

TESIS

ANALISIS PERILAKU EROSI PADA DASAR SUNGAI BAGIAN HILIR BANGUNAN *GROUNDSILL*

(Studi Kasus: Bangunan *Groundsill* DI. Gung Desa
Lebaksiu Lor, Kecamatan Lebaksiu Kabupaten Tegal)

Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan Guna Mencapai Gelar
Magister Teknik (MT)



Disusun Oleh:

Nama : Mukh 'Allaam Fauzi

NIM : 20202200041

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

2024

HALAMAN PERSETUJUAN TESIS

**ANALISIS PERILAKU EROSI PADA DASAR SUNGAI
BAGIAN HILIR BANGUNAN *GROUNDSILL***

Disusun oleh:

MUKH 'ALLAAM FAUZ, ST

NIM: 20202200041

Telah disetujui oleh:

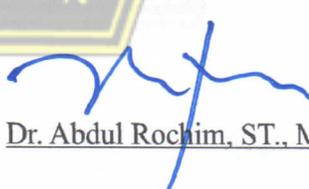
Tanggal, 07 Agustus 2024

Tanggal, 07 Agustus 2024

Pembimbing I

Pembimbing II


Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D


Dr. Abdul Rochim, ST., MT

HALAMAN PENGESAHAN TESIS
ANALISIS PERILAKU EROSI PADA DASAR SUNGAI
BAGIAN HILIR BANGUNAN *GROUNDSILL*

Disusun Oleh:

MUKH 'ALLAAM FAUZI, S.T

NIM: 20202200041

Dipertahankan di Depan Tim Penguji Tanggal: 25 Juli 2024

Tim Penguji:

1. Ketua:
(Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D)
2. Anggota
(Dr. Abdul Rochim, ST., MT)
3. Anggota
(Ir. Rachmat Mudiyono, MT., Ph.D)

Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Magister Teknik (MT)

Semarang, 25 Juli 2024

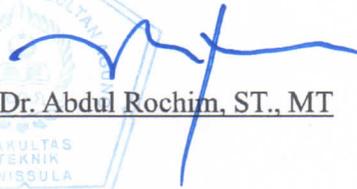
Mengetahui,

Ketua Program Studi,


Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik,


Dr. Abdul Rochim, ST., MT

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mukh 'Allaam Fauzi, ST

NIM : 20202200041

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tesis yang berjudul:

Analisis Perilaku Erosi Pada Dasar Sungai Bagian Hilir Bangunan *Groundsill*

Adalah benar hasil karya dan dengan penuh kesadaran bahwa saya tidak melakukan tindakan plagiasi atau mengambil alih seluruh atau sebagian besar karya tulis orang lain tanpa menyebutkan sumbernya. Jika saya terbukti melakukan tindakan plagiasi, saya bersedia menerima sanksi sesuai yang berlaku.

Semarang, 25 Juli 2024



Mukh 'Allaam Fauzi, ST

MOTTO

وَلَا تَهِنُوا وَلَا تَحْزَنُوا وَأَنْتُمْ الْأَعْلَوْنَ إِنْ كُنْتُمْ مُؤْمِنِينَ ﴿١﴾

Janganlah kamu (merasa) lemah dan jangan (pula) bersedih hati, padahal kamu paling tinggi (derajatnya) jika kamu orang-orang mukmin.

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا إِذَا قِيلَ لَكُمْ تَفَسَّحُوا فِي الْمَجَالِسِ فَافْسَحُوا يَفْسَحِ اللَّهُ لَكُمْ وَإِذَا قِيلَ انشُرُوا فَانشُرُوا يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ ﴿١١﴾

Wahai orang-orang yang beriman, apabila dikatakan kepadamu “Berilah kelapangan di dalam majelis-majelis,” lapangkanlah, niscaya Allah akan memberi kelapangan untukmu. Apabila dikatakan, “Berdirilah,” (kamu) berdirilah. Allah niscaya akan mengangkat orang-orang yang beriman di antarmu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat. Allah Mahateliti terhadap apa yang kamu kerjakan.

كُتِبَ عَلَيْكُمُ الْقِتَالُ وَهُوَ كُرْهٌ لَّكُمْ وَعَسَى أَنْ تَكْرَهُوا شَيْئًا وَهُوَ خَيْرٌ لَّكُمْ وَعَسَى أَنْ تُحِبُّوا شَيْئًا وَهُوَ شَرٌّ لَّكُمْ وَاللَّهُ يَعْلَمُ وَأَنْتُمْ لَا تَعْلَمُونَ ﴿٢١٦﴾

Diwajibkan atasmu berperang, padahal itu kamu benci. Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal itu baik bagimu dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu, padahal itu buruk bagimu. Allah mengetahui, sedangkan kamu tidak mengetahui.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah kita panjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya. Tuhan semesta alam yang karena ridho-Nya penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul ANALISIS PERILAKU EROSI PADA DASAR SUNGAI BAGIAN HILIR BANGUNAN *GROUNDSPILL*. Shalawat dan salam semoga tetap terlimpah curahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW. Beserta para sahabatnya.

Tesis ini diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Magister (S2) pada Fakultas Teknik Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang. Dengan selesainya Tesis ini tidak lepas dari bantuan banyak pihak yang telah memberikan masukan-masukan kepada penulis. Untuk itu penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya, Bapak M. Nurkholis dan Ibu Nur Usriyatun, yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan, do'a, dan Pendidikan mental untuk terus mengejar Impian menjadi seorang yang mulia di dunia dan akhirat
2. Yth. Bapak Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing ke 1 yang telah membimbing dengan penuh kesabaran, ke ikhlasan, dan tak lupa sering memberi saran dan masukan yang mendorong semangat.
3. Yth. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing ke 2 yang telah membimbing dengan penuh kesabaran, ke ikhlasan, dan tak lupa sering memberi saran dan masukan yang mendorong semangat.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tesis ini masih jauh dari kesempurnaan dan masih banyak kekurangan-kekurangan dari segi kualitas dan kuantitas maupun dari ilmu pengetahuan yang penyusun kuasai. Oleh karena itu, penyusun sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kesempurnaan laporan tugas kedepannya dan semoga bermanfaat bagi institusi Pendidikan untuk kedepannya.

Semarang, April 2024

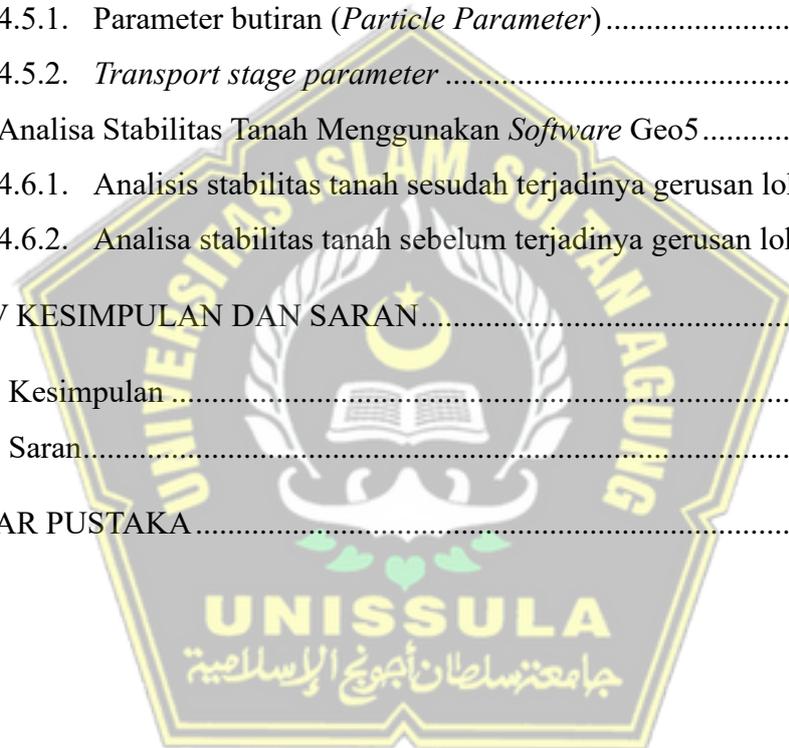
Mukh 'Allaam Fauzi, ST

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN TESIS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
ABSTRAK.....	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Lokasi Penelitian	5
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Tinjauan Pustaka.....	7
2.1.1. Penelitian Sebelumnya	7
2.1.2. Perbedaan dengan penelitian terdahulu	8
2.2. Landasan Teori.....	8

2.2.1. Curah Hujan.....	8
2.2.2. Angkutan Sedimen	12
2.2.3. Debit Banjir rencana	17
2.2.4. Pola Hidraulika	19
2.2.5. Gerusan Tanah	23
2.2.6. Stabilitas Bangunan.....	26
2.2.7. Permodelan Menggunakan <i>Software</i>	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	37
3.1. Pendahuluan.....	37
3.2. Metode Pengumpulan Data	37
3.3. Data Penelitian.....	37
3.3.1. Lokasi Penelitian	37
3.3.2. Data Umum Penelitian.....	38
3.4. Tahapan Perencanaan	48
3.4.1. Menganalisis Karakteristik Tanah dasar pada sungai.....	48
3.4.2. Menganalisis Gerusan Tanah Yang Terjadi.....	49
3.4.3. Menganalisis Perilaku Tanah Saat Terjadi Gerusan Lokal	52
3.4.4. Menganalisis Stabilitas Tanah di Bawah <i>Groundsill</i>	52
3.5. Diagram Alur Penelitian	53
BAB IV PEMBAHASAN.....	54
4.1. Tinjauan Umum	54
4.2. Menganalisis Karakteristik Tanah Pada Dasar Sungai	54
4.2.1. Klasifikasi tanah berdasarkan USCS	54
4.2.2. Karakteristik jenis tanah berdasarkan berat jenis tanah.....	55
4.2.3. Berat ini tanah (γ)	55
4.2.4. Nilai kadar air (W_c).....	55
4.2.5. Parameter kuat geser (<i>Direct Sheer</i>).....	55
4.3. Menganalisis Gerusan Tanah	56
4.3.1. Curah hujan rencana periode n tahun	56

4.3.2.	Analisa debit banjir rencana metode Der Weduwen.....	62
4.3.3.	Perhitungan pola hidraulika	64
4.3.4.	Analisis kedalaman gerusan tanah metode Lacey	73
4.4.	Permodelan Hidraulika Pada <i>Software</i> Hec Ras v.6.5	75
4.4.1.	<i>Input</i> data debit dan penampang sungai	75
4.4.2.	Hasil analisa pola hidraulika.....	78
4.4.3.	Analisis gerusan lokal (<i>local scouring</i>).....	81
4.5.	Perilaku Tanah Pada Saat Terjadi gerusan Lokal.....	82
4.5.1.	Parameter butiran (<i>Particle Parameter</i>).....	82
4.5.2.	<i>Transport stage parameter</i>	83
4.6.	Analisa Stabilitas Tanah Menggunakan <i>Software</i> Geo5.....	86
4.6.1.	Analisis stabilitas tanah sesudah terjadinya gerusan lokal	86
4.6.2.	Analisa stabilitas tanah sebelum terjadinya gerusan lokal	90
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		93
2.1.	Kesimpulan	93
2.2.	Saran.....	93
DAFTAR PUSTAKA.....		95



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Kerusakan bangunan akibat perubahan morfologi sungai	1
Gambar 1.2. Kondisi lokasi.....	2
Gambar 1.3. Peta Kabupaten Tegal.....	5
Gambar 2.1. Skema angkutan sedimen pada dasar sungai.....	13
Gambar 2.2. Diagram shield	16
Gambar 2.3. Pola hidraulika.....	22
Gambar 2.4. Distribusi kecepatan air pada saluran.....	25
Gambar 3.1. Foto citra satelit lokasi penelitian.....	37
Gambar 3.2. Scan hasil penyelidikan tanah BM 1	40
Gambar 3.3. Scan hasil penyelidikan tanah BM 2.....	41
Gambar 3.4. Denah situasi <i>Groundsill</i> DI Gung.....	43
Gambar 3.5. <i>Long section Groundsill</i> DI Gung.....	44
Gambar 3.6. <i>Cross section A-A Groundsill</i> DI Gung.....	45
Gambar 3.7. <i>Cross section B-B Groundsill</i> DI Gung	46
Gambar 3.8. <i>Cross section C-C Groundsill</i> DI Gung	47
Gambar 3.9. Peta polygon Theisen DAS Gung	50
Gambar 3.10. Jarak Bendung ke bangunan <i>Groundsill</i>	51
Gambar 3.11. Grafik hasil penyelidikan tanah Di gung.....	52
Gambar 3.12. <i>Flow chart</i>	53
Gambar 4.1. Pola hidraulika dasi hasil analisis.....	72

Gambar 4.2. Hasil perhitungan kedalaman gerusan (<i>scouring</i>).....	74
Gambar 4.3. <i>Input cross section Groundsill</i> pada <i>software</i> Hec Ras v.6.5	75
Gambar 4.4. <i>Long section Groundsill</i> pada <i>software</i> Hec Ras v.6.5.....	75
Gambar 4.5. Tampak atas geometri <i>Groundsill</i> [ada <i>software</i> Hec Ras v.6.5....	75
Gambar 4.6. Geometri <i>Groundsill</i> pada <i>software</i> Hec Ras v.6.5	76
Gambar 4.7. Memasukkan besaran debit pada <i>software</i> Hec Ras v.6.5.....	76
Gambar 4.8 Pola hidraulika Qd 50 tahun.....	77
Gambar 4.9. Pola hidraulika Qd 2 tahun.....	78
Gambar 4.10. Pola hidraulika Qd 5 tahun.....	79
Gambar 4.11. Pola hidraulika Qd 10 tahun.....	79
Gambar 4.12. Pola hidraulika Qd 50 tahun.....	79
Gambar 4.13. Pola hidraulika Qd 100 tahun.....	80
Gambar 4.14. Grafik kedalaman gerusan lokal (<i>local scouring</i>).....	80
Gambar 4.15. Penampang bangunan sesudah gerusan dari <i>software</i> Geo5	85
Gambar 4.16. level muka air tanah sesudah gerusan	87
Gambar 4.17. Kurva gaya stabilitas tanah sesudah gerusan	87
Gambar 4.18. Hasil perhitungan stabilitas tanah <i>software</i> Geo5	87
Gambar 4.19. Grafik analisis pondasi <i>software</i> Geo5.....	88
Gambar 4.20. Penampang bangunan sebelum gerusan.....	90
Gambar 4.21. level muka air tanah sebelum gerusan.....	91
Gambar 4.22. kurva gaya stabilitas tanah sebelum gerusan.....	91
Gambar 4.23. Hasil perhitungan stabilitas tanah sebelum gerusan.....	92

