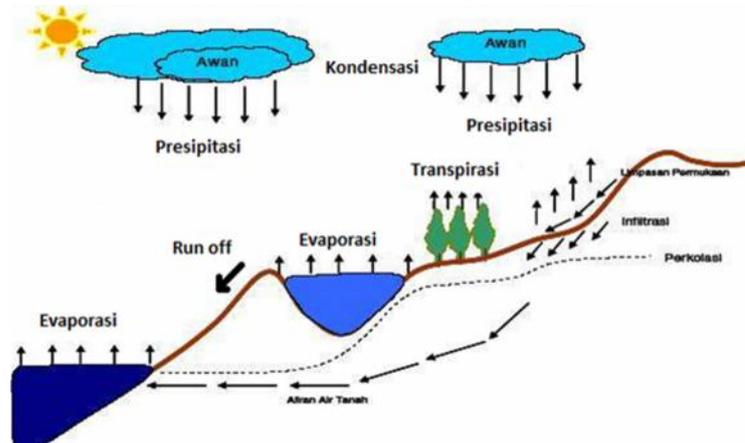
### A. Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi adalah proses kontinyu di mana air bergerak dari bumi ke atmosfer dan kemudian kembali ke bumi lagi (Triatmodjo, 2008). Air di permukaan tanah dan laut menguap ke udara akibat energi panas matahari. Uap air tersebut bergerak dan naik ke atmosfer. Dalam keadaan yang memungkinkan uap tersebut mengalami kondensasi dan berubah menjadi titik-titik air yang membentuk awan. Selanjutnya titik-titik air tersebut jatuh ke bumi sebagai presipitasi berupa hujan atau salju. Presipitasi tersebut ada yang jatuh di lautan, di darat, dan sebagian langsung menguap kembali sebelum mencapai ke permukaan bumi.

Presipitasi yang jatuh di permukaan bumi menyebar ke berbagai arah dengan beberapa cara. Hujan yang jatuh sebagian tertahan oleh tumbuh-tumbuhan (intersepsi) dan sisanya sampai ke permukaan tanah. Sebagian air yang sampai ke permukaan tanah akan meresap ke dalam tanah (infiltrasi) dan sebagian lainnya akan mengalir di atas permukaan tanah sebagai aliran permukaan atau *surface run off*. Aliran ini mengisi cekungan tanah, danau, masuk ke sungai dan akhirnya mengalir ke laut. Air yang meresap ke dalam tanah sebagian mengalir di dalam tanah (perkolasi) mengisi air tanah yang kemudian keluar

sebagai mata air atau mengalir ke sungai dan akhirnya kembali lagi menuju laut. Proses ini berlangsung terus menerus dan disebut siklus hidrologi.

Gambar 1. menunjukkan siklus hidrologi.



Gambar 1. Siklus hidrologi

## B. Tanah

Menurut Das (1988) tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut.

Pada umumnya tanah asli merupakan campuran dari butir-butir yang mempunyai ukuran yang berbeda-beda. Sistem ini relatif sederhana karena hanya didasarkan pada sistem distribusi ukuran butir tanah yang membagi tanah dalam beberapa kelompok, yaitu :

Pasir : Butiran dengan diameter 2,0 – 0,05 mm

Lanau : Butiran dengan diameter 0,05 – 0,02 mm

Lempung : Butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,02 mm.

### **C. Morfologi sungai**

Morfologi sungai adalah ilmu yang mempelajari tentang geometri, jenis dan perilaku sungai. Sifat-sifat sungai sangat dipengaruhi oleh luas dan bentuk Daerah Aliran Sungai (DAS) serta kemiringan sungai (Maryono, 2005).

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi morfologi sungai adalah :

1. Tempat dan tipe semua bangunan teknik sipil.
2. Pengaruh lingkungan seperti pembabatan atau pembakaran hutan.
3. Pengaruh kelautan yaitu air mengandung garam, sedimentasi dan erosi karena pengaruh gelombang dan angin laut, arus laut dan pasang surut.
4. Pengaruh gempa bumi, letusan gunung berapi, angin topan.

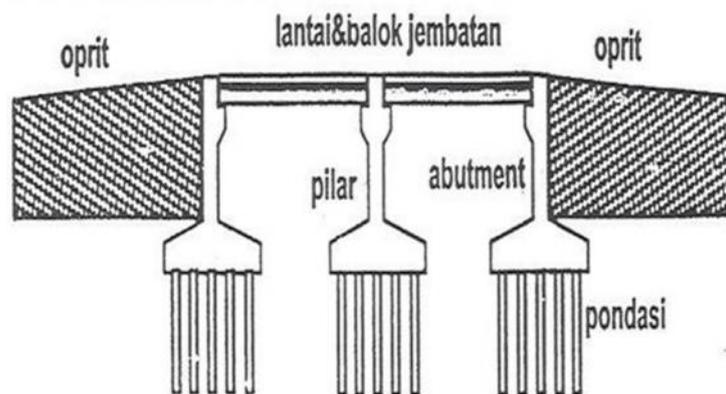
### **D. Jembatan**

Jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya jalan lain (jalan air atau jalan lalu lintas biasa). (Struyk dan Veen, 1984)

Jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyilang sungai/saluran air, lembah atau menyilang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Secara umum suatu jembatan berfungsi untuk melayani arus lalu lintas dengan baik, dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan estetika-arsitektural (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

Suatu bangunan jembatan pada umumnya terdiri dari 6 bagian pokok, yaitu :

1. Bangunan atas
2. Landasan (terletak pada pilar / abutment)
3. Bangunan bawah
4. Pondasi
5. Oprit
6. Bangunan pengaman jembatan



Gambar 2. Bagian - bagian jembatan

Fungsi utama bangunan bawah adalah memikul beban – beban pada bangunan atas dan pada bangunan bawahnya sendiri untuk disalurkan ke pondasi. Yang selanjutnya beban tersebut oleh pondasi disalurkan ke tanah.

Bangunan bawah jembatan ada dua macam yaitu :

1. Kepala jembatan (abutment)

Letak abutment yang berada di ujung jembatan maka abutment ini berfungsi juga sebagai penahan tanah. Pada umumnya abutment dilengkapi dengan konstruksi sayap yang berfungsi menahan tanah dalam arah tegak lurus as jembatan.

## 2. Pilar jembatan

Pilar ini belum tentu ada dalam suatu jembatan. Pada umumnya pilar jembatan terkena pengaruh aliran sungai sehingga didalam perencanaannya selain segi kekuatannya harus diperhitungkan juga segi keamanannya.

Sedangkan oprit terletak dibelakang abutment, oleh karena itu tanah timbunan di belakang abutment dibuat sepadat mungkin agar tidak terjadi penurunan tanah.

Daerah tempat aliran sungai berawal disebut sebagai daerah hulu sungai dan daerah tempat aliran sungai berakhir disebut daerah hilir sungai. Jadi dalam kondisi ideal, daerah aliran sungai dibedakan menjadi kawasan hulu, hilir dan pertengahan.

Aliran debris pada umumnya terjadi pada sungai-sungai di daerah perbukitan. Tipe aliran ini merupakan aliran yang sangat berbahaya dan bersifat merusak. Hal ini terjadi karena aliran debris mempunyai kecepatan yang tinggi serta membawa campuran sedimen dan material lainnya.

## **E. Analisis Hidrologi**

### a. Penentuan Hujan Kawasan

Alat pengukur hujan hanya memberikan nilai tinggi hujan di suatu titik. Untuk mengetahui tinggi hujan di suatu luasan dapat diperkirakan dari titik pengukuran tersebut. Dalam suatu luasan dapat tersedia beberapa alat pengukur hujan yang pembacaan tinggi hujannya berbeda-beda. Untuk

Untuk menentukan hujan rerata pada suatu luasan dapat dilakukan dengan tiga metode sebagai berikut.