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Persyaratan masing-masing distribusi	11
Tabel 2.2. Nilai variable reduksi Gauss	12
Tabel 2.3. Kalsifikasi Kondisi dasar Sungai	13
Tabel 2.4. <i>Viskositas of liquid water</i>	15
Tabel 2.5. koefisien limpasan.....	19
Tabel 2.6. Klasifikasi tanah dari data sondir	27
Tabel 2.7. Hubungan antara konsistensi dengan tekanan <i>connus</i>	28
Tabel 2.8 Hubungan antara kepadatan dengan <i>relative density</i>	29
Tabel 2.9. Berat jenis tanah.....	30
Tabel 2.10. Nilai modulus young	31
Tabel 2.11. Nilai sudut geser dalam.....	32
Tabel 2.12. Hubungan antara Jenis Tanah dan <i>Poisson Ratio</i>	33
Tabel 2.13. klasifikasi tanah <i>Unified System</i>	34
Tabel 2.14. Sistem klasifikasi tanah <i>Unified System</i>	35
Tabel 3.1. Data curah hujan stasiun Kec. lebaksiu.....	38
Tabel 3.2. Data curah hujan stasiun Kec. Bojong	39
Tabel 3.3. Summary of soil test.....	42
Tabel 3.4. Data luas tangkapan stasiun	50
Tabel 4.1. Hasil perhitungan curah hujan rata-rata pertahun Kec. Lebaksiu	57
Tabel 4.2. Hasil perhitungan curah hujan rata-rata pertahun Kec. Bojong	58

Tabel 4.3. Hasil perhitungan curah hujan rata-rata dari kedua stasiun	59
Tabel 4.4. Hasil perhitungan parameter statistik	59
Tabel 4.5. Hasil analisis parameter curah hujan.....	61
Tabel 4.6. hasil analisis curah hujan periode n tahun.....	62
Tabel 4.7. hasil analisa debit banjir rencana periode n tahun.....	64
Tabel 4.8. data penyelidikan sungai	65
Tabel 4.9. Tabel hasil perhitungan	71
Tabel 4.10. Hasil perhitungan Hec Ras v.6.5	78



ABSTRAK

Groundsill DI Gung yang terletak di desa Lebaksiu Lor kec. Lebaksiu kab. Tegal merupakan sebuah bangunan yang memiliki fungsi untuk mengontrol gerusan tanah (*scouring*) di hilir bangunan jembatan talang saluran irigasi primer DI Gung. Studi ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik tanah, menganalisa nilai gerusan tanah lokal (*local scouring*) sehingga mengetahui perilaku tanah pada saat terjadi gerusan lokal (*local scouring*) dan mengidentifikasi kemungkinan kegagalan struktur *Groundsill* yang terjadi akibat peristiwa gerusan lokal.

Penelitian ini dilakukan dengan menganalisa keakteristik tanah dengan metode USCS untuk mengetahui diameter tanah yang berada di dasar sungai. analisa curah hujan untuk mengetahui nilai debit banjir rencana menggunakan metode Der Weduwen dilanjut menganalisa kedalaman gerusan lokal (*local scouring*) yang terjadi akibat dari debit rencana dengan metode Lacey dan permodelan Software Hec Ras v.6.5 dan mengetahui perilaku tanah saat terjadi gerusan lokal (*local scouring*). Dari hasil analisis di atas identifikasi kemungkinan kegagalan struktur *Groundsill* dapat di analisa menggunakan software Geo5.

Hasil analisis kedalaman gerusan tanah dengan menganalisis curah hujan rencana metode gumbel dilanjut menganalisis debit banjir rencana dengan metode Der Weduwen menghasilkan nilai debit rencana untuk menganalisa kedalaman gerusan lokal (*local scouring*) menggunakan metode Lacey dengan nilai kedalaman sebesar 7.95 m. Dalam pemodelan menggunakan *software* Hec Ras v.6.5 juga didapat kedalaman gerusan lokal (*local scouring*) yaitu sebesar 8.2 m. Besaran debit angkutan sedimen pada saat terjadi gerusan lokal yaitu 0.0096 m³/det. Debit tersebut akan membawa sedimen hasil gerusan lokal ke hilir sungai, sehingga tanah yang terkikis tidak mengendap di dalam lubang pada gerusan lokal. Hasil dari analisis perangkat lunak Geo5 menunjukkan kestabilan tanah tetap terjaga karena pengaruh dari pondasi *bored pile* yang tersusun dengan jarak antar pondasi 2 m. sehingga bangunan *Groundsill* terminimalisir dari terjadinya kerusakan pada struktur bangunan.

Kata Kunci: Gerusan Lokal, Karakteristik Tanah, Debit Banjir Periode Kala Ulang

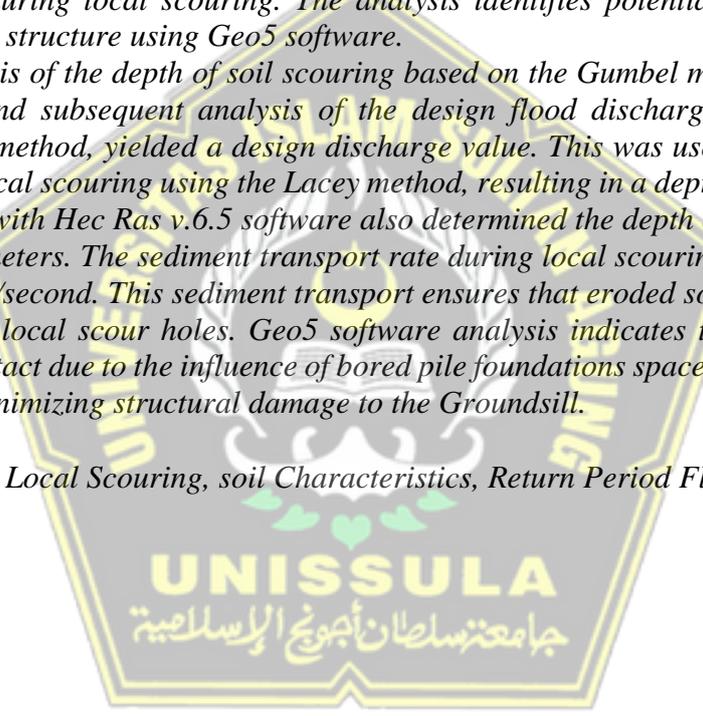
ABSTRACT

The Groundsill at DI Gung, located in Lebaksiu Lor Village, Lebaksiu District, Tegal Regency, is a structure designed to control soil erosion downstream of the talang bridge of the primary DI Gung irrigation channel. This study aims to determine soil characteristics, analyze local scouring values to understand soil behavior during local scouring events, and identify potential failures of the Groundsill structure due to local scouring incidents.

The research analyzes soil characteristics using the USCS method to determine the soil particle diameter at the riverbed. Rainfall analysis is conducted using the Der Weduwen method to estimate the design flood discharge. This is followed by analyzing the depth of local scouring caused by the design discharge using the Lacey method and modeling with Hec Ras v.6.5 software to understand soil behavior during local scouring. The analysis identifies potential failures of the Groundsill structure using Geo5 software.

The analysis of the depth of soil scouring based on the Gumbel method for design rainfall, and subsequent analysis of the design flood discharge using the Der Weduwen method, yielded a design discharge value. This was used to analyze the depth of local scouring using the Lacey method, resulting in a depth of 7.95 meters. Modeling with Hec Ras v.6.5 software also determined the depth of local scouring to be 8.2 meters. The sediment transport rate during local scouring is estimated at 0.0096 m³/second. This sediment transport ensures that eroded soil does not settle within the local scour holes. Geo5 software analysis indicates that soil stability remains intact due to the influence of bored pile foundations spaced 2 meters apart, thereby minimizing structural damage to the Groundsill.

Keywords: Local Scouring, soil Characteristics, Return Period Flood Discharge



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Banjir Sungai Gung yang terjadi pada tahun 2022 diukur di lokasi Bendung Danawarih, Kabupaten Tegal, dengan tinggi limpasan mencapai 150 cm dan debit mencapai 295,776 m³/detik (sumber: petugas penjaga Bendung Danawarih). Besarnya debit yang melintasi sungai mempengaruhi kontur dasar sungai yang mengalami pengikisan atau erosi. Dampak dari peristiwa tersebut menyebabkan bangunan pengaman talang DI Gung mengalami kerusakan. Tanah di bawah *Groundsill* bangunan tersebut terkikis dan terbawa oleh aliran air saat banjir terjadi, menyebabkan kondisi di bawah *Groundsill* menjadi berongga dan mengurangi daya tahan bangunan tersebut.

Hulu sungai Gung berasal dari Gunung Slamet yang kerap terjadi banjir pada saat musim hujan. Material-material alam seperti batu seringkali terbawa aliran sungai. Terbawanya material dari hulu akan merubah morfologi sungai. Perubahan ini akan sangat berpengaruh terhadap aliran sungai. Dalam sebuah kasus 2022 terjadi kerusakan pada bangunan *Groundsill* DI Gung dimana kerusakan itu terjadi karena perubahan morfologi sungai yang sangat drastis seperti yang tertera pada gambar di bawah ini



Gambar 1.1. Kerusakan bangunan akibat perubahan morfologi sungai
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tidak hanya peristiwa di atas, jika perubahan morfologi sungai terus akan terjadi dan tidak ada penanganan pada bangunan *Groundsill* maka akan berdampak pada bangunan talang irigasi yang terdapat pada hulu *Groundsill*.



Gambar 1.2. Kondisi Lokasi
(Sumber: Foto citra satelit google maps)

Penambangan Galian C yang berlokasi 2 km ke arah hilir dari bangunan talang tersebut juga menjadi salah satu faktor yang menyebabkan perubahan morfologi pada sungai, dimana penambangan pasir dan batu yang melebihi kapasitas tidak seimbang dengan material sedimen yang terbawa aliran air dari sisi hulu sungai.

Sungai Gung terletak di Kabupaten Tegal yang merupakan salah satu Sungai utama yang digunakan untuk sumber jaringan irigasi. Dimana daerah hulu sungai Gung terdapat sebuah bangunan Bendung Danawarih yang

digunakan sebagai pusat penyebaran saluran irigasi. Jaringan irigasi ini dapat menyokong pertanian warga seluas ±6.600 hektar.

Dari peristiwa di atas untuk mengamankan bangunan talang, maka di bangun bangunan *Groundsill* guna menahan sedimen agar tidak terbawa aliran air sungai, sehingga sedimen tetap berada di elevasi aman untuk pondasi bangunan talang.

Pembahasan mengenai erosi sedimen pada bangunan sedimen kerap ditemui dalam jurnal. Perilaku endapan sedimen dan perilaku angkutan sedimen. Seperti yang pernah di bahas dalam beberapa jurnal mengenai analisis transport sedimen. (Iqbal dkk, 2019). Begitu juga dalam pembahasan mengenai sifat hidraulik yang juga kerap di temui pembahasan permasalahan tersebut dalam jurnal penelitian. Dalam jurnal di jelaskan mengenai karakteristik hidraulik yang diakibatkan pemasangan bangunan *Groundsill*. (krisna dkk, 2022)

Untuk meminimalisir kerusakan bangunan pengaman talang (*Groundsill*) maka penting untuk dilakukan penelitian mengenai perilaku tanah dasar sungai pada hilir bangunan *Groundsill* saat terjadi erosi. Analisis ini dilakukan menggunakan *software* Geo 5 V.24 dan Hec Ras V.6.5 dan hitungan manual untuk menganalisis hidrolika pada saat banjir kala ulang.

Penggunaan *software* Hec Ras V.6.5 dipilih karena di dalam *software* ini terdapat fitur analisis untuk debit rencana dan juga di lanjut dengan nilai kedalaman herusan lokal (*local scouring*). Sedangkan untuk Geo5 V.24 yang akan membantu perhitungan stabilitas tanah.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang, penelitian ini akan mengambil beberapa poin permasalahan sebagai berikut:

1. Berapa nilai Gerusan tanah yang dapat terjadi jika dihitung dengan debit kala ulang dan permodelan menggunakan software HEC-RAS?
2. Bagaimana perilaku sedimen pada dasar sungai saat terjadi gerusan?

3. Identifikasi kemungkinan kegagalan konstruksi yang disebabkan oleh tergerusnya tanah di bawahnya sehingga menyebabkan bagian bawah bangunan menjadi berongga menggunakan permodelan software Geo5?

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan fokus penelitian pada bangunan *Groundsill* DI Gung yang terletak di Desa Lebaksiu Lor, Kecamatan Lebaksiu, Kabupaten Tegal, berikut adalah Batasan masalah dari penelitian ini:

1. Perhitungan gerusan tanah dilakukan menggunakan perangkat lunak dan metode manual.
2. Analisis hidrolika terbatas pada perhitungan sederhana menggunakan debit kala ulang yang dihitung secara manual.
3. Data debit kala ulang diperoleh dari sumber data sekunder.
4. Data tanah yang digunakan diambil dari data sekunder hasil penyelidikan tanah selama pelaksanaan konstruksi bangunan *Groundsill*.
5. Analisis perilaku tanah saat terjadi gerusan hanya berupa ilustrasi gambar dan grafik dari hasil perhitungan.
6. Identifikasi kemungkinan kegagalan konstruksi hanya ditampilkan dalam bentuk gambar ilustrasi dari terkikisnya tanah di bawah bangunan.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik tanah dasar pada sungai
2. Mengetahui nilai gerusan tanah yang terjadi akibat debit kala ulang pada sisi hilir bangunan *Groundsill* DI Gung.
3. Mengetahui perilaku tanah saat terkena gerusan akibat debit kala ulang.
4. Mengidentifikasi kemungkinan kegagalan konstruksi yang terjadi akibat peristiwa gerusan tanah pada dasar Sungai tersebut.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini akan menjelaskan alur metodologi penelitian, mulai dari pengumpulan data, proses analisis perhitungan hidrologi, perhitungan nilai erosi, hingga metode penyajian ilustrasi perilaku tanah yang mengalami erosi dan penyajian akhir penelitian.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menampilkan perhitungan analisis hidrologi, analisis nilai erosi tanah, pembahasan ilustrasi perilaku tanah yang mengalami erosi, serta identifikasi kemungkinan kegagalan konstruksi bangunan akibat erosi pada sisi hilir bangunan *Groundsill*.

BAB V PENUTUP

Bab ini akan menyajikan kesimpulan dari hasil analisis serta memberikan saran untuk perkembangan penelitian.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Groundsill merupakan bangunan yang digunakan untuk pengendalian sedimen pada sungai. Pengendalian sedimen ini bertujuan untuk mengontrol ambang dasar sungai pada titik lokasi yang diperlukan. Secara umum *Groundsill* merupakan bangunan yang di rancang untuk mengendalikan erosi sedimen sehingga kondisi dasar sungai terjaga pada elevasi tertentu dan dapat mengamankan bangunan yang ada di sisi hulu *Groundsill* seperti bangunan jembatan, talang saluran irigasi dan lain-lain.

Sungai merupakan suatu jalur aliran air yang ditangkap dari resapan air tanah dan hujan yang akan dialirkan kembali ke laut (Hamzah, 2009). Air mengalir membawa butiran tanah atau sedimen dari hulu Sungai yang kemudin mengendap di hilir Sungai atau yang biasa di sebut proses erosi.

Sungai yang merupakan saluran terbuka tentu saja mempunyai morfologi yang penting untuk di amati perilakunya. Erosi dari aliran air pada sungai secara perlahan akan terus mengubah bentuk morfologi sungai. Perubahan tersebut dapat berdampak pada bangunan di sekitarnya.

2.1.1. Penelitian Sebelumnya

Pembahasan mengenai erosi sedimen pada bangunan sedimen kerap ditemui dalam jurnal. Perilaku endapan sedimen dan perilaku angkutan sedimen. Seperti yang pernah dibahas dalam beberapa jurnal mengenai analisis transport sedimen. (Iqbal dkk, 2019)

Begitu juga dalam pembahasan mengenai sifat hidraulik yang juga kerap ditemui pembahasan permasalahan tersebut dalam jurnal penelitian. Dalam jurnal dijelaskan mengenai karakteristik hidraulik yang di akibatkan pemasangan bangunan *Groundsill*. (krisna dkk, 2022)

2.1.2. Perbedaan dengan penelitian terdahulu

Pada penelitian kali ini, akan dibahas mengenai perilaku *scouring* atau erosi pada hilir bangunan *Groundsill* yang mana peristiwa tersebut terjadi dikarenakan pola hidraulik yang terbentuk dari pemasangan bangunan *grounsill*. Pada awal tahun 2023 terjadi *scouring* yang tinggi pada hilir bangunan *Groundsill* lama. Maka dari itu pada pertengahan tahun 2023 dibangun Kembali *grounsill* meneruskan bangunan *Groundsill* lama. Penelitian ini akan membahas masalah *skrouing* yang akan terjadi pada hilir bangunan *Groundsill* baru dan menganalisis stabilitas bangunan *Groundsill* menggunakan permodelan *software* *hec ras*.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Curah Hujan

Curah hujan dapat di definisikan dalam jumlah air hujan yang turun pada suatu area dengan hasil dalam periode waktu tertentu (hari, minggu, bulan, tahun) yang di ukur dalam satuan milimeter (mm) (Suroso, 2006). Dalam perencanaan banyak studi menganalisis estimasi curah hujan dalam kurun waktu beberapa tahun kedepan dengan simbol n (jumlah) tahun. Curah hujan rencana merupakan estimasi tinggi curah hujan yang akan terjadi dalam beberapa tahun kedepan pada sungai DAS pada periode waktu tertentu.

Dalam menganalisis curah hujan rencana diperlukan data curah hujan beberapa periode tahun sebelumnya. Data tersebut dikumpulkan dan di analisis menggunakan persamaan-persamaan seperti dibawah ini

a. Menghitung rata rata curah hujan (\bar{X})

Data curah hujan perbulan dalam beberapa periode tahun seelumenya yang sudah terkumpul dilakukan perhitungan rata rata curah hujan pertahunnya, sehingga didapat nilai besaran curah

hujan rata-rata pertahun, berikut persamaan yang dipakai untuk menghitung rata-rata curah hujan pertahun:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

\bar{X} = Rata-rata (mean)

n = Jumlah data

X_i = nilai pengukuran dari suatu variat

Dalam persamaan tersebut jumlah nilai dari pengukuran suatu variat di bagi dengan jumlah data pengukuran variat, sehingga akan menghasilkan nilai rata-rata dari hasil pengukuran tersebut.

b. Menghitung standar deviasi (S.dev)

Standar deviasi secara umum digunakan sebagai analisis statistik ukuran dispersi. Nilai besaran standar debiasi bergantung pada hasil rata-rata, jika hasil perhitungan rata-rata besar maka hasil perhitungan standar deviasi akan besar demikian juga sebaliknya. Berikut persaman unutk mencari nilai standar deviasi:

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

Sd = Standar deviasi

X_i = Nilai pengukuran dari suatu variat

\bar{X} = Rata-rata (mean)

n = Jumalh data

c. Menghitung koefisien variasi (*coefficient of variation*)

Koefisien varisi merupakan nilai hasil dari perbandingan antara standar deviasi dengan rata-rata data variat seperti persamaan di bawah ini:

$$Cv = \frac{Sd}{\bar{X}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

Cv = Keofisien variasi

Sd = Standar deviasi

\bar{X} = Rata-rata (mean)

d. Menghitung koefisien Kemencengan (*Coefficient of skewness*)

Koefisien kemencengan merupakan nilai yang menunjukkan suatu kemencengan atau derajat kesimetrisan dari suatu distribusi yang biasanya di simbolkan Cs (*Coefficient of Skewness*). Berikut persamaan untuk mengetahui nilai dari koefisien kemencengan:

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

Cs = Koefisien kemencengan

Sd = Standar deviasi

\bar{X} = Rata-rata (mean)

X_i = Nilai dari suatu variat

n = jumlah data

e. Menghitung Koefisien kurtosis (*Coefficient of kurtosis*)

Koefisien kurtosis merupakan persamaan yang digunakan untuk mengetahui nilai kerucut dari bentuk kurva distribusi yang umumnya dibandingkan dengan sntribusi normal. Berikut persamaan yang digunakan untuk mencari nilai dari koefisien kurtosis:

$$Ck = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{Sd^4} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

Ck = Koefisien kurtosis

Sd = Standar deviasi

\bar{X} = Rata-rata (mean)

X_i = Nilai pengukuran dari suatu variat

f. Penentuan rumus distribusi metode gumbel

Tabel 2.1. Persyaratan masing-masing distribusi

No.	Distribusi	Persyaratan	Rumus
1.	Normal	$C_s \approx 0$	$X_T = \bar{x} + K_T Sx$
		$C_k \approx 3$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$
2.	Log Normal	$C_s = 3C_v$	$\log X = \log \bar{X} + K_T \cdot S \log X$
		$C_k = C_v^3 + 6 C_v^2 + 15 C_v + 16 C_v^2 + 3$	$S \log X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log x_i - \log \bar{x})^2}{(n-1)}}$
3.	Gumbel	$C_s \approx 1,14$	$X_T = \bar{x} + K_T Sx$
		$C_k \approx 5,4002$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$
4.	Log Pearson Tipe III	Selain dari nilai di atas	$\log X = \log \bar{X} + K_T \cdot S \log X$
			$S \log X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log x_i - \log \bar{x})^2}{(n-1)}}$

(Sumber: distribusi gumbel)

Distribusi normal dengan $C_s \approx 0$ dengan persamaan sebagai berikut

$$X_t = \bar{X} + K_T S.dev \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan:

X_t = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode uang T tahun (mm)

\bar{X} = Rata-rata (mean)

Sd = Standar deviasi

K_T = Variabel reduksi Gauss

Nilai variabel reduksi gauss (K_T) di dapat dari tabel di bawah ini:

Tabel 2.2. Nilai variable reduksi Gauss

Lampiran 1 Tabel Nilai Variabel Reduksi Gauss

No	Periode Ulang, T (tahun)	K_T
1	1,001	-3,05
2	1,005	-2,58
3	1,010	-2,33
4	1,050	-1,64
5	1,110	-1,28
6	1,250	-0,84
7	1,330	-0,67
8	1,430	-0,52
9	1,670	-0,25
10	2,000	0
11	2,500	0,25
12	3,330	0,52
13	4,000	0,67
14	5,000	0,84
15	10,000	1,28
16	20,000	1,64
17	50,000	2,05
18	100,000	2,33
19	200,000	2,58
20	500,000	2,88
21	1000,000	3,09

(Sumber: Suripin, 2004)

2.2.2. Angkutan Sedimen

Proses terangkutnya material tanah dari satu tempat ke tempat lain dengan media alami berupa air ataupun angin, sehingga lapisan permukaan tanah terkikis dan menyebabkan perubahan kontur tanah merupakan pengertian dari proses erosi (Rauf.A, 2011).

Diketahui ada tiga macam angkutan sedimen yang terjadi pada aliran sungai (Mulyanto 2007) yaitu:

1. Suspended load

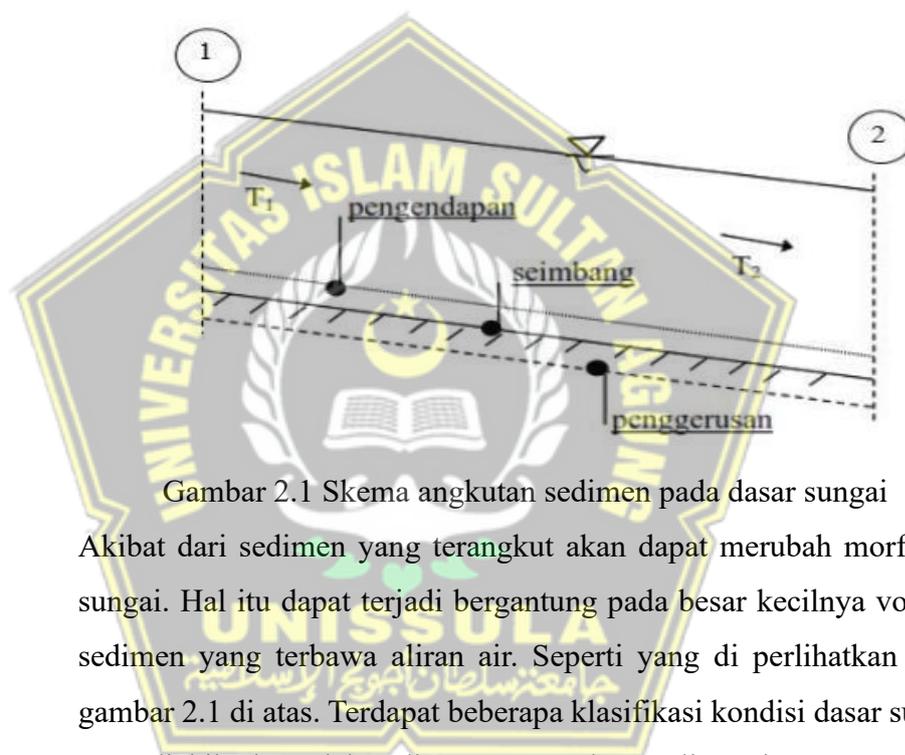
Suspended load yaitu sedimen yang terdiri dari pasir halus dan butiran tanah yang kecil dan memiliki nilai masa yang kecil sehingga terbawa aliran air secara melayang

2. Wash Load

Fenomena angkutan sedimen ini hamper sama dengan suspended load, perbedaan terletak pada butiran-butiran tanah yang lebih halus seperti debu dan terurai oleh air yang akan terbawa sampai hilir sungai

3. Bed Load

Bed load merupakan angkutan sedimen yang bergerak pada dasar sungai Dimana material-material yang di bawa berukuran besar



Gambar 2.1 Skema angkutan sedimen pada dasar sungai

Akibat dari sedimen yang terangkut akan dapat merubah morfologi sungai. Hal itu dapat terjadi bergantung pada besar kecilnya volume sedimen yang terbawa aliran air. Seperti yang di perlihatkan pada gambar 2.1 di atas. Terdapat beberapa klasifikasi kondisi dasar sungai yang diakibatkan oleh sedimen yang terbawa aliran air.

Tabel 2.3 Kalsifikasi Kondisi dasar Sungai

Angkutan Sedimen (T)	Perubahan Dasar Sungai	
	Sedimen	Dasar Sungai
$T_1 = T_2$	Seimbang	Stabil
$T_1 < T_2$	Erosi	Degradasi
$T_1 > T_2$	Sedimentasi	Agradasi

Sumber: Jurnal analisis transport sedimen serta pengaruh aktivitas penambangan (Pratama dkk, 2019)

Pada tabel tersebut di jelaskan T1 yang merupakan sedimen yang terbawa dari hulu sungai dan T2 merupakan Sedimen yang terbawa ke hilir sungai. Perbandingan tersebut menjadi gambaran angkutan sedimen dapat merubah morfologi sungai.

Perhitungan analisis angkutan sedimen pada dasar sungai ada beberapa metode yang dapat di gunakan dalam analisis angkutan sedimen dasar sungai. Yaitu menggunakan metode Rottner dan mtode Van Rijn.

1. Metode Rottner

Pengembangan rumus tang disusun oleh Rottner dalam menganalisis debit pada angkutan sedimen. Persamaan itu disajikan dalam bentuk sebagai berikut:

$$\frac{Q_s}{\rho_s \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w \sqrt{gh^3}}}} = \left\{ \frac{\left[0.667 \left(\frac{d}{h} \right)^{\frac{2}{3}} + 0.14 \right] x V}{\sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w \sqrt{gh^3}}}} - 0.778 \left(\frac{d}{h} \right)^{\frac{2}{3}} \right\}^3 \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

- Q_s = Debit sedimen (kg/det/m)
- ρ_s = Massa jenis sedimen (kg/m³)
- ρ_w = Massa jenis air (kg/m³)
- g = percepatan gravitasi (m/s)
- h = Kedalaman aliran (m)
- V = Kecepatan Aliran (m/s)
- d₅₀ = Diameter butiran sedimen (mm)

2. Metode Van Rijn

Menurut metode Van Rijn, digunakan 2 parameter dalam medefinisikan Tingkat angkutan sedimen. 2 parameter itu yaitu parameter butiran dan transport stage parameter.

a. Parameter butiran (Particle parameter)

Parameter ini menggunakan rumus

$$d_* = d_{50} \left(\frac{(s - 1)g}{\nu^2} \right)^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana:

d_* = parameter butiran

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

ν = viskositas kinetic

s = kerapatan jenis

nilai s (kerapatan jenis) di dapat dari rumus

$$s = \frac{\rho_s}{\rho} \dots \dots \dots (2.9)$$

ρ_s = massa jenis sedimen (kg/m^3)

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

nilai viskositas kinetic (ν) diperoleh dari tabel sifat-sifat air

Tabel 2.4 *Viskositas of liquid water*

Temp. (°C)	Specific weight, γ (N/m ³)	Density, ρ (kg/m ³)	Viscosity, $10^3\mu$ (N · s/m ²)	Kinematic viscosity, $10^6\nu$ (m ² /s)	Surface tension, 100σ (N/m)	Vapor-pressure head, p_v/γ (m)	Bulk modulus of elasticity, $10^{-7}\beta$ (N/m ²)
0	9805	999.9	1.792	1.792	7.62	0.06	204
5	9806	1000.0	1.519	1.519	7.54	0.09	206
10	9803	999.7	1.308	1.308	7.48	0.12	211
15	9798	999.1	1.140	1.141	7.41	0.17	214
20	9789	998.2	1.005	1.007	7.36	0.25	220
25	9779	997.1	0.894	0.897	7.26	0.33	222
30	9767	995.7	0.801	0.804	7.18	0.44	223
35	9752	994.1	0.723	0.727	7.10	0.58	224
40	9737	992.2	0.656	0.661	7.01	0.76	227
45	9720	990.2	0.599	0.605	6.92	0.98	229
50	9697	988.1	0.549	0.556	6.82	1.26	230
55	9679	985.7	0.506	0.513	6.74	1.61	231
60	9658	983.2	0.469	0.477	6.68	2.03	228
65	9635	980.6	0.436	0.444	6.58	2.56	226
70	9600	977.8	0.406	0.415	6.50	3.20	225
75	9589	974.9	0.380	0.390	6.40	3.96	223
80	9557	971.8	0.357	0.367	6.30	4.86	221
85	9529	968.6	0.336	0.347	6.20	5.93	217
90	9499	965.3	0.317	0.328	6.12	7.18	216
95	9469	961.9	0.299	0.311	6.02	8.62	211
100	9438	958.4	0.284	0.296	5.94	10.33	207