1) Metode rerata aritmatik (aljabar)

Metode rerata aritmatik adalah metode paling sederhana untuk menghitung hujan rerata di suatu daerah. Metode ini menggunakan perhitungan curah hujan wilayah dengan merata-ratakan semua jumlah curah hujan yang ada pada wilayah tersebut. Cara ini dilakukan dengan mengukur secara bersamaan untuk waktu tertentu dari semua alat penakar dan dijumlahkan seluruhnya. Kemudian hasil penjumlahannya dibagi dengan jumlah penakar hujan maka akan dihasilkan rata-rata curah hujan di daerah tersebut. Metode ini kurang akurat bila digunakan untuk menghitung hujan di suatu daerah dengan variasi hujan di tiap stasiun cukup besar (Sosrodarsono 2003).

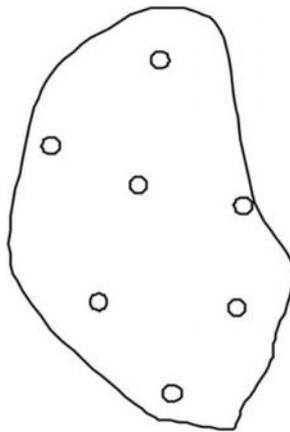
$$\bar{p} = \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_n}{n} \quad (1)$$

Keterangan :

$\bar{p}$  = hujan rerata kawasan

$p_1, p_2, \dots, p_n$  = hujan di stasiun 1, 2, ..., n

n = jumlah stasiun



Gambar 3. Metode rerata aritmatik

## 2) Metode Thiessen

Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing alat pengukur hujan yang mewakili luasan di sekitarnya. Masing-masing stasiun hujan ditentukan luas daerah pengaruhnya berdasarkan poligon yang dibentuk. Cara ini diperoleh dengan membuat poligon yang memotong tegak lurus pada tengah-tengah garis penghubung dua stasiun hujan. Dengan demikian tiap stasiun penakar akan terletak pada suatu poligon tertentu (Sosrodarsono 2003).

Langkah-langkah yang dilakukan untuk membentuk poligon Thiessen adalah sebagai berikut.

- a) Stasiun hujan digambarkan pada peta DAS yang akan ditinjau, termasuk stasiun hujan di luar DAS yang letaknya berdekatan.
- b) Stasiun-stasiun tersebut dihubungkan dengan garis lurus sehingga membentuk segitiga-segitiga, yang sebaiknya mempunyai sisi dengan panjang yang tidak terlalu berbeda.

- c) Garis berat dibuat pada sisi-sisi segitiga dengan membuat garis tegak lurus tepat di tengah-tengah sisi-sisi segitiga tersebut.
- d) Garis-garis berat tersebut membentuk poligon yang mengelilingi tiap stasiun. Tiap stasiun mewakili luasan yang dibentuk oleh poligon. Untuk stasiun yang berada di dekat batas DAS, garis batas DAS menjadi batas poligon.
- e) Luas tiap poligon diukur dan dikalikan dengan tinggi hujan di stasiun yang berada di dalam poligon.
- f) Jumlah dari perkalian antara luas poligon dan tinggi hujan dibagi dengan total luas daerah yang ditinjau.

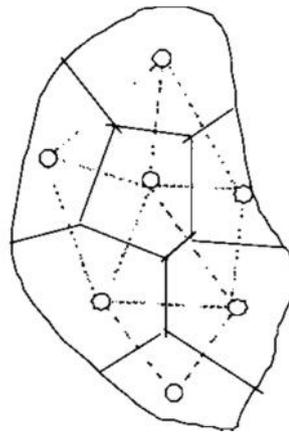
$$\bar{p} = \frac{A_1 p_1 + A_2 p_2 + A_3 p_3 + \dots + A_n p_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2)$$

Keterangan :

$\bar{p}$  = hujan rerata kawasan

$p_1, p_2, \dots, p_n$  = hujan di stasiun 1, 2, ..., n

$A_1, A_2, \dots, A_n$  = luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, ..., n



Gambar 4. Metode Thiessen

### 3) Metode Isohyet

Isohyet adalah garis-garis yang menghubungkan titik-titik dengan tinggi hujan yang sama. Metode isohyet memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap-tiap pos penakar hujan. Pada metode isohyet, dianggap bahwa data hujan pada suatu luasan di antara dua garis isohyet adalah merata dan sama dengan rerata dari nilai kedua garis isohyet tersebut.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pembuatan garis isohyet adalah sebagai berikut.

- a) Lokasi stasiun hujan dan tinggi hujan digambarkan pada peta DAS yang akan ditinjau.
- b) Dari nilai tinggi hujan di stasiun yang berdampingan dibuat interpolasi sesuai pertambahan nilai yang ditetapkan.
- c) Kurva dibuat menghubungkan titik-titik interpolasi yang memiliki tinggi hujan yang sama.

- d) Luas daerah antara dua garis isohyet yang berurutan diukur dan dikalikan dengan nilai tinggi hujan rerata dari nilai kedua garis isohyet.
- e) Jumlah perhitungan dari langkah 4 untuk seluruh garis isohyet dibagi dengan luas daerah yang ditinjau untuk mendapatkan tinggi hujan rerata di daerah tersebut.

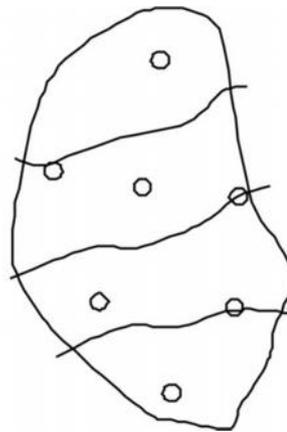
$$\bar{p} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + A_3 \frac{I_3 + I_4}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (3)$$

Keterangan :

$p$  = hujan rerata kawasan

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

$A_1, A_2, \dots, A_n$  = luas daerah yang dibatasi oleh stasiun 1, 2, ..., n



Gambar 5. Metode Isohyet

Terlepas dari kelemahan dan kekurangan ketiga metode di atas, pemilihan metode yang cocok didasarkan pada tiga faktor yaitu jaring-jaring pos penakar hujan, luas DAS, topografi DAS.

Tabel 1. Faktor-faktor penentu metode perhitungan hujan kawasan

	Jaring pos penakar hujan	Luas DAS	Topografi DAS
Metode aljabar	Jumlah pos terbatas	DAS kecil (< 500 km <sup>2</sup> )	Pegunungan
Metode Thiessen	Jumlah pos cukup	DAS sedang (500-5000 km <sup>2</sup> )	Dataran
Metode isohyet	Jumlah pos cukup	DAS besar (> 5000)	Berbukit dan tidak beraturan

Sumber : Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan, Suripin, 2004

## F. Perhitungan Hidrolis

### a. Lebar efektif

Lebar total bendung tidak seluruhnya dapat dimanfaatkan untuk melewati debit yang ada. Jadi lebar efektif bendung lebih pendek dari lebar bendung yang sebenarnya.

$$B_{\text{eff}} = B - 2 \frac{(n \cdot K_p + K_a) \cdot H}{3} \quad (4)$$

Dimana,

$B_{\text{eff}}$  = Lebar efektif (m)

$B$  = Lebar sungai (m)

$n$  = Jumlah pilar

$K_a$  = Koefisien kontraksi pada dinding (0,1)

$K_p$  = Koefisien kontraksi pada pilar (0,01)

$H$  = Tinggi energi (m)

b. Tinggi muka air banjir di atas mercu

Perhitungan tinggi muka air banjir di atas mercu menggunakan persamaan debit dengan mercu bulat.

$$Q = C_d \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \cdot g} \cdot B_{\text{eff}} \cdot H^{1.5} \quad (5)$$