(Sumber: L.D. Eicher and B.J. Zwonlinski, 1971)

b. Transport stage parameter

Dimana parameter ini di dapat dari rumus

$$T = \frac{(v_{*'})^2 - (V_{*cr})^2}{(V_{*cr})^2} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

Nilai $V_{*'}$ di peroleh dari rumus

$$V_{*'} = \left(\frac{g^{0.5}}{C'} \right) \cdot \bar{V} \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan:

$V_{*'}$ = Kecepatan geser dasar (m/det)

\bar{V} = Keceoatan aliran rata-rata (m/det)

V_{*CR} = Kecepatan geser dasar kritis shield (m/det)

T = Stage parameter

C' = Koefisien chezy

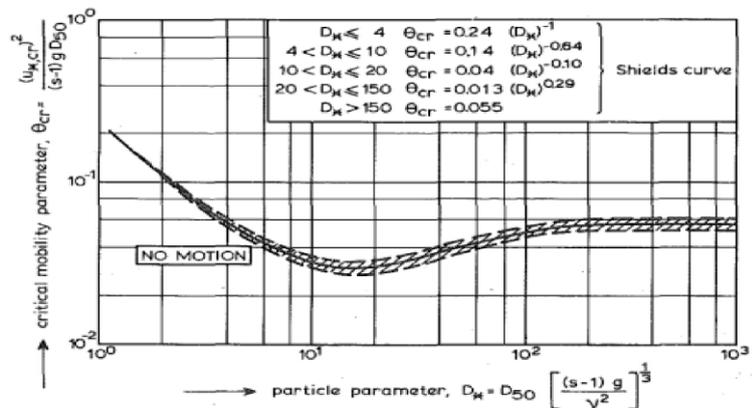
Untuk mendapatkan nilai koefisien chezy, dapat dihitung menggunakan rumus

$$C' = 18 \log \left(\frac{12 Rb}{3 D_{90}} \right) \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

Rb = jari jari hidrolis (m)

D_{90} = ukuran partikel sedimen (m)



Gambar 2.2 diagram shield

Diagram di atas digunakan untuk mencari nilai kecepatan geser dasar kritis shield (V_{*CR})

Jika semua persamaan di atas sudah di ketahui, untuk menghitung jumlah besaran angkutan sedimen dapat di hitung menggunakan persamaan di bawah ini:

$$q_s = \frac{0.0537^{2.1} [(s - 1)g]^{0.5} d_{50}^{1.5}}{d_*^{0.3}} \dots \dots \dots (2.13)$$

Selanjutnya untuk menentukan debit angkutan sedimen dasar untuk seluruh lebar dasar sungai yaitu didapat dengan menggunakan rumus:

$$Q_b = q_s \times W \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana:

q_s = angkutan sedimen dasar pada satu satuan lebar sungai (m³/det)

W = lebar dasar saluran (m)

2.2.3. Debit Banjir Rencana Metode Der Weduwen

Debit maksimum pada suatu aliran air yang di perkirakan dalam periode kala ulang (tahun) untuk merencanakan suatu bangunan irigasi merupakan pengertian dari debit banjir rencana. Debit banjir sendiri di artikan sebagai banyaknya air yang mengalir pada sebuah saluran salam satuan volume dan waktu.

Dalam merencanakan Pembangunan bangunan air, debit banjir rencana harus masuk dalam perhitungan guna menjaga bangunan yang direncanakan dalam kategori aman untuk menerima nilai debit banjir yang sudah diperkiraan.

Kala ulang didefinisikan sebagai waktu dimana debit banjir dengan suatu besaran yang tertentu akan disamai atau dilampaui. Perhitungan debit banjir rencana kala ulang menggunakan persamaan sebagai berikut (Joesron Loebis, 1992):

- a. Menghitung koefisien pengurangan luas untuk curah hujan di DAS

$$\beta = \frac{120 + \frac{t+1}{t+9}A}{120 + A} \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan:

- β = Koefisien pengurangan luas curah hujan di DAS
- t = lamanya konsentrasi hujan
- A = Luas DAS

- b. Menghitung luasan curah hujan ($m^3/det.km^2$)

$$q_n = \frac{R_n}{240} \cdot \frac{67.65}{t + 1.45} \dots \dots \dots (2.16)$$

Keterangan:

- q_n = luasan curah hujan ($m^3/det.km^2$)
- R_n = Curah hujan rancangan (mm/hari) periode ulang n tahun
- t = lamanya konsentrasi hujan, jam di ambil rata-rata lama hujan selaman 3 jam

- c. Menghitung koefisien limpasan air hujan

$$\alpha = 1 - \frac{4.1}{\beta q_n + 7} \dots \dots \dots (2.17)$$

Keterangan:

- α = Koefisien limpasan air hujan
- β = Koefisien pengurangan luas curah hujan di DAS
- q_n = luasan curah hujan ($m^3/det.km^2$)

- d. Menghitung debit rancangan (m^3/det) dengan kala ulang n tahun

$$Q_n = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A \dots \dots \dots (2.18)$$

Keterangan:

- Q_n = Debit rancangan (m^3/det) dengan kala ulang n tahun
- α = Koefisien limpasan air hujan
- β = Koefisien pengurangan luas curah hujan di DAS

- q_n = luasan curah hujan ($m^3/det.km^2$)
- A = Luas DAS sungai gung

2.2.4. Pola Hidraulik

Hidraulika merupakan sub bidang pada Teknik sipil yang membahas tentang mekanika fluida atau perilaku air dalam keadaan diam maupun bergerak (Sarker 2022) Bentuk aliran hidrolika merupakan pola aliran air yang terbentuk dari pengaruh penampang sungai. Bentuk aliran hidrolika berubah-ubah bergantung pada besaran debit banjir yang mengalir penampang bangunan *Groundsill*.

Pola aliran hidrolika dari bangunan *Groundsill* DI Gung dapat diketahui melalui perhitungan Analisis yang berdasarkan beberapa rumus berikut:

- a. Menghitung kemiringan sungai

$$Kemiringan\ sungai = \frac{elv.bendung - elv.ground\ sill}{jarak\ bendung\ ke\ ground\ sill} \times 100 \dots\dots\dots(2.19)$$

Rumus di atas merupakan rumus untuk mencari kemiringan dari sungai, dengan mengetahui elevasi hulu sungai, elevasi hilir sungai dan jarak antara titik elevasi tersebut maka akan diketahui nilai dari kemiringan sungai.

Nilai kemiringan ini di gunakan unruk menentukan nilai koefisien limpasan seperti yang tertera pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.5 tabel koefisien limpsan

Kemiringan	Tutupan	Koefisien Limpasan
<3%	Sawah, rawa	0.2
	Hutan, perkebunan	0.3
	Perumahan dengan kebun	0.4
3% - 15%	Hutan, perkebunan	0.4
	Perumahan	0.5
	Tumbuhan yang jarang	0.6

	Tanpa tumbuhan, daerah penimbunan	0.7
>15%	Hutan	0.6
	Perumahan, kebun	0.7
	Tumbuhan jarang	0.8
	Tanpa tumbuhan, daerah tambang	0.9

(Sumber: Rudy Sayoga Gautama, 1999)

- b. Mencari tinggi dan lebar air di atas bendung menggunakan persamaan debit rencana bendung

Untuk mengetahui lebar dari permukaan air di atas tubuh mercu bendung, maka digunakanlah persamaan dari debit rencana bendung, dimana nilai dari debit rencana sudah di ketahui terlebih dahulu. Berikut persamaan debit rencana bendung untuk mencari nilai lebar muka air di atas bendung (h_3):

$$Q_d = \frac{2}{15} \times C \times \sqrt{2g} \times (3B_1 + 2B_2) \times (h_3)^{3/2} \dots \dots \dots (2.20)$$

Q_d = debit banjir (m^3/det)

C = koefisien limpahan

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

B_1 = lebar pelimpah (m)

h_3 = tinggi muka air di atas pelimpah (m)

m_2 = kemiringan dimensi pelimpah

mencari lebar mula air di atas bendung

$$B_2 = B_1 + 2m_2h_3 \dots \dots \dots (2.21)$$

Keterangan:

B_2 = lebar muka air di atas bendung (m)

B_1 = lebar pelimpah (m)

h_3 = tinggi muka air di atas pelimpah (m)

m_2 = kemiringan dimensi pelimpah

c. Menghitung panjang terjunan dari mercu bendung

$$I_w = V_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (H_1 + 0.5 \cdot h_3)}{g}} \dots \dots \dots (2.22)$$

I_w = jarak terjunan (m)

V_0 = kecepatan air sebelum terjun

H_1 = tinggi main dam dari lantai kolam olak / dasar sungai

h_3 = tinggi air di atas peluap main dam (m)

g = percepatan gravitasi

kecepatan air

$$v_0 = \frac{q_0}{h_3} \dots \dots \dots (2.23)$$

q_0 = debit per meter pada peluap (m³/det)

$$q_0 = \frac{Q_d}{B_1} \dots \dots \dots (2.24)$$

d. Menghitung panjang olakan

$$X = \beta \times h_j \dots \dots \dots (2.25)$$

X = panjang olakan (m)

β = koefisien, besarnya antara 4.5 – 5.0

h_j = tinggi loncatan hidraulik (m)

e. Menghitung tinggi loncatan

$$h_j = \frac{h_1''}{2} \left[\sqrt{1 + 8 \times F_1^2} - 1 \right] \dots \dots \dots (2.26)$$

h_1'' = tinggi air bagian hilir Bendung utama (m)

$$h_1'' = \frac{q_1}{v_1} \dots \dots \dots (2.27)$$

q_1 = debit aliran tiap meter lebar jatuh (m³/det)

$$q_1 = \frac{Q_d}{B_2} \dots \dots \dots (2.28)$$

Q_d = Debit rencana (m^3/det)

B_2 = lebar muka air di atas bendung

Kercepatan aliran air di bagian hilir Bendung

$$v_1 = \sqrt{2 \times g \times (0.5H_1 + h_1)} \dots \dots \dots (2.29)$$

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

H_1 = tinggi energi di atas mercu (m)

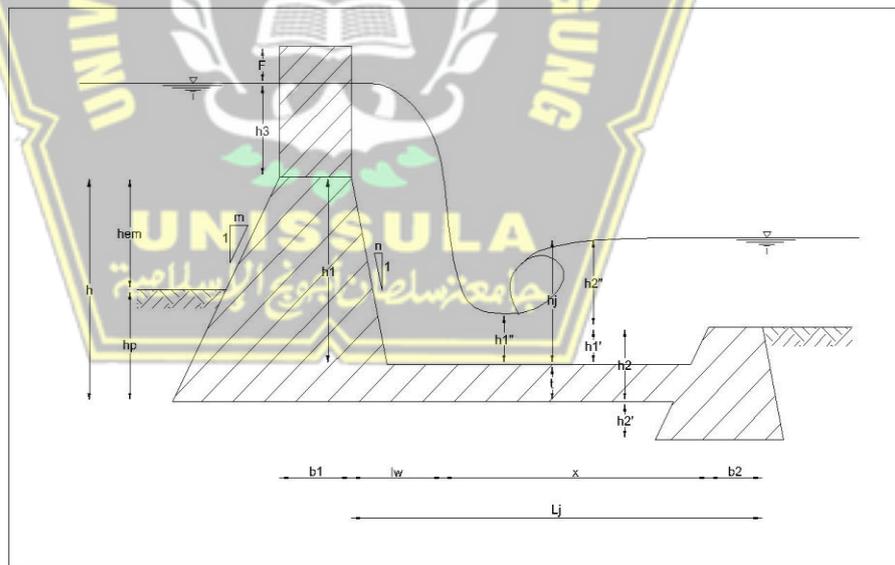
h_1 = tinggi Bendung utama dari lantai kolam olak (m)

Froude aliran pada titik terjunan

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g \times h_1''}} \dots \dots \dots (2.30)$$

F_1 = Froude aliran pada titik terjunan

h_1'' = tinggi muka air bagian hilir Bendung (m)



Gambar 2.3 pola hidraulik

Keterangan:

h = tinggi total Bendung

hem = tinggi tumpukan sedimen

hp = tinggi pondasi Bendung

h_1	= tinggi efektif Bendung
h_1'	= tinggi ambang sub Bendung
h_1''	= tinggi air hilir Bendung
h_2	= tinggi sub Bendung dari dasar kolam
h_2'	= tinggi pondasi sub Bendung
h_2''	= tinggi air di atas peluap sub Bendung
h_3	= tinggi air di atas peluap Bendung
h_j	= tinggi loncatan hidraulik
L_j	= Panjang kolam olak
l_w	= Panjang terjunan dari mercu Bendung
x	= Panjang olakan
b_1	= lebar mercu Bendung
b_2	= lebar mercu sub Bendung
m	= kemiringan hulu Bendung
n	= kemiringan hilir Bendung

2.2.5. Gerusan Tanah

Fenomena gerusan tanah hampir sama seperti angkutan sendimen yang terjadi di dasar sungai. Gerusan tanah merupakan peristiwa terpisahnya ikatan partikel pada tanah yang di akibatkan oleh gaya geser air yang sangat tinggi.

Gerusan tanah (*scouring*) dapat terjadi akibat pengaruh morfologi sungai dimana terjadi penyempitan dimensi sungai dan tikungan. Gerusan juga dapat terjadi akibat dari adanya bangunan air seperti gorund sill, jembatan, bendung dan bangunan air yang berpengaruh merubah aliran air.

Dalam definisi lain, gerusan merupakan peristiwa pembesaran aliran air yang membawa material melalui pola hidrolika dimana material yang terangkut lebih besar daripada sedimen yang mengendap (Laursen: 1952).

Definisi peristiwa gerusan (*scouring*) yang terjadi pada struktur bangunan air dapat di bagi menjadi 2:

1. Tipe gerusan

a. Gerusan umum (*General Scour*)

Gerusan yang terjadi sebara umum atau secara alami dimana tidak ada pengaruh dari bangunan.

b. Gerusan lokalisir (*Construction Scour*)

Gerusan yang terjadi akibat dari penyempitan dimensi sungai karena adanya sebuah bangunan air dan membentuk aliran air menjadi terpusat.

c. Gerusan lokal (*Local scouring*)

Gerusan lokal terjadi karena pengaruh dari bangunan air pada alur sungai. Proses ini terjadi akibat dari faktor tertahannya angkutan sedimen yang dibawa aliran air oleh struktur bangunan air dan perubahan aliran air karena adanya gangguan dari struktur bangunan.

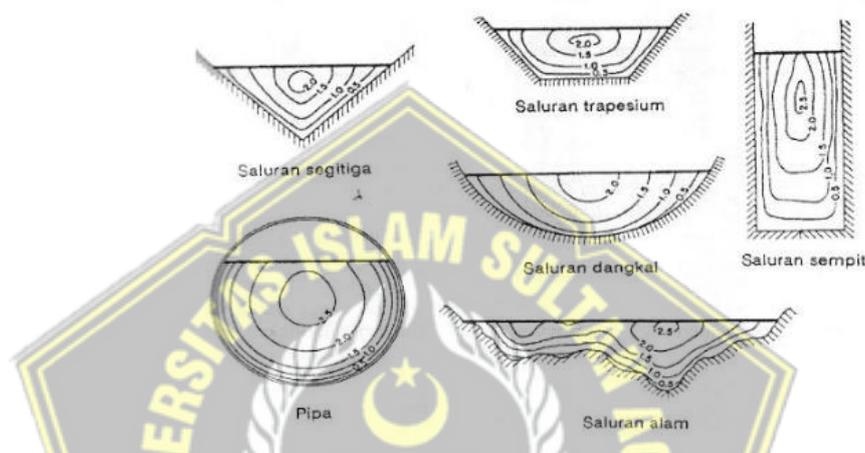
2. Gerusan dari perbedaan kondisi jumlah angkutan sedimen

a. *Clear water scour* kondisi dimana material yang terkelupas akibat gerusan tidak terangkut oleh aliran air sehingga mengendap kembali

b. *Live bed scour* kondisi gerusan yang di sertai angkutan material sedimen dasar saluran

Gerusan tanah sering di temukan pada lokasi air terjun dan pada bagian hilir bangunan air seperti bangunan pelimpas, Bendung, dan salah satunya yaitu pada bangunan *Groundsill* dan sabo dam. Tanpa adanya perlindungan yang memadai di sisi hilir *Groundsill* maka tanah pada dasar sungai akan mengalami gerusan pada saat terjadinya banjir maksimum. Besaran debit air yang terjadi pada saat terjadinya banjir berpengaruh pada tingginya nilai gerusan tanah itu sendiri.

pada penelitian terdahulu di bahas mengenai gerusan dalam dua model Bendung dan di dapat kesimpulan besaran debit mempengaruhi Panjang loncatan hidraulik yang mengakibatkan terjadinya gerusan di hilir Bendung. Jenis jenis kondisi aliran saluran terbuka pada dasarnya bergantung pada dua kondisi yaitu, kekentalan (viscosity) dan pengaruh percepatan gravitasi. (Pangestu, Yuni. 2018).



Gambar 2.4 Distribusi Kecepatan air pada saluran
(Sumber: Triatmodjo, 2013)

1. Perhitungan gerusan banjir maksimum menggunakan metode Lecy
Menganalisis kedalaman gerusan yang terjadi pada hilir bangunan *Groundsill* dapat di hitung menggunakan metode Lacey. Dalam persamaan Lacey dijelaskan semakin tinggi nilai debit air maka semakin besar nilai gerusan yang terjadi. Perilaku gerusan yang terjadi di dasar sungai dipengaruhi oleh jenis sedimen dan ukuran diameter sedimen (D_m) yang terdapat pada dasar sungai. Berikut persamaan Lacey yang di pakai untuk menghitung kedalaman gerusan tanah pada dasar sungai:

$$R = 0.47 \frac{Q^{1/3}}{f} \dots \dots \dots (2.31)$$

Dimana:

R = kedalaman gerusan yang terjadi (m)

Q = debit rencana (m³/det)

f = Faktor umpur Lacey

nilai faktor lumpur Lacey dapat dari persamaan berikut:

$$f = 1.76 (D_m)^{0.5} \dots \dots \dots (2.32)$$

Dimana:

D_m = diameter rata-rata material

Dikarenakan jenis sedimen di dasar sugai berpasir, jadi saya asumsikan diameter material sedimen 1 mm

2.2.6. Stabilitas tanah

Groundsill merupakan bangunan kontrol ambang dasar sungai yang dibangun pada lokasi yang mengalami degradasi sedimen. *Groundsill* juga merupakan bangunan penahan sedimen agar tetap menjaga elevasi sungai dan menjaga bangunan di sekitarnya seperti jembatan, talang irigasi dan lain lain.

Kondisi tanah yang menjadi dasar dari bangunan *Groundsill* merupakan hal yang perlu diperhatikan. Pengaruh terhadap kestabilan bangunan yang menjadi hal utama pada struktur tanah yang terletak di bawah bangunan *Groundsill*.

Banyak faktor yang menjadi parameter dalam mendesain bangunan agar tahan terhadap gaya yang akan di terimanya. Contoh kasus pada desain dinding penahan tanah (DPT) dimana gaya tanah dari sisi dalam menjadi parameter utama untuk mendesain dinding penahannya (DPT) agar tahan terhadap gaya guling, geser dan lain lain.

Berikut parameter tanah yang akan digunakan dalam menganalisis dalam menjaga stabilitas bangunan agar tetap aman terhadap gara geser dan guling.

A. Parameter Tanah

Tanah terdiri dari butiran mineral yang tidak tersementasi secara kimiawi dan berasal dari pelapukan bahan organik disertai zat gas cair yang mengisi pori-pori antar butiran. (Pratikso, 2017). Himpunan mineral, pelapukan bahan organik, dan endapan-endapan yang terdapat pada batuan dasar dengan ikatan antar partikel yang relative lemah dan mengandung zat gas cair pada setiap rongga-rongga antar partikel merupakan definisi dari material tanah (hardiyatmo, 1992).

Tanah mempunyai sifat dan karakteristik sendiri pada setiap jenis tanah, hal ini yang dapat membedakan dari setiap jenis tanah. Berikut beberapa parameter tanah yang digunakan untuk mendeskripsikan sifat dan karakteristik dalam setiap jenis tanah,

1. Klasifikasi tanah dari hasil data sondir

Salah satu penyelidikan tanah di lapangan yaitu menggunakan alat sondir. Data dari hasil sondir tanah di lapangan dapat digunakan dalam menganalisis klasifikasi tanah. Klasifikasi tanah ini dapat dari nilai tekanan *conus* (q_c) dan hambatan pelekat (f_s) dari hasil tersebut dapat diketahui struktur tanah pada kedalaman tertentu. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 2.2 tentang klasifikasi tanah dari data sondir di bawah ini.

Tabel 2.6 Klasifikasi Tanah dari data sondir

Hasil Sondir		Klasifikasi
q_c (kg/cm^2)	F_s (kg/cm^2)	
6.0	0.15-0.40	Humus, lempung sangat lunak
6.0-10.0	0.20	Pasir kelanauan lepas, pasir sangat lepas

	0.20-0.60	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek
10.0-	0.10	Kerikil lepas
30.0	0.10-0.40	Pasir lepas
	0.40-0.80	Lempung atau lempung kelanauan
	0.80-2.00	Lempung agak kenyal
30.0-	1.50	Pasir kelanauan, pasir agak padat
60.0	1.0-3.0	Lempung atau lempungkelanauan kenyal
80.0-	1.0	Kerikil kepasiran lepas
150.0	1.0-3.0	Pasir padat, pasir kelanauan atau lempung padat dan lempung kelanauan
	3.0	Lempung kerikil kenyal
150.0-	1.0-2.0	Pasir padat, pasir kekerikilan, pasir kasar, pasir kelanauan sangat padat
300.0		

(Sumber: Das, 2011)

Terdapat hubungan antara nilai tekan *conus* dan nilai kohesi tanah. Hubungan itu terikat pada jenis tanah dimana apabila nilai kohesi (*c*) dan tekan *conus* (*qc*) semakin tinggi maka semakin keras tanah tersebut. Berikut tabel 2.3 menjelaskan hubungan antara konsistensi dengan tekanan *conus* (*q*)

Tabel 2.7 Hubungan antara konsistensi dengan tekanan *conus*

Konsistensi Tanah	Tekanan <i>Conus</i> (<i>qc</i>) (kg/cm ²)	Undrained Cohesion (T/m ²)
Very soft	<2.50	<1.25
Soft	2.50-5.0	1.25-2.50
Medium Stiff	5.0-10.0	2.50-5.0

Stiff	10.0-20.0	5.0-10.0
Very Stiff	20.0-40.0	10.0-20.0
Hard	>40.0	>20.0

(Sumber: Begeman, 1965)

Hubungan antara kepadatan dengan relative density, dimana dapat di ketahui nilai N-SPT, tekan *conus* (qc), dan nilai sudut geser dalam (\emptyset) merupakan nilai setara seperti yang di paparkan dalam tabel 2.4 hubungan antara kepadatan dengan *retalive density* di bawah ini.

Tabel 2.8 Hubungan Antara Kepadatan dengan *Relative Density*

Kepadatan	<i>Relative Density</i> (γ_d)	Nilai N-SPT	Tekanan <i>conus</i> (qc) (kg/cm^2)	Sudut Geser (\emptyset) ($^\circ$)
Very Lose	<0.2	<4	<20	<30
Lose	0.2-0.4	4-10	20-40	30-35
Medium Dense	0.4-0.6	10-30	40-120	35-40
Dense	0.6-0.8	30-50	120-200	40-45
Very Dense	0.8-1.0	>50	>200	>45

(Sumber: Mayerhoff, 1965)

2. Berat jenis tanah

Berat jenis tanah merupakan angka perbandingan yang didapat dari massa isi butir tanah dan massa isi air (SNI 1967-2008). Untuk mengetahui berat jenis tanah dapat di ketahui pada saat penelitian di laboratorium dan di dapat nilai berat pikno meter kosong (gr), berat pikno meter yang di isi sampel tanah kering (gr), berat piknometer yang di isi sampel tanah

dan air suling (gr), berat piknometer yang di isi hanya air suling (gr). Dan dikalikan dengan factor koreksi terhadap suhu. Sehingga didapatkan rumus sebagai berikut:

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} K \dots \dots \dots (2.33)$$

Keterangan:

- W1 = berat piknometer kosong (gr)
- W2 = berat piknometer + sampel tanah kering (gr)
- W3 = Berat piknometer + sampel tanah kering + Air suling (gr)
- W4 = berat piknometer + air suling (gr)
- K = factor koreksi terhadap suhu

Didapat data berat jenis tanah di lokasi bangunan *Groundsill*

DI Gung sebagai berikut:

Tabel 2.9 Berat jenis tanah

No	Jenis Tanah	Berat Jenis (Gs)
1	Pasir (<i>Sand</i>)	2.65 – 2.67
2	Pasir Berlanau (<i>Silty Sand</i>)	2.67 – 2.70
3	Lempung Inorganic (<i>Inorganic Clay</i>)	2.70 – 2.80
4	<i>Soil with mica or iron</i>	2.75 – 3.00
5	Gambut	< 2
6	Humus Soil	1.37
7	Grafel	> 2.7

(sumber: L. D. Wesley)

3. Modulus young

Modulus young merupakan nilai yang menunjukkan elastisitas tanah dilihat dari rasio terganggan terhadap regangan pada tanah.

Tabel 2.10 nilai modulus young

No	Jenis Tanah	Nilai Modulus Young E (kg/cm ³)
1	Lempung	
a	Sangat Lunak	3 - 30
b	Lunak	20 - 40
c	Sedang	45 - 90
d	Berpasir	300 - 425
2	Pasir	
a	Berlanau	50 - 200
b	Tidak padat	100 - 250
c	Padat	500 - 1000
3	Pasir dan Kerikil	
a	Padat	800 - 2000
b	Tidak Padat	500 - 1400
c	Lanau	20 - 200
d	Loses	150 - 600
e	Cadas	1400 - 14000

(Sumber: Bowles, 1997)

4. Sudut geser dalam

Nilai sudut geser pada suatu kondisi tanah dapat menggambarkan ketahanan gaya geser suatu tanah dengan adanya tegangan efektif pada saat terjadinya keruntuhan desor (Mitchell dkk, 1972). Secara umum sudut geser dapat diartikan parameter umum yang digunakan untuk mengukur kekuatan geser tanah.

Kekuatan geser tanah tak kohesi pada tegangan rendah dipengaruhi oleh mineralogi, bentuk butir, sudut, dan distribusi ukuran butir, dengan nilai perpindahan besar yang dikaitkan dengan karakteristik matriks tanah.

Tabel 2.11 Nilai sudut geser dalam

No	Jenis Tanah	Nilai Sudut Geser (Ø)
1	Sangat lepas	< 30
2	Lepas	30 - 35
3	Agak padat	35 - 40
4	Padat	40 – 45
5	Sangat padat	>45

(sumber: Bowles JE, 1989)

5. Nilai kohesi tanah (c)

Nilai kohesi tanah merupakan nilai yang menunjukkan daya ikat antara butiran-butiran tanah. Semakin tinggi nilai kohesi pada suatu tanah maka semakin kuat juga daya ikat antar butiran-butiran tanah. Untuk mengetahui nilai kohesi pada suatu tanah, dapat di hitung dari hasil sondir. Nilai kohesi tanah di dapat dari pengujian sampel tanah di laboratorium yaitu dengan metode direct sheer strength test.

Nilai kohesi dapat di ketahui dari hasil pengujian Direct Shear Test. Penentuan nilai kohesi menggunakan metode empiris dapat di hitung dari hasil data sondir yang di dapat di lapangan yaitu dengan rumus sebagai berikut:

$$c = \frac{qc}{20} \dots \dots \dots (2.34)$$

Dimana:

c = nilai kohesi tanah (kg/cm²)

qc = nilai tekan *conus* (kg/cm²)

6. Poisson Ratio

Nilai kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral merupakan definisi dari poisson ratio. Jenis tanah lateral dapat menentukan nilai dari poisson ratio dimana seperti yang dijelaskan pada tabel 2.5 Hubungan antara jenis tanah dan poisson ratio

Tabel 2.12 Hubungan antara Jenis Tanah dan *Poisson Ratio*

Jenis Tanah	Poisson Ratio (μ)
Lempung jenuh	0.4-0.5
Lempung tak jenuh	0.1-0.3
Lempung berpasir	0.2-0.3
Lanau	0.3-0.35
Pasir	0.1-1.0
Batuan	0.1-0.4
Umum dipakai untuk tanah	0.3-0.4

(Sumber: Das, 2011)

7. Klasifikasi Tanah Berdasarkan *Unified System*

Berat isi tanah adalah perbandingan berat tanah basah (γ) dengan ini tanah seluruhnya dengan persamaan

$$\gamma = \frac{\text{berat tanah basah}}{\text{isi tanah total}} \dots \dots \dots (2.35)$$

Selanjutnya berat isi tanah kering (γ_d) adalah hasil perbandingan dari berat isi tanah basah (γ) dengan kadar air. berikut rumus dalam mencari nilai berat isi tanah kering.

$$\gamma_d = \frac{\text{berat tanah basah}}{1 + \text{kadar air}} \dots \dots \dots (2.36)$$

8. Nilai Kadar Air (w_c)

Kadar air didefinisikan sebagai perbandingan berat air dengan berat tanah.

$$w_c = \frac{\text{Berat Basah} - \text{Berat kering}}{\text{berat kering}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.37)$$

Kadar air di dapat dari perbandingan antara berat tanah dan berat tanah kering, sehingga didapatkan nilai kadar air yang terkandung di dalam tanah.