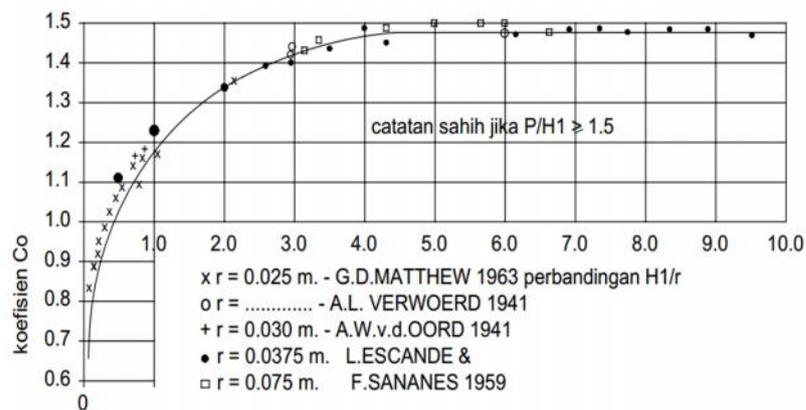
$$k = \frac{v^3}{g} = \frac{Q}{B_{\text{eff}} \cdot H} \quad (6)$$

Dimana,

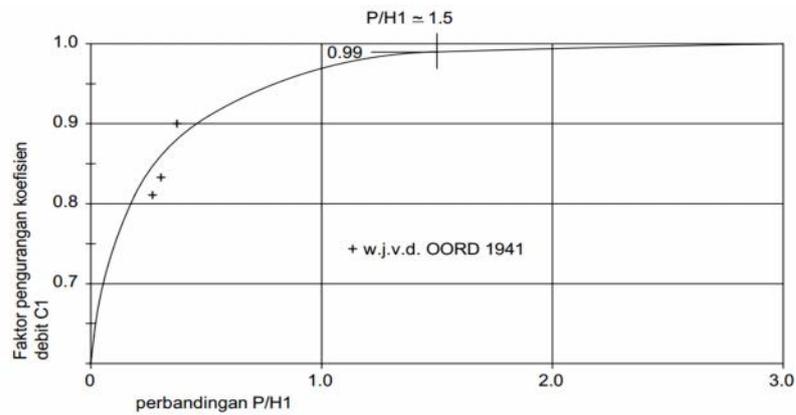
$Q$  = debit ( $\text{m}^3/\text{dtk}$ )

$C_d$  = koefisien debit ( $C_d = C_o \cdot C_1 \cdot C_2$ )

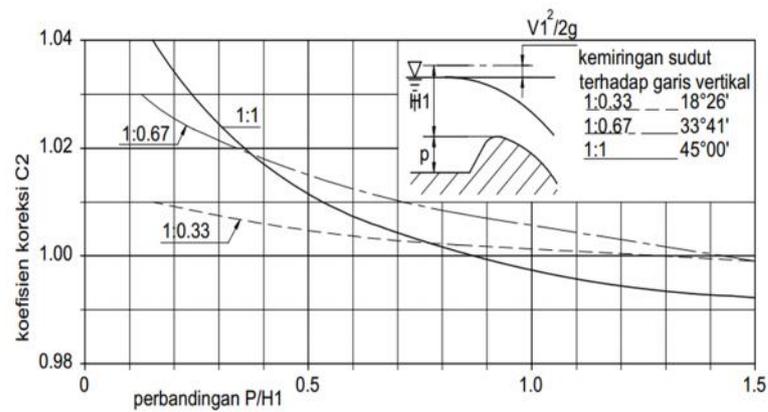
$g$  = percepatan gravitasi  $\text{m}/\text{dtk}^2$



Gambar 6. Harga-harga koefisien  $C_o$  untuk bendung ambang bulat sebagai fungsi perbandingan  $H_1/r$



Gambar 7. Koefisien  $C_1$  sebagai fungsi perbandingan P/H



Gambar 8. Harga-harga koefisien  $C_2$

c. Tinggi muka air banjir di hilir

Perhitungan tinggi muka air banjir di hilir menggunakan persamaan

Rumus Chezy :

$$A = (B_{eff} + m \cdot h)h \tag{7}$$

$$P = B_{eff} + 2h \sqrt{m^2 + 1} \tag{8}$$

$$R = \frac{A}{P} \tag{9}$$

$$V = C \cdot \sqrt{R \cdot I} \tag{10}$$

$$Q = A \cdot V \tag{11}$$

Dimana,

$B_{eff}$  = Lebar efektif (m)

m	= Koefisien
R	= Jari-jari hidrolis
A	= Luas penampang ( $m^2$ )
P	= Keliling basah (m)
I	= Kemiringan dasar saluran

## G. Perencanaan Hidrolika

### 1) Jenis Aliran

Aliran adalah suatu perjalanan objek dari satu tempat ke tempat lainnya dalam jaringan kerja. Berdasarkan karakteristik struktural internal aliran fluida dibedakan menjadi dua macam, yaitu aliran turbulen dan aliran laminar.

1. Aliran turbulen adalah aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling interaksi. Aliran turbulen mempunyai bilangan reynold yang lebih besar dari 4000.
2. Aliran laminar adalah aliran fluida yang bergerak dengan kondisi lapisan-lapisan yang membentuk garis-garis alir dan tidak berpotongan satu sama lain. Aliran laminar mempunyai bilangan reynold lebih kecil dari 2300.

### 2) Debit

Debit sungai adalah volume air yang mengalir melalui suatu penampang lintang pada suatu titik tertentu per satuan waktu, pada umumnya dinyatakan  $m^3/detik$ . Debit sungai diperoleh setelah mengukur kecepatan air dengan alat pengukur atau pelampung untuk mengetahui data

kecepatan aliran sungai dan kemudian mengalirkannya dengan luas melintang (luas potongan lintang sungai) pada lokasi pengukuran kecepatan tersebut. (Sosrodarsono dan Tominaga, 1984).

$$Q = V \times A \quad (12)$$

Keterangan:

Q = Debit aliran sungai (m<sup>3</sup>/dtk)

A = Luas bagian penampang basah (m<sup>2</sup>)

V = Kecepatan aliran (m/dtk)

Berbagai alat ukur kecepatan aliran adalah sebagai berikut:

- a. Pengukuran kecepatan aliran dengan pelampung (*floating method*);
- b. Pengukuran menggunakan alat ukur arus (*current meter*);
- c. Pengukuran kecepatan aliran dengan menggunakan zat warna (*dilution method*).

### 3) Klasifikasi saluran terbuka

Saluran terbuka adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Saluran terbuka dapat diklasifikasikan kedalam jenis-jenis yang berbeda berdasarkan kriteria-kriteria yang ditentukan :

1. Aliran seragam dan tak seragam
2. Aliran tetap dan tak tetap
3. Aliran sub kritis dan super kritis

Seperti yang telah diketahui, bahwa perhitungan untuk aliran melalui saluran terbuka hanya dapat dilakukan dengan menggunakan rumus – rumus empiris. Didapatkan persamaan umum sebagai berikut :

$$V = C \sqrt{R \cdot I} \quad (13)$$

Keterangan :

V = Kecepatan aliran (m/dtk)

R = Jari – jari hidrolis (m)

I = Kemiringan dasar saluran

C = Koefisien Chezy

Sedangkan rumus Manning yang banyak digunakan pada pengaliran di saluran terbuka, juga berlaku untuk pengaliran di pipa.

$$C = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \quad (14)$$

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2} \quad (15)$$

Keterangan :

C = Koefisien Chezy

n = Koefisien Manning

I = Kemiringan dasar saluran

V = Kecepatan aliran (m/dtk)

R = Jari – jari hidrolis (m)

Tabel 2. Koefisien kekasaran Manning untuk permukaan saluran

Bahan	Koefisien Manning (n)
Besi tuang dilapis	0,014
Kaca	0,010
Saluran beton	0,013
Bata dilapis mortar	0,015
Pasangan batu disemen	0,025
Saluran tanah bersih	0,022

Bahan	Koefisien Manning (n)
Saluran tanah	0,030
Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0,040
Saluran pada galian batu padas	0,040

Sumber : Hidraulika II Bambang Triatmodjo (2013).