9. Klasifikasi Tanah Berdasarkan *Unified System*

Sistem klasifikasi tanah ini sering di gunakan dalam perencanaan bangunan termasuk perencanaan bangunan air seperti bendungan, *Groundsill*, dll. Dalam sistem klasifikasi tanah berdasarkan *Unified System* terdapat dua kelompok tanah yaitu: (Das, 1988)

a. Tanah berbutir kasar

Berdasarkan *Unified System* jenis tanah ini merupakan tanah kerikil dan pasir yang >50% berat totalnya tertahan pada saringan No. 200

b. Tanah berbutir halus

Berdasarkan *Unified System* jenis tanah ini merupakan tanah lanau, lempung yang <50% berat totalnya tertahan di saringan No. 200.

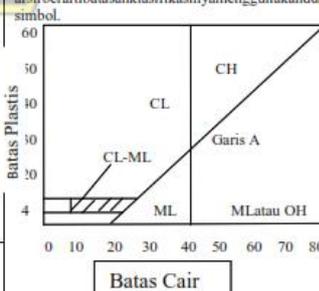
Tabel 2.13 klasifikasi tanah *Unified System*

Jenis Tanah	Prefiks	Sub kelompok	Sufiks
Kerikil	G	Gradasi baik	W
		Gradasi buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C

Lanau	M		
Lempung	C	$w_l < 50\%$	L
Orgarik	O	$w_l > 50\%$	H
Gambut	Pt		

(Bowles, 1991)

Tabel 2.14 Sistem klasifikasi tanah *Unified System*

Divisi Utama	Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi	
Tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran tertentan saringan No. 200 Kerikil $50\% \geq$ fraksi kasar tertentan saringan No. 4 Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lolos saringan No. 4	Kerikil(bersih) (hanya kerikil)	GW	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{60})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		GP		
	Kerikil dengan butiran halus	GM	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> beradadi daerah sirdaridia gramplastisitas, makadipakaidobe l simbol	
		GC		
	Pasir denganbutiran halus	Pasir(bersih) (hanyapasir)	SW	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{60})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidakmemenuhikeduakriteriauntuk SW
			SP	
SM		SM	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> beradadi daerahsirdaridia gramplastisitas, makadipakaidobe l simbol	
		SC		
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung batas cair $\leq 50\%$	ML	DiagramPlastisitas: Untukmengklasifikasikadabutiranhalus yang terkandungdalamtanahberbutiranhalus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasukdalamdaerah yang di arsirberartibatansanklasifikasinya menggunakan dua simbol. 	
		CL		
	OL			
	Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$	MH		
		CH		
	Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$	OH		
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT	<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488	

(Sumber: Hary Christady, 1990)

2.2.7. Permodelan Menggunakan *Software*

Berkembangnya zaman di dunia Teknik sipil sekarang ini semakin maju dalam bidang teknologi. Pekerjaan dapat dilaksanakan dengan mudah dan efisien berkat bantuan dari teknologi. Tidak hanya dalam dunia proyek pembangunan yang sekarang sangat terbantu berkat adanya teknologi alat berat, dalam hal perencanaan pembangunan sekarang sudah banyak developer-developer yang membuat *software* untuk melaksanakan perhitungan Analisis. Mulai dari daya dukung tanah, bangunan air, hingga perencanaan bangunan gedung sekarang sudah semakin mudah berkat pesatnya perkembangan teknologi.

1. *Software* Hec Ras

Hec Ras yang berasal dari (*Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*) merupakan salah satu *software* yang disediakan oleh Pusat Teknik Hidrologi Angkatan Darat yang berfokus dalam dunia hidrologi. Ada banyak jenis fitur Analisis hidrologi yang tersedia di *software* Hec Ras termasuk juga Analisis angkutan sedimen pada aliran sungai.

Fitur-fitur yang disediakan di *software* Hec Ras yaitu terdapat fitur analisis profil muka air aliran permanen, simulasi aliran tak permanen, hitungan transport sedimen (*mobile bed, moveable boundary*), dan analisis kualitas air.

2. *Software* Geo5

Geo5 merupakan *Software* yang di rancang untuk membantu dalam menghitung perencanaan bangunan seperti pondasi, dinding penahan tanah, hingga bangunan air contoh bangunan *Groundsill*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pendahuluan

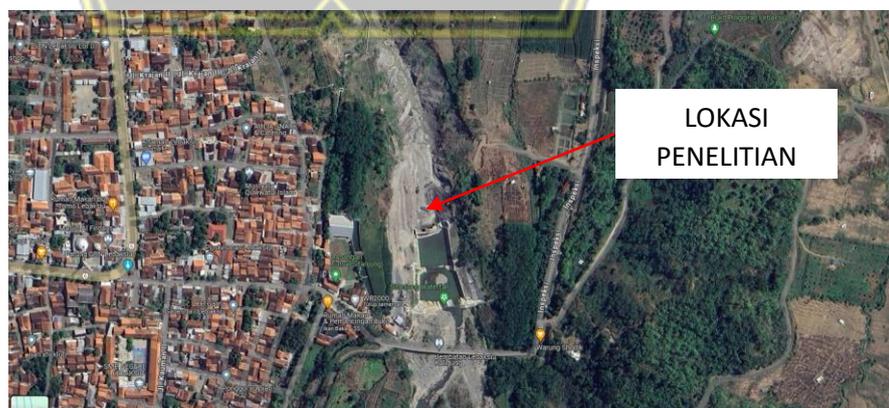
Penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui perilaku tanah pada saat erosi karena terjadinya banjir pada hilir bangunan gorunf sill sungai DI Gung, Dimana pada kasus ini, pada hilir gorund sill sudah terjadi erosi. Pembahasan pada penelitian ini berfokus pada besaran nilai angkutan sedimen pada hilir bangunan *Groundsill* dan stabilitas tanah di bawah bangunan *Groundsill*.

3.2. Metode Pengumpulan data

Data yang akan digunakan dalam pembahasan penelitian kali ini yaitu data sekunder yang bersumber dari data proyek rehabilitasi Di gung. Data sondir, nilai SPT, kohesi, sudut geser, besaran butiran tanah, as built drawing untuk menentukan jarak lonjakan air pada hilir bangunan *Groundsill*. Adapun data pendukung lainnya seperti data curah hujan dan data debit aliran sungai di dapat dari kantor bending darawarin kabupaten tegal

3.3. Data Penelitian

3.3.1. Lokasi Penelitian



Gambar 3.1 foto citra satelit Lokasi Penelitian
(Sumber: Google maps)

Penelitian ini dilaksanakan di proyek Rehabilitasi DI Gung yang berlokasi di Desa Lebaksiu Lor, Kecamatan Lebaksiu, Kab. Tegal. Lokasi ini berada tepat di hilir bangunan talang saluran sekunder irigasi DI Gung.

3.3.2. Data Umum Penelitian

1. Data Curah Hujan

Intensitas hujan di kabupaten tegal tergolong cukup tinggi, terutama pada pertengahan musim penghujan. Tercatat dari hasil stasiun penangkap hujan seperti pada tabel di bawah ini. Tinginya intensitas hujan yang terjadi pada bukan november sampai dengan bulan april di setiap tahunnya dimana pada periode bulan tersebut merupakan musim penghujan.

Tabel 3.1 Data curah hujan stasiun Kec. lebaksiu

Bulan	stasiun				
	lebaksiu				
	2019	2020	2021	2022	2023
Januari	544	741	503	455	521
Februari	458	469	378	680	440
Maret	310	476	272	175	377
April	420	247	217	281	214
Mei	74	333	129	215	176
Juni	0	63	187	226	26
Juli	9	34	62	75	36
Agustus	0	30	61	34	4
September	0	96	169	159	0
Oktober	20	176	116	237	44
November	112	0	353	418	246
Desember	277	525	246	283	132

(Sumber: BMKG Stasiun Meteorologi Maritim Kelas III Tegal)

Tabel 3.2 Data curah hujan stasiun Kec. Bojong

Bulan	stasiun				
	Bojong				
	2019	2020	2021	2022	2023
Januari	965	807	847	1257	365
Februari	556	962	1241	796	750
Maret	329	656	480	624	551
April	482	515	299	488	325
Mei	31	338	125	274	221
Juni	0	93	233	618	123
Juli	7	83	27	168	23
Agustus	0	55	0	102	0
September	16	44	225	408	3
Oktober	12	476	226	424	71
November	183	0	596	355	469
Desember	415	996	659	398	583

(Sumber: BMKG Stasiun Meteorologi Maritim Kelas III Tegal)

2. Data sampel tanah

Data sampel tanah didapat dari pengujian tanah pada saat perencanaan proyek rehabilitasi DI gung dan hasil penyelidikan tanah pada saat pelaksanaan proyek Rehabilitasi DI gung.

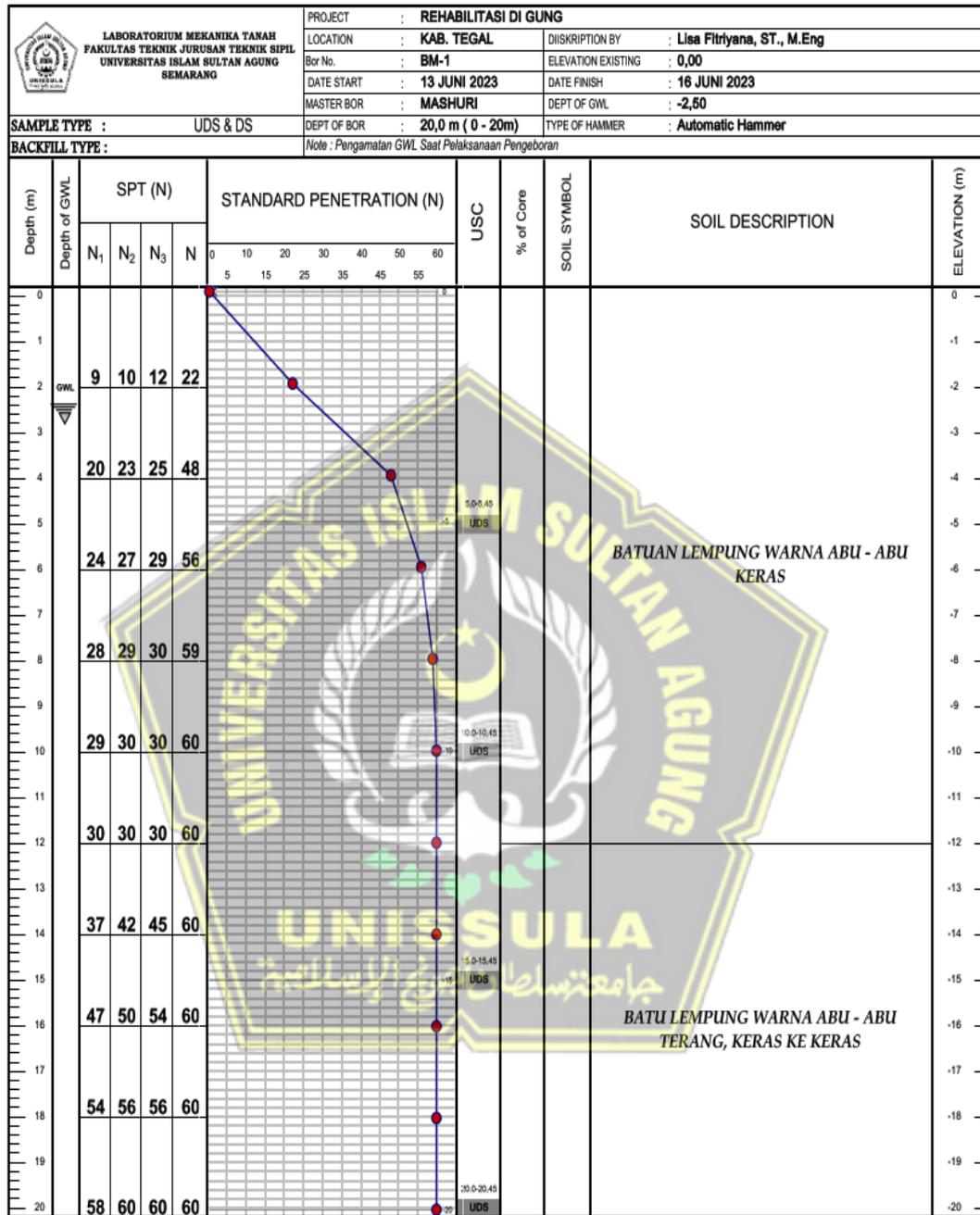
Data tanah yang di dapat yaitu tekstur tanah, kepadatan tanah, porositas tanah, kohesivitas tanah, kekerasan tanah, dan struktur tanah.