Tabel di atas dapat dipakai apabila material saluran pada dinding dan dasarnya adalah seragam, tetapi apabila saluran yang dasar dan dindingnya mempunyai koefisien yang berbeda, maka digunakan koefisien rata-ratanya.

Faktor-faktor yang berpengaruh dalam menentukan harga koefisien kekasaran Manning (n) adalah sebagai berikut:

- 1) kekasaran permukaan saluran;
- 2) vegetasi sepanjang saluran;
- 3) ketidakraturan saluran;
- 4) trase saluran landas;
- 5) pengendapan dan penggerusan;
- 6) adanya perubahan penampang;
- 7) ukuran dan bentuk saluran; dan
- 8) kedalaman air.

#### 4) *Groundsill*

*Groundsill* atau 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 (Sarsin, 2012).

Akibat gaya tarik (*tractive force*) aliran sungai meningkat serta keseimbangan dasar sungai terganggu dan terjadilah pergeseran-pergeseran dasar sungai untuk mencari keseimbangan yang baru.

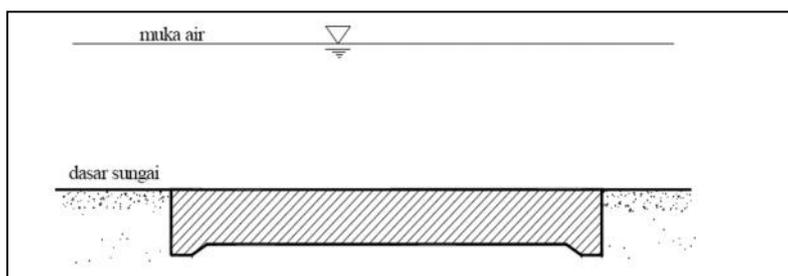
Proses pergeseran antara lain akan terjadi secara vertikal yang berupa penurunan dasar sungai. Dalam keadaan seperti hal ini diperlukan adanya bangunan *groundsill* guna menstabilkan dasar sungai tersebut.

Jenis dan bentuk *groundsill* dibagi menjadi : (Sosrodarsono, 1984)

a. *Groundsill* berdasarkan bentuk mercu, yaitu :

1. Tipe ambang datar (*bed gindle work*)

Adalah jenis *groundsill* dimana hampir tidak memiliki terjunan dan elevasi mercunya hampir sama dengan permukaan dasar sungai dan berfungsi untuk menjaga agar permukaan dasar sungai tidak menjadi turun kembali.

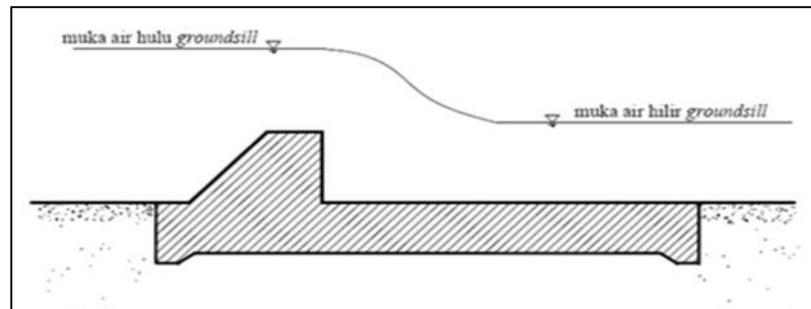


Gambar 9. *Groundsill* ambang datar

2. Tipe ambang pelimpah (*head work*)

Tipe ini memiliki terjunan sehingga elevasi permukaan dasar sungai di sebelah hulu *groundsill* lebih tinggi dari elevasi

permukaan dasar sungai di sebelah hilirnya dan tujuannya adalah untuk melandaikan kemiringan dasar sungai.



Gambar 10. *Groundsill* ambang pelimpah

- b. *Groundsill* berdasarkan bentuk terhadap melintang sungai, yaitu :
1. Tipe tegak lurus adalah *groundsill* dengan bentuk tegak lurus terhadap arah aliran sungai.
  2. Tipe diagonal adalah *groundsill* dengan bentuk diagonal terhadap aliran sungai.
  3. Tipe polygonal.
  4. Tipe lengkung.
- c. Dilihat dari konstruksinya *groundsill* dapat dibedakan menjadi :
1. *Groundsill* beton adalah *groundsill* yang material utamanya berbahan beton. Keuntungan dari konstruksi ini adalah pemeliharaan sangat mudah yaitu dengan menambah lapisan-lapisan blok-blok beton dengan penimbunan lapis selanjutnya di atas timbunan lama jika terjadi penurunan dasar sungai.
  2. *Groundsill* pasangan batu, biasanya dibuat untuk tipe dengan ambang datar dengan tinggi tekanan yang kecil di bagian tengah sungai. Biasanya hamparan batu atau blok-blok beton

dipergunakan sebagai pondasi tubuh ambang dan permukaannya diliputi dengan pasangan batu, batu kosong maupun batu biasa. Untuk jenis batu biasa dipergunakan pada bagian sungai yang arusnya deras.

3. *Groundsill* matras adalah jenis *groundsill* yang dibentuk dari batang-batang dan disusun hingga mendapatkan ketinggian ambang. *Groundsill* jenis ini ada jenis matras beton, matras kayu dan matras ranting.

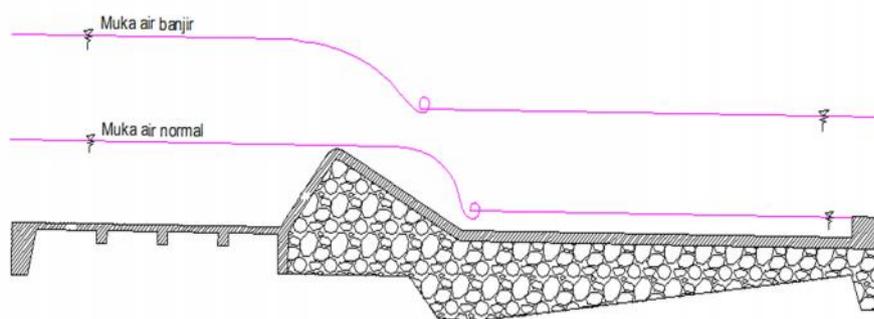
d. Bagian-bagian pada bangunan *groundsill*:

1. Tubuh bendung (*main dam*), merupakan bangunan utama dari *groundsill* memiliki ketinggian mercu yang harus diperhitungkan secara hidrolis agar mendapatkan gradasi dasar sungai yang stabil dan aman.
2. Lantai terjun pada tubuh bendung memiliki kelandaian tertentu dan mempunyai fungsi secara langsung terhadap energi loncatan air pada kolam olah.
3. Apron hilir (*down-stream apron*), termasuk bagian dari kolam olah dengan panjang yang ditentukan berdasarkan ketinggian muka air hulu yang berfungsi untuk melindungi dasar sungai dari turbulensi air yang jatuh pada lantai terjun.
4. Apron depan (*up-stream apron*), merupakan bagian *groundsill* yang berada di sebelah hulu bendung dengan fungsi mengurangi pengaruh *piping* pada *groundsill*.

5. *Side wall* dan *wing wall*, adalah bangunan pengarah aliran sungai dan merupakan bagian yang rentan terhadap gerusan maupun ketidakstabilan tanah fondasinya. Bangunan ini perlu pula dilindungi terhadap bahaya *piping* dengan memasang tirai (*sheet pile*) pada dasar pondasinya.
6. *Rip-rap*, adalah bagian pelengkap *groundsill* yang berfungsi melindungi dasar sungai dari gerusan akibat energi turbulensi air pada bagian ujung apron hilir. *Rip-rap* dapat terbuat dari bronjong batuan yang disusun hingga ketebalan yang dinyatakan aman terhadap bahaya pasir apung (*quick sand*). Bagian ini biasa disebut dengan lantai konsolidasi.

#### 5) Perhitungan pada *groundsill*

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



Gambar 11. Groundsill

Dimana,

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

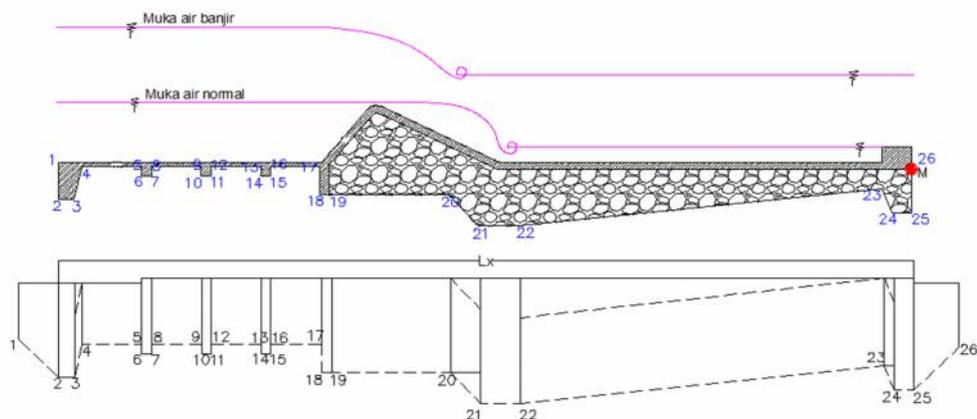
$P_u$  = Tekanan air normal di hulu *groundsill* (m)

$W_w$  = 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)  
 $MT$  = Momen tahan (kN.m)  
 $MG$  = Momen guling (kN.m)

a. Tekanan air (*uplift*)

Bidang horizontal 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.



Gambar 12. Gaya angkat pada pondasi *groundsill*

Gaya angkat pada titik x di sepanjang dasar *groundsill* dengan mengacu gaya angkat pada bendung dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_x = H_x - \frac{L_x}{L} \cdot \Delta H \quad (16)$$

Dimana,

$P_x$  = 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)

$H$  = Beda tinggi energi (m)

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

#### b. Gaya hidrostatis

Gaya tekan air atau gaya hidrostatis 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.

$$P_u = \left( \frac{1}{2} \cdot h_u^2 \right) - \left( \frac{1}{2} \cdot h_i^2 \right) \cdot \gamma_w \quad (17)$$

$$P_i = \left( \frac{1}{2} \cdot h_1^2 \right) - \left( \frac{1}{2} \cdot h_2^2 \right) \cdot \gamma_w \quad (18)$$

Dimana,

$P_u$  = Tekanan air hidrostatis di hulu (kN)

$P_i$  = Tekanan air hidrostatis di hilir (kN)

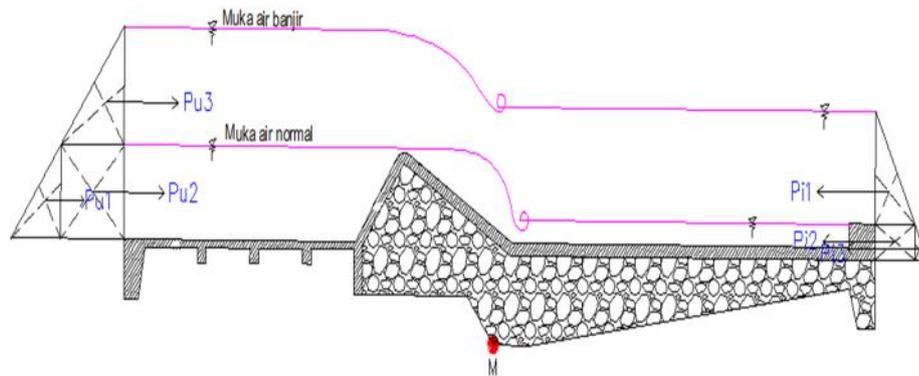
$\gamma_w$  = Berat jenis air (kN/m<sup>3</sup>)

$h_u$  = Kedalaman air di hulu (m)

$h_i$  = Kedalaman air di hilir (m)

$h_1$  = Tinggi air di atas mercu *groundsill* bagian hulu

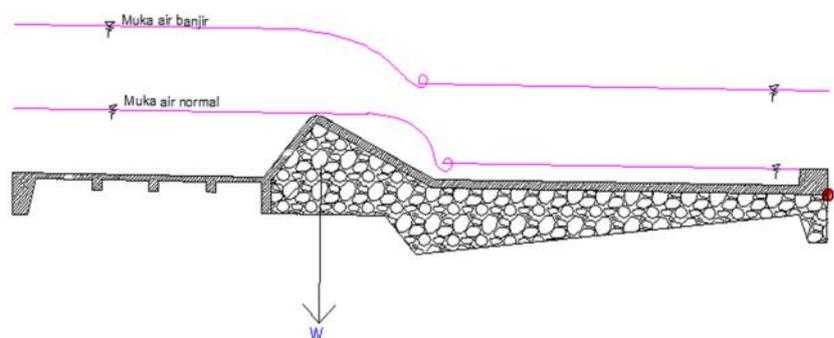
$h_2$  = Tinggi air di atas mercu *groundsill* bagian hilir



Gambar 13. Gaya tekanan air

c. 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 3.

Tabel 3. Berat Jenis Bahan

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

Sumber : KP-02 Pengairan (1986).

d. Tekanan tanah

Tekanan dari samping yaitu tekanan samping aktif dan pasif yang digunakan dalam suatu bangunan dapat kita ketahui sebagai berikut :

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma_1 \cdot H_1^2 - 2 \cdot c \cdot H_1 \cdot \sqrt{K_a} \quad (19)$$

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot \gamma_1 \cdot H_2^2 + 2 \cdot c \cdot H_2 \cdot \sqrt{K_p} \quad (20)$$

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (21)$$

$$K_p = \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (22)$$

Dimana,

$P_a$  = Tekanan tanah aktif (kN/m)

$P_p$  = Tekanan tanah pasif (kN/m)

$K_a$  = Koefisien tegangan aktif

$K_p$  = Koefisien tegangan pasif

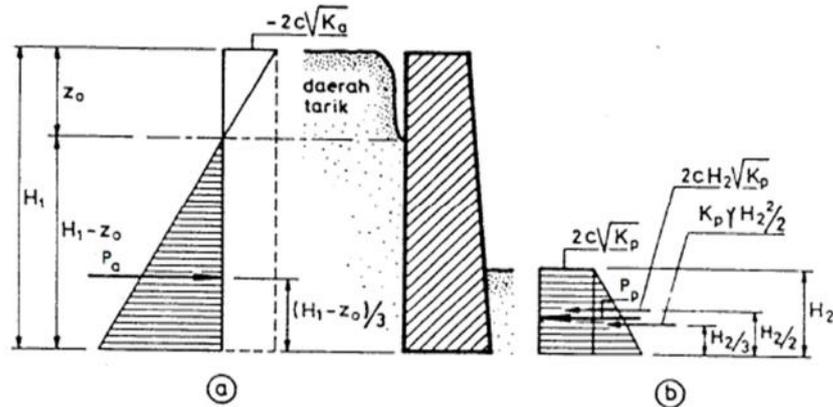
$\gamma_1$  = Berat volume tanah (kN/m<sup>3</sup>)

$H_1$  = Tinggi tanah untuk tekanan aktif (m)

$H_2$  = Tinggi tanah untuk tekanan pasif (m)

$c$  = Kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )

$\phi$  = Sudut gesek ( $^\circ$ )



Gambar 15. Tegangan samping aktif dan pasif

e. Tekanan butir pasir

Tekanan lumpur yang bekerja terhadap muka hulu *groundsill* dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_s = \frac{\gamma_s h^2}{2} \left( \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right) \quad (23)$$

Dimana,

$P_s$  = Gaya yang terletak pada 2/3 kedalaman dari atas lumpur yang bekerja secara horizontal

$\gamma_s$  = Berat jenis lumpur ( $\text{kN/m}^3$ )

$h$  = Dalamnya lumpur (m)

$\phi$  = Sudut gesekan ( $^\circ$ )