Berikut data data tanah yang akan di sajikan dalam penelitian ini:

a. Data nilai sondir tanah

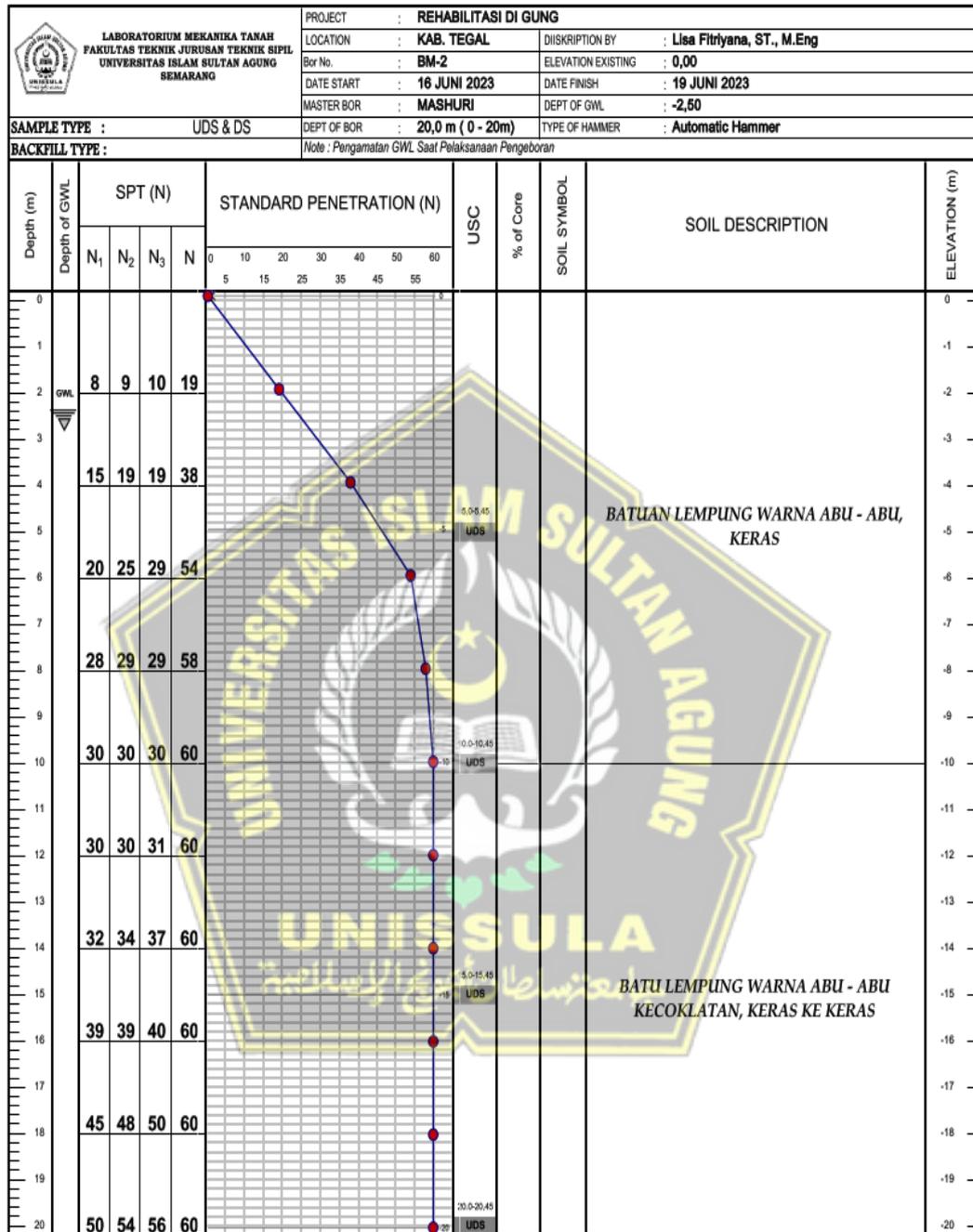
Pada saat pelaksanaan data sondir di ambil di 2 titik disar sungai

1. Titik BM 1



Gambar 3.2 Scan hasil penyelidikan tanah BM 1

2. Titik BM 2



Gambar 3.3 Scan hasil penyelidikan tanah BM 2

b. Hasil penyelidikan tanah di laboratorium

Setelah dilaksanakannya sondir dan pengambilan sampel tanah, selanjutnya sampel tanah di bawa ke laboratorium mekanika tanah untuk mencari nilai dari tekstur tanah, kepadatan tanah, porositas tanah, kohesivitas tanah, kekerasan tanah, dan struktur tanah. Di dapat hasil laboratorium sebagai berikut:

Tabel 3.3 Summary of soil test

Tabel 5.1 Hasil Laboratorium Tekstur Tanah pada Tahun 2022

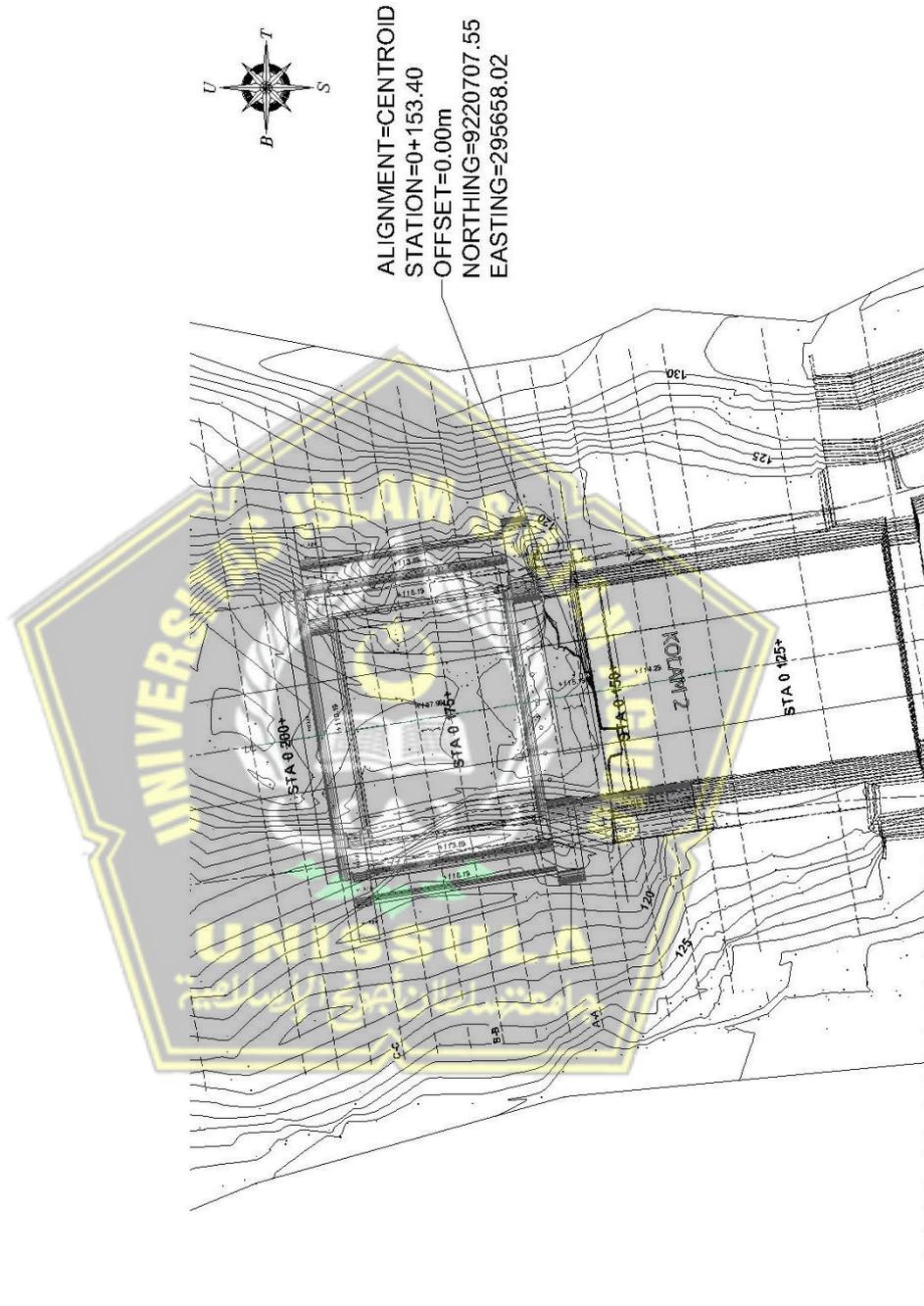
No	Hole	Depth		Grain Size Analysis, %				Tekstur Tanah	USCS
		m		Clay	Silt	Sand	Grav		
1	BH-1	4.50	5.00	25.7	28.5	45.9	0.0	Lempung	CL
2	BH-1	9.50	10.00	36.6	9.5	54.0	0.0	Liat Berpasir	SC
3	BH-1	14.50	15.00	29.0	11.1	59.9	0.0	Lempung Liat Berpasir	SC
4	BH-1	19.50	20.00	20.9	16.6	62.5	0.0	Lempung Liat Berpasir	SC
5	BH-2	4.50	5.00	45.6	40.1	14.3	0.0	Liat Berlumpur	CH
6	BH-2	9.50	10.00	29.5	9.9	55.9	4.7	Lempung Liat Berpasir	SC
7	BH-2	14.50	15.00	20.8	19.7	59.5	0.0	Lempung Liat Berpasir	SC
8	BH-2	19.50	20.00	19.6	20.2	60.2	0.0	Lempung Berpasir	SM
9	BH-3	4.50	5.00	39.4	10.5	50.1	0.0	Liat Berpasir	SC
10	BH-3	9.50	10.00	21.1	20.4	58.6	0.0	Lempung Liat Berpasir	SC
11	BH-3	14.50	15.00	31.0	14.8	52.2	0.0	Lempung Liat Berpasir	SC
12	BH-3	19.50	20.00	32.5	21.1	46.4	0.0	Lempung Liat Berpasir	SC
13	BH-4	4.50	5.00	23.4	21.2	55.4	0.0	Lempung Liat Berpasir	SC
14	BH-4	9.50	10.00	27.4	22.4	50.2	0.0	Lempung Liat Berpasir	SC
15	BH-4	14.50	15.00	31.5	17.5	51.0	0.0	Lempung Liat Berpasir	SC
16	BH-4	19.50	20.00	33.5	11.6	54.9	0.0	Lempung Liat Berpasir	SC
17	TP-1	0.50	1.00	61.1	13.1	21.6	4.2	Liat	CH
18	TP-2	0.50	1.00	41.2	6.9	42.0	9.8	Liat Berpasir	SC

(Sumber: Laporan penyelidikan tanah Supervisi CV Centrina Engineerinf)

3. Data gambar bangunan *Groundsill*

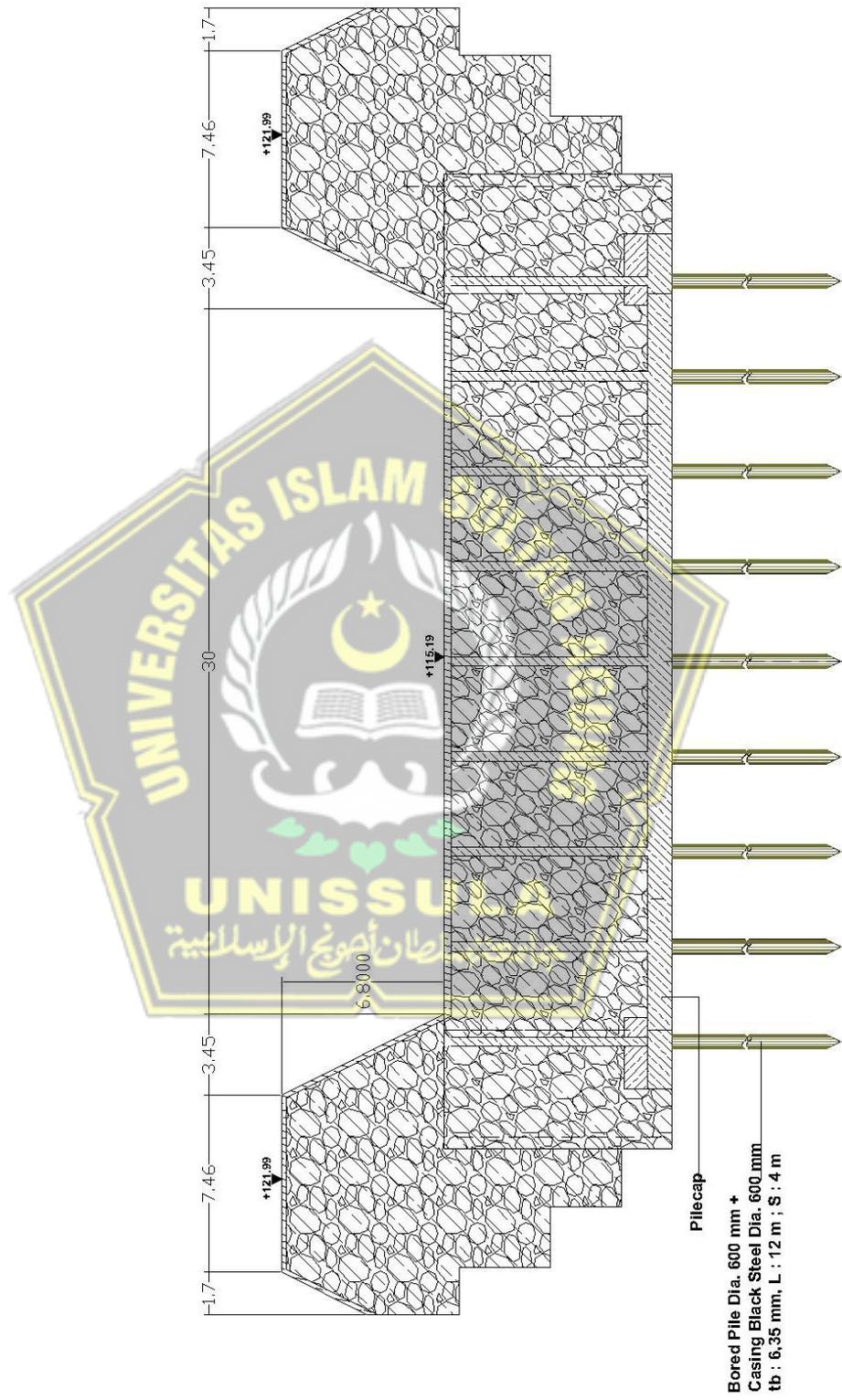
Pengambilan data dimensi bangunan didapat dari gambar final lapangan. Guna gambar ini yaitu untuk menentukan perhitungan Panjang loncatan air dari bangunan *groundsill* ke tanah dasar sungai sehingga dapat menghitung besaran angkutan sedimen pada titik tersebut dan menganalisis stabilitas tanah pada bagian bawah bangunan *Groundsill*.