Beberapa anggapan dapat dibuat sebagai berikut :

$$\gamma_s = \gamma_s' \cdot \frac{G-1}{G} \quad (24)$$

Dimana,

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

$G =$  berat jenis butir = 2,85 kN/m

f. 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. Dengan cara mengalikan massa bangunan sebagai gaya horizontal menuju arah paling tidak aman (arah hilir) sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$ad = n (ac \cdot z)_{mm}^{mm \cdot cl} \quad (25)$$

$$E = \frac{a}{g} \quad (26)$$

Dimana,

$ad =$  Percepatan gempa rencana ( $\text{cm/dtk}^2$ )

$n, m =$  Koefisien untuk jenis tanah

$ac =$  Percepatan kejut dasar ( $\text{cm/dtk}^2$ )

$E =$  Koefisien gempa

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

$Z =$  Faktor yang bergantung kepada letak geografis

Tabel 4. Koefisien Jenis Tanah

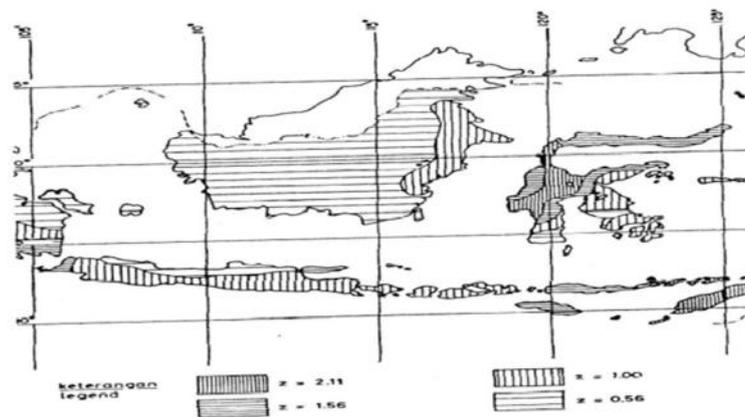
Jenis	n	m
Batu	2,76	0,71
Diluvium	0,87	1,05
Aluvium	1,56	0,89
Aluvium lunak	0,29	1,32

Sumber : KP-06 Pengairan (1986).

Tabel 5. Periode ulang dan percepatan dasar gempa ac

Periode ulang tahun	ac ( gal = cm/dt <sup>2</sup> )
20	85
100	160
500	225
1000	275

Sumber : KP-06 Pengairan (1986).



Gambar 16. Koefisien Zona Gempa di Indonesia

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 horizontal.

#### 6) 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:

$$e = \frac{\sum M}{\sum V} - \frac{B}{2} < \frac{1}{6} B \quad (27)$$

$$M = MT - MG \quad (28)$$

Dimana,

$e$  = Besarnya eksentrisitas konstruksi (m)

$B$  = Panjang konstruksi (m)

$MT$  = Momen tahan (kN.m)

$MG$  = Momen guling (kN.m)

$\Sigma V$  = Jumlah gaya vertikal (kN)

#### 7) Stabilitas *groundsill*

Dalam perhitungan stabilitas *groundsill*, diperlukan kontrol sebagai berikut :

##### a. Kontrol terhadap bahaya guling

Agar stabilitas bangunan baik, maka bangunan harus aman terhadap guling. Resultan semua gaya yang bekerja pada bagian bangunan di atas bidang horizontal, termasuk gaya angkat, harus memotong bidang pada teras. Momen penggulingan ini dilawan oleh momen akibat berat sendiri bangunan *groundsill* dan momen akibat berat tanah di atas pondasi (Cristady, 1992).

##### b. 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 ( $V = 0$  dan  $M = 0$ ). 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 *groundsill* disebabkan karena gaya horizontal lebih besar dari gaya-gaya vertikal digunakan rumus :

$$SF = f \cdot \frac{\sum V}{\sum H} > 1,5 \quad (29)$$

$$V = MW + MW_w + MW_s + MU \quad (30)$$

$$H = MP_u + MP_i + MP_a + MP_p + MP_s + MG_p \quad (31)$$

Tabel 6. Harga perkiraan untuk koefisien gesek

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

Sumber : KP-02 Pengairan (1986).

c. Kontrol terhadap daya dukung

Jika tanah mengalami pembebanan, maka tanah tersebut akan mengalami 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, 1992).

Terdapat 2 persyaratan yang harus dipenuhi dalam merancang pondasi yaitu :

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

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

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

$$q_u = a. c. N_c + z. \gamma. N_q + \beta. B. \gamma. N_\gamma \quad (32)$$

Dimana,

$q_u$  = 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

$\gamma$  = 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)

Tabel 7. Bentuk telapak pondasi

Bentuk	$\frac{L}{B}$	$\frac{z}{B}$
Jalur/strip	1,0	0,5
Bujur sangkar	1,3	0,4
Segiempat (L x B)	$1,09 + 0,21 B/L$	0,4
Lingkaran (diameter = B)	1,3	0,3

Sumber : KP-06 Pengairan (1986).

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 di atasnya. 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:

$$e = \frac{\sum M_T - M^-}{\sum V} \times \left( \frac{1}{2} \cdot P \right) \quad (33)$$

$$\sigma_{maks} = \frac{\sum V}{B \left( 1 + \frac{6e}{B} \right)} \leq \sigma_{izin} \quad (34)$$

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

$$\sigma_{maks} = \frac{2V}{3 \cdot \left( \frac{B}{2} - e \right)} \leq \sigma_{izin} \quad (35)$$

Besarnya daya dukung ijin bisa dicari dari :

$$q_a = \frac{q_{un}}{F} \quad (36)$$

$$q_{un} = q_u - \gamma \cdot z \quad (37)$$

Dimana,

$q_a$  = Daya dukung ijin ( $\text{kN/m}^2$ )

$q_u$  = Daya dukung batas ( $\text{kN/m}^2$ )

$F$  = Faktor keamanan (2 sampai 3)

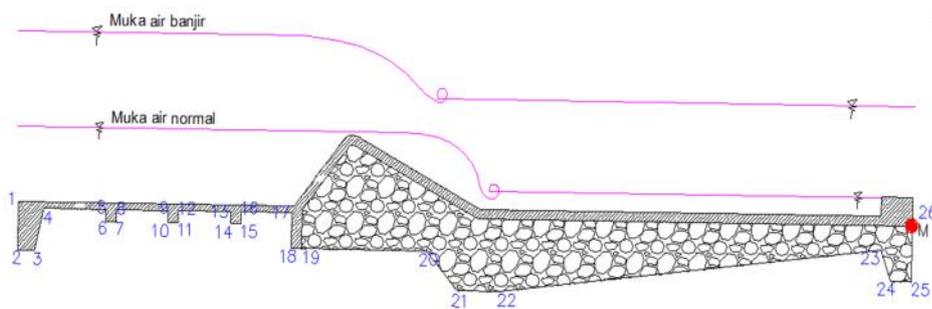
d. Kontrol terhadap daya dukung rembesan (*piping*)

*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 *ground sill* (Christady, 1992).

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

$$Lw = \frac{\sum Lh}{8} + \sum Lv \quad (38)$$



Gambar 17. Titik-titik yang dilalui rembesan

Dimana,

$Lw$  = *weighted creep distance* (m)

$Lh$  = jumlah jarak horizontal lintasan (m)

$Lv$  = jumlah jarak vertikal lintasan (m)

$$WCR = \frac{Lw}{\Delta H} \quad (39)$$

Dimana,

$WCR$  = *Weighted Creep Ratio*

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

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

Tabel 8. Harga minimum angka rembesan

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
Lempeng lunak	3,0
Lempeng sedang	2,0
Lempeng keras	1,8
Lempeng sangat keras	1,6

Sumber : KP-02 Pengairan (1986).

## 8) Kolam olak

### a. Penentuan tipe kolam olak

Tipe kolam olak yang akan direncana di sebelah hilir bangunan bergantung pada energi air yang masuk, yang dinyatakan dengan bilangan Froude dan pada bahan konstruksi kolam olak.

Berdasarkan bilangan Froude, dapat dibuat pengelompokan-pengelompokan berikut dalam perencanaan kolam :

1. Untuk  $Fr > 1,7$  tidak diperlukan kolam olak; pada saluran tanah, bagian hilir harus dilindungi dari bahaya erosi; saluran pasangan batu atau beton tidak memerlukan lindungan khusus.
2. Bila  $1,7 < Fr < 2,5$  maka kolam olak diperlukan untuk meredam energi secara efektif. Pada umumnya kolam olak dengan ambang

ujung mampu bekerja dengan baik. Untuk penurunan muka air  $Z < 1,5$  m dapat dipakai bangunan terjun tegak.

3. Jika  $2,5 < Fr < 4,5$  maka akan timbul situasi yang paling sulit dalam memilih kolam olak yang tepat. Loncatan air tidak terbentuk dengan baik dan menimbulkan gelombang sampai jarak yang jauh di saluran. Cara mengatasinya adalah mengusahakan agar kolam olak untuk bilangan Froude ini mampu menimbulkan olakan (turbulensi) yang tinggi dengan blok halangnya atau menambah intensitas pusaran dengan pemasangan blok depan kolam. Blok ini harus berukuran besar (USBR tipe IV).
4. Kalau  $Fr > 4,5$  ini akan merupakan kolam yang paling ekonomis. karena kolam ini pendek. Tipe ini, termasuk kolam olak USBR tipe.

Dalam perhitungan kolam olak ini, direncanakan pada saat banjir dengan  $Q_{100}$ , untuk mengecek apakah diperlukan kolam olak atau tidak, maka perlu dicari nilai Froude (Fr).

$$v_1 = \frac{1}{\sqrt{2,5}} \sqrt{0,5H_1} \quad (40)$$

$$y_1 = \frac{q}{v_1} = \frac{Q_{100}}{v_1 \cdot B_e} \quad (41)$$

$$q = y_1 \cdot v_1 \cdot B_e \quad (42)$$

$$Fr = \frac{v_1}{\sqrt{g \cdot y_1}} \quad (43)$$

$$y_2 = \frac{y_1}{2} \left( 1 + \sqrt{1 + Fr_1^2} \right) \quad (44)$$

Dimana,

$Fr$  = Bilangan Froude

$v_1$  = Kecepatan awal loncatan (m/dtk)

$g$  = Percepatan gravitasi =  $9,8 \text{ m/dtk}^2$

$y_1$  = Kedalaman air di awal loncat air (m)

$q$  = Debit per satuan lebar

Panjang lantai kolam olak

Perhitungan panjang kolam olak USBR tipe IV :

$$L = (1,0 \sim 2,0)(P + H) - 0,2H \quad (45)$$

Dimana,

$P$  = Tinggi mercu (m)

$H$  = Tinggi muka air di hulu *groundsill* (m)

b. Tebal lantai kolam olak

Tebal lantai olak dipengaruhi oleh tinggi rencana dan tinggi muka air di hulu bendung.

Persamaan :

$$a = (0,1 \sim 0,2)(0,6P + 3H - 1) \quad (46)$$

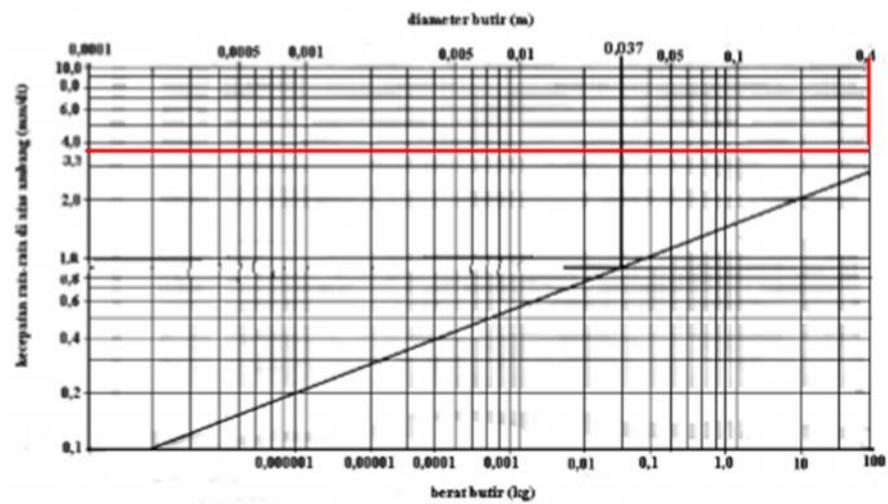
Dimana,

$P$  = Tinggi mercu (m)

$H$  = Tinggi muka air di hulu bendung (m)

c. Tinjauan terhadap gerusan

Tinjauan terhadap gerusan digunakan untuk menentukan tinggi dinding halang di ujung hilir *groundsill*. Berikut grafik untuk menentukan diameter material.



Gambar 18. Grafik untuk menentukan  $D_m$

Untuk menghitung kedalaman gerusan digunakan Metode *Lacey*.

Persamaan :

$$V_{\text{rata-rata}} = \frac{Q}{A} \quad (47)$$

$$f = 1,76 \cdot \sqrt{D_m} \quad (48)$$

$$G = 0,47 \cdot \left(\frac{Q}{f}\right)^{3/2} \quad (49)$$

Dimana,

$G$  = Kedalaman gerusan (m)

$f$  = Faktor lumpur *Lacey* = 1,76

$D_m$  = Diameter rata-rata material

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Wilayah Studi



Gambar 19. Wilayah Studi

#### B. Data yang Digunakan

##### 1. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh langsung di lapangan.

##### 2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data-data yang diperoleh dari instansi-instansi terkait penelitian ini. Adapun data sekunder yang digunakan adalah sebagai berikut.

##### a. Data curah hujan maksimum

- b. Karakteristik dan luas DAS
- c. Morfologi sungai
- d. Data pada *groundsill*
- e. Data tanah

### **C. Analisis Data**

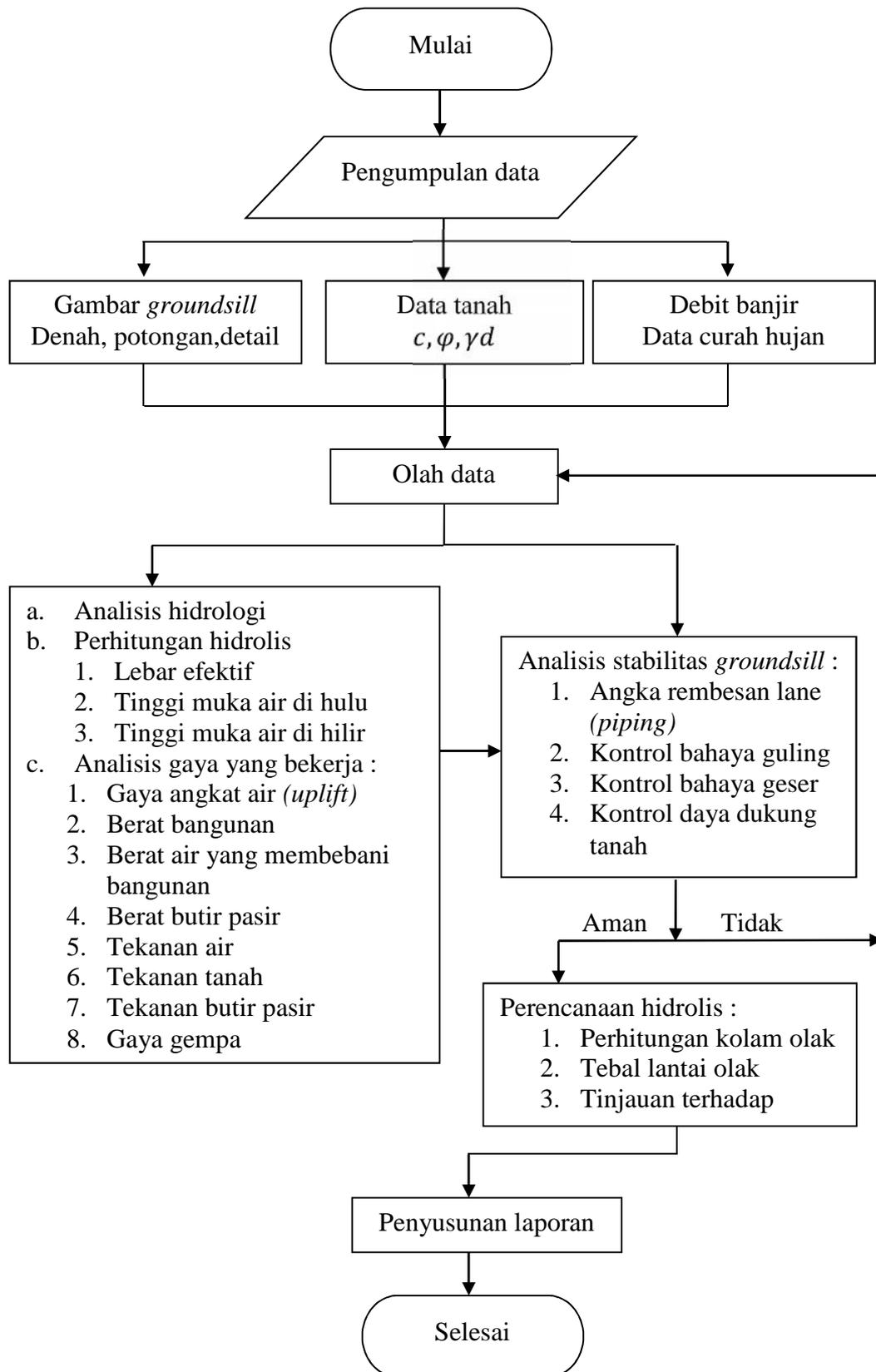
Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengumpulkan data curah hujan yang diperlukan.
2. Mencari hujan maksimum dari masing-masing data hujan.
3. Melakukan analisis frekuensi dengan Metode Normal, Log Normal, Log Person III, dan Gumbel.
4. Memilih distribusi yang paling cocok untuk digunakan.
5. Melakukan uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov dan Chi-Kuadrat.
6. Melakukan perhitungan intensitas hujan dengan rumus Mononobe.
7. Melakukan perhitungan debit banjir dengan Metode Rasional.
8. Menghitung lebar efektif.
9. Menghitung tinggi muka air di hulu *groundsill*.
10. Menghitung tinggi muka air di hilir *groundsill*.
11. Menghitung angka rembesan (*piping*) pada *groundsill*.
12. Menghitung gaya angkat air (*uplift*) pada *groundsill*.
13. Menghitung berat bangunan pada *groundsill*.
14. Menghitung berat air yang membebani bangunan pada *groundsill*.
15. Perhitungan berat butir pasir pada *groundsill*.
16. Perhitungan tekanan air pada *groundsill*.

17. Perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif pada *groundsill*.
18. Perhitungan tekanan butir pasir pada *groundsill*.
19. Perhitungan gaya gempa akibat struktur pada *groundsill*.
20. Kontrol terhadap penggulingan pada *groundsill*.
21. Kontrol terhadap pergeseran pada *groundsill*.
22. Tinjauan terhadap eksentrisitas.
23. Tinjauan terhadap daya dukung tanah.
24. Menghitung perencanaan hidrolis.
25. Menghitung kolam olak.
26. Menghitung tebal lantai olak.
27. Menghitung tinjauan terhadap gerusan.

#### **D. Bagan Alir Perhitungan**

Untuk menyederhanakan kegiatan penelitian, maka dibentuklah suatu bagan alir penelitian sebagai berikut



Gambar 20. Bagan Alir Penelitian

## V. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dan pengolahan data, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan pengukuran dispersi diperoleh distribusi yang cocok adalah Distribusi Log Pearson III dan diperoleh nilai curah hujan rencana untuk kala ulang 100 tahun sebesar 317,5970 mm. Diperoleh nilai intensitas hujan dengan rumus Mononobe untuk kala ulang 100 tahun sebesar 17,4336 mm/jam. Koefisien pengaliran pada DAS diperoleh sebesar 0,7260 dengan luas DAS 232,0086 km<sup>2</sup>. Nilai debit hujan untuk kala ulang 100 tahun dengan metode rasional diperoleh nilai 226,8385 m<sup>3</sup>/detik.
2. *Groundsill* aman terhadap erosi bawah (*piping*) karena pada nilai WCR hitung < dari nilai WCR (untuk tanah pasir kasar).
3. *Groundsill* 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 di tentukan yaitu 1,5.
4. *Groundsill* 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.

5. *Groundsill* 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.
6. Perhitungan kolam olak yang digunakan yaitu kolam olak USBR tipe IV dikarenakan  $Fr$  berada diantar  $2,5 < Fr < 4,5$  yaitu  $Fr$  3,8328.
7. Berdasarkan perhitungan kedalaman gerusan, gerusan  $>$  kedalaman, yaitu  $3,1045 \text{ m} > 2,297 \text{ m}$ , sehingga konstruksi perlu pengaman terhadap gerusan.

## **B. Saran**

Saran yang dapat diberikan penulis berdasarkan pembahasan dan pengolahan data yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Data hujan yang digunakan sebaiknya data hujan jam-jaman sehingga hasil yang diperoleh lebih akurat.
2. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai dampak pembuatan *groundsill* secara sosial dan ekonomi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E., 1991, *Analisa dan Desain Pondasi*, Edisi keempat Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Christady, Hardiyanto, H., 1992, *Mekanika Tanah I*. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Istiarto, 2008, *Groundsill Pengaman Jembatan Kretek Yogyakarta*, Yogyakarta.
- KP-02, 1986, Perencanaan Hidrolis, Bab 4, Hal. 48-76.
- KP-02, 1986, Perencanaan Bangunan, Bab 6, Hal. 129-131.
- KP-04, 1986, Kolam Olak, Bab 6, Hal. 152-170.
- KP-06, 1986 Parameter Bangunan, Hal. 17-33.
- M Das, Braja, 1998, *Mekanika Tanah (Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jakarta.
- Mangore, Vicky Richard, 2013, *Perencanaan Bendung Untuk Daerah Irigasi Sulu*. Jurnal Sipil Statik Vol.1 No.7, Hal. 533-541.
- Maryono., 2005, *Eko-hidrolika Pembangunan Sungai Edisi Kedua*. Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Mulyandari, Rita, 2010, *Kajian Gerusan Lokal Pada Ambang Dasar Akibat Variasi  $Q$  (Debit),  $I$  (Kemiringan) dan  $T$  (Waktu)*, Surakarta.
- Robydiansyah, 2012, *Kajian Ulang Stabilitas Geser dan Guling Parafet di Sungai Grindulu Kabupaten Pacitan*. Yogyakarta.
- Sarsin, 2012, *Kontrol Stabilitas Groundsill Bantar di Kali Progo Kabupaten Bantul*, Yogyakarta.
- Sosrodarsono., 2003, *Hidrologi untuk Pengairan*. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sosrodarsono, S., dan Tominaga, M., 1984, *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.

Supriyadi , Bambang & Muntohar, Agus Setyo, 2007, *Jembatan*, Beta Offset.

Suripin, 2004, *Sistem Drainase Yang Berkelanjutan*, Penerbit Andi Offset,  
Yogyakarta.

Suryolelono, Basah K, 1994, *Teknik Fondasi Bagian II*, Nafiri, Yogyakarta.

Triatmodjo, Bambang, 2008, *Hidrologi Terapan*, Cetakan Pertama, Yogyakarta,  
Beta Offset.

Triatmodjo, Bambang, 2013, *Hidraulika II*. Cetakan ke-9, Yogyakarta, Beta  
Offset.

Van Der Veen, & Struyk, H.J., 1984, *Jembatan*, Jakarta.