a. Gambar Tampak Atas



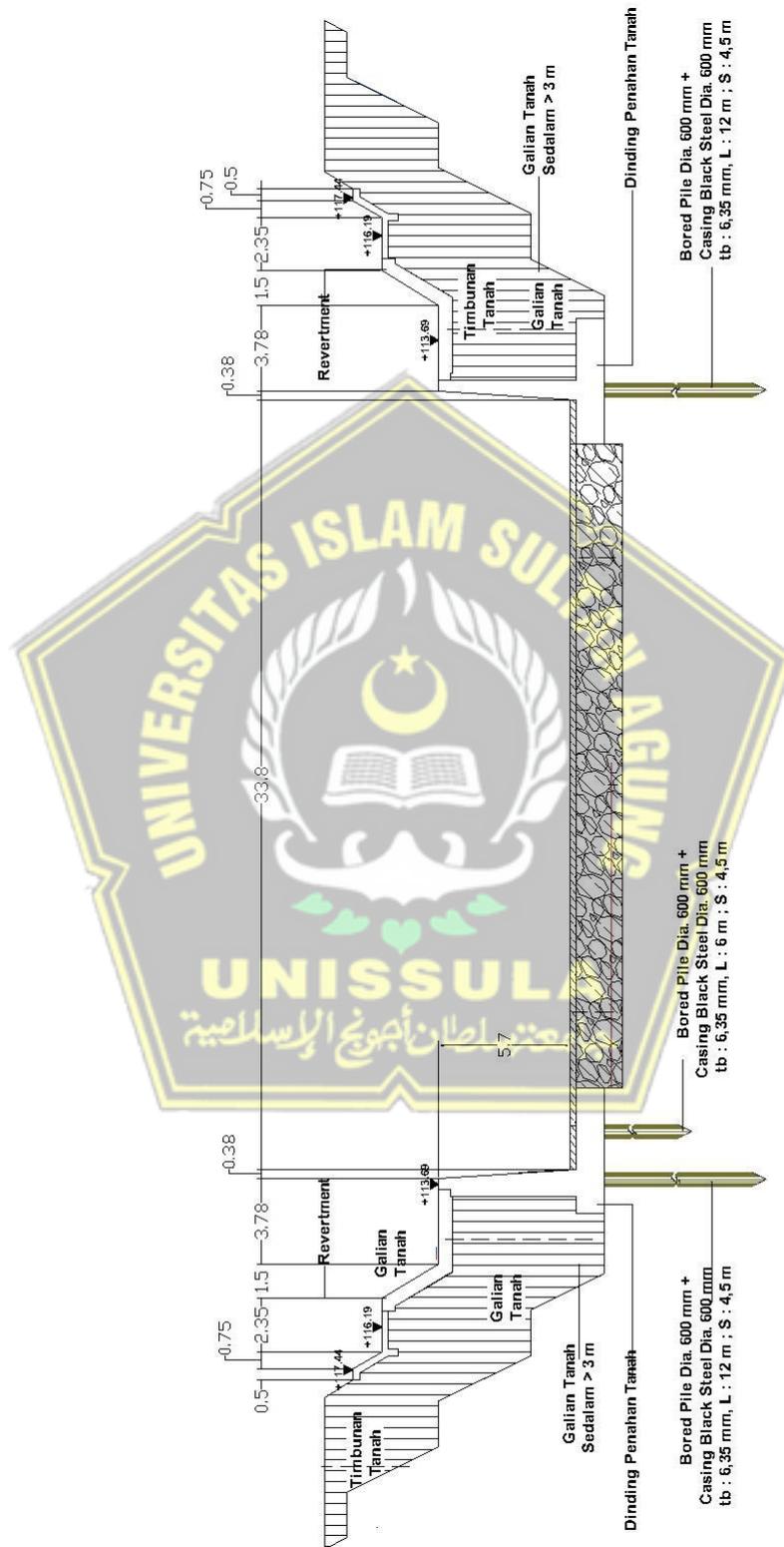
Gambar 3.4 Denah situasi *Groundsill* DI Gunung

c. Gambar cross section A-A *Groundsill*



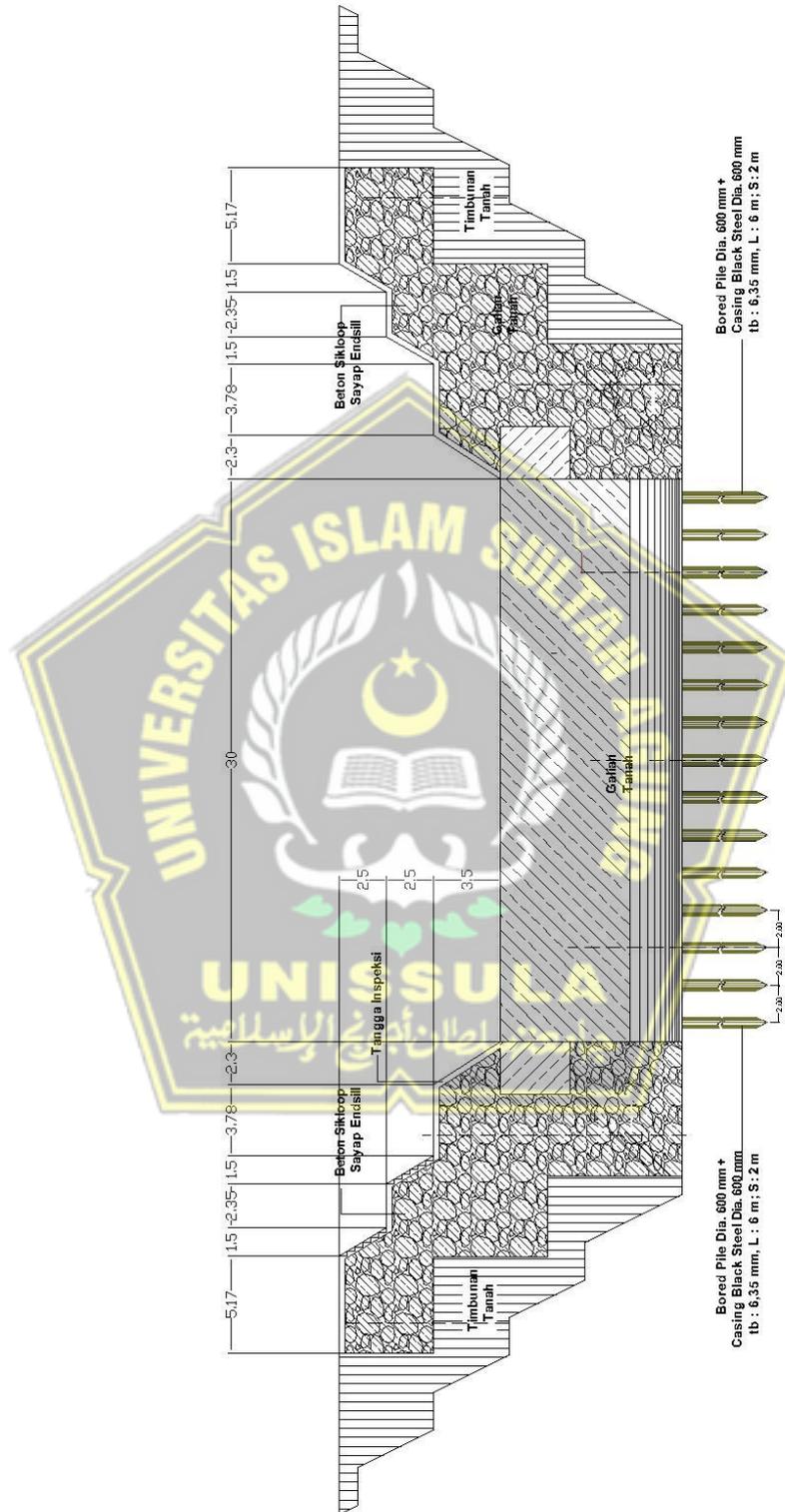
Gambar 3.6 Cross section A-A *Groundsill* DI Gung

d. Gambar cross section B-B *Groundsill*



Gambar 3.7 Cross section B-B *Groundsill* DI Gung

e. Gambar cross section C-C *Groundsill*



Gambar 3.8 Cross section C-C *Groundsill* DI Gung

3.4. Tahapan Perencanaan

3.4.1. Menganalisis karakteristik tanah dasar pada sungai

1. Klasifikasi tanah berdasarkan *Unified Soil Classification System* (USCS) untuk mencari diameter tanah dari hubungan jenis tanah dengan persentase lolos saringan dengan acuan dari tabel 2.14 yaitu tebal tentang sistem klasifikasi tanah *Unified System*

2. Berat isi tanah (γ)

Untuk mengetahui nilai dari berat isi tanah (γ) dapat di analisis dengan persamaan 2.35 Selanjutnya berat isi tanah kering (γ_d) yaitu dari persamaan 2.36

3. Nilai kadar air (w_c)

Kadar air didefinisikan sebagai perbandingan berat air dengan berat tanah yaitu dengan persamaan 2.37

4. Parameter kuat geser (*Direct Sheer*)

Kuat geser tanah merupakan tegangan yang terjadi pada tanah pada saat tanah menerima gaya geser (Bowles, 1993)

a) Kohesif tanah (c)

Nilai kohesif tanah didapat dari pengujian Laboratorium dengan uji *Direct Sheer Test*

b) Sudut geser tanah (ϕ)

Nilai sudut geser pada suatu kondisi tanah dapat menggambarkan ketahanan gaya geser suatu tanah dengan adanya tegangan efektif pada saat terjadinya keruntuhan desor (Mitchell dkk, 1972), Seperti yang di sajikan di dalam tabel 2.11 tentang Hubungan antara jenis tanah dan *poisson ratio*

3.4.2. Menganalisis gerusan tanah yang terjadi akibat debit kala ulang pada sisi hilir bangunan *Groundsill* DI Gung.

1. Analisis data curah hujan

Data curah hujan yang tersedia merupakan hasil pengambilan sampel curah hujan di stasiun lebaksiu dan bojong.

a. Menghitung rata rata curah hujan (\bar{X})

Curah hujan rata-rata dapat di hitung dengan persamaan 2.1

b. Menghitung standar deviasi (S.dev)

Menentukan nilai standar deviasi dari curah hujan rata-rata dengan persamaan 2.2

c. Menghitung koefisien variasi (*coefficient of variation*)

Menentukan nilai koefisien variasi (*coefficient of variation*) dari curah hujan rata-rata dengan persamaan 2.2

d. Menghitung koefisien Kemencengan (*Coefficient of skewness*)

Menentukan nilai koefisien kemencengan (*coefficient of skewness*) dari hasil analisis rata-rata curah hujan menggunakan persamaan 2.4

e. Menghitung Koefisien kurtosis (*Coefficient of kurtosis*)

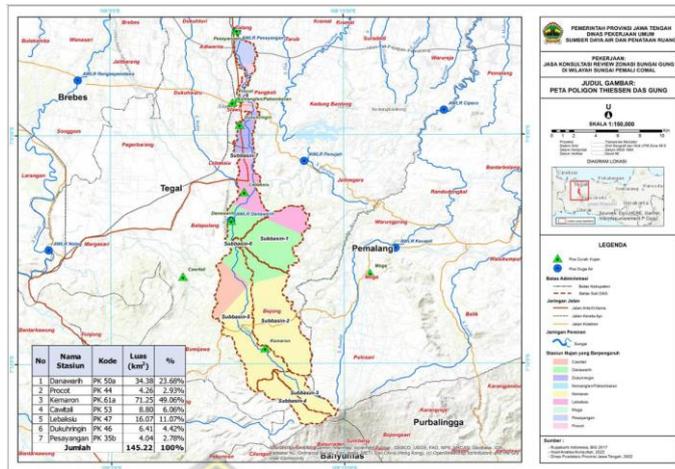
Menganalisis nilai dari koefisien kurtosis (*coefficient of kurtosis*) dari curah hujan rata rata menggunakan persamaan 2.5

f. Penentuan rumus distribusi metode gumbel

Distribusi normal dengan $C_s \approx 0$ dengan persamaan yang dapat di ambil dari tabel 2.1 tentang Persyaratan masing-masing distribusi dengan nilai distribusi gauss dari tabel 2.2. yaitu tabel tentang nilai variable reduksi gauss

2. Analisis debit banjir rencana dengan metode Der Weduwen

a. Menghitung koefisien pengurangan luas untuk curah hujan di DAS dengan persamaan 2.15



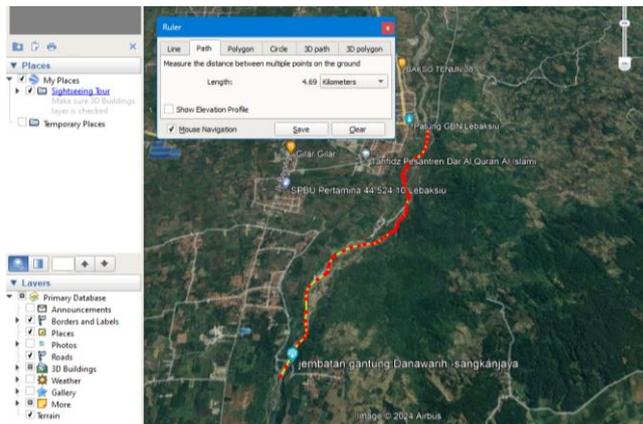
Gambar 3.9 Peta Poligon Thiessen DAS Gung
(Sumber: Hasil analisis Konsultan 2022)

Tabel 3.4. Data luas tangkapan stasiun

No	Stasiun	Kode	A (m ²)
1	Lebaksiu	PK 47	16.07
2	Bojong		
	a. Kemaron	PK 50a	71.25
	b. Danawarih	PK 61a	34.38
Jumlah luasan			121.7

(Sumber: Hasil analisis Konsultan 2022)

- b. Menghitung luasan curah hujan (m³/det.km²) dengan dianalisis menggunakan persamaan 2.15
 - c. Menghitung koefisien limpasan air hujan dengan menganalisis dari persamaan 2.17
 - d. Menghitung debit rancangan (m³/det) dengan kala ulang n tahun dengan menggunakan persamaan 2.18
3. Analisis pola hidraulika *Groundsill*
 - a. Menghitung kemiringan sungai



Gambar 3.10 Jarak Bendung ke bangunan *Gorund Sill*
 Kemiringan sungai dapat diketahui dengan cara persamaan 2.19 dimana mengetahui data elevasi hulu dan elevasi hilir dengan jarak tertentu

$$\text{Elv. bendung} = +225.87 \text{ m}$$

$$\text{Elv. } \textit{Groundsill} = +115.19 \text{ m}$$

$$\text{Jarak} = 4069 \text{ m}$$

- b. Mencari tinggi dan lebar air di atas bendung menggunakan persamaan debit rencana bendung 2.20 dengan cara memasukkan persamaan lebar muka air di atas bendung yaitu persamaan 2.21 ke dalam persamaan 2.20
 - c. Menganalisis panjang terjunan dari mercu bendung dengan persamaan 2.22 dengan menganalisis nilai kecepatan air dengan persamaan 2.23 dan nilai debit permeter pada peluap dengan persamaan 2.24
 - d. Menghitung panjang olakan menggunakan persamaan 2.25
 - e. Dan menghitung tinggi loncatan menggunakan persamaan 2.26 yang menghasilkan kecepatan air dari persamaan 2.29 dan nilai froude dari persamaan 2.30
4. Analisis kedalaman gerusan pada hilir *Groundsill* menggunakan metode Lacey yaitu dengan persamaan 2.31 dan diameter material di ambil dari data penyelidikan tanah di bawah ini:

GRAIN SIZE DISTRIBUTION CURVE - AASHTO - CLASSIFICATION



Gambar 3.11 Grafik hasil penyelidikan tanah DI Gung
Dari grafik di atas didapat besar diameter material yaitu 0.085 mm dengan jenis tanah *Clay low plasticity* (lempung dengan kondisi lepas)

3.4.3. Menganalisis Perilaku Tanah Saat Terjadi Gerusan Lokal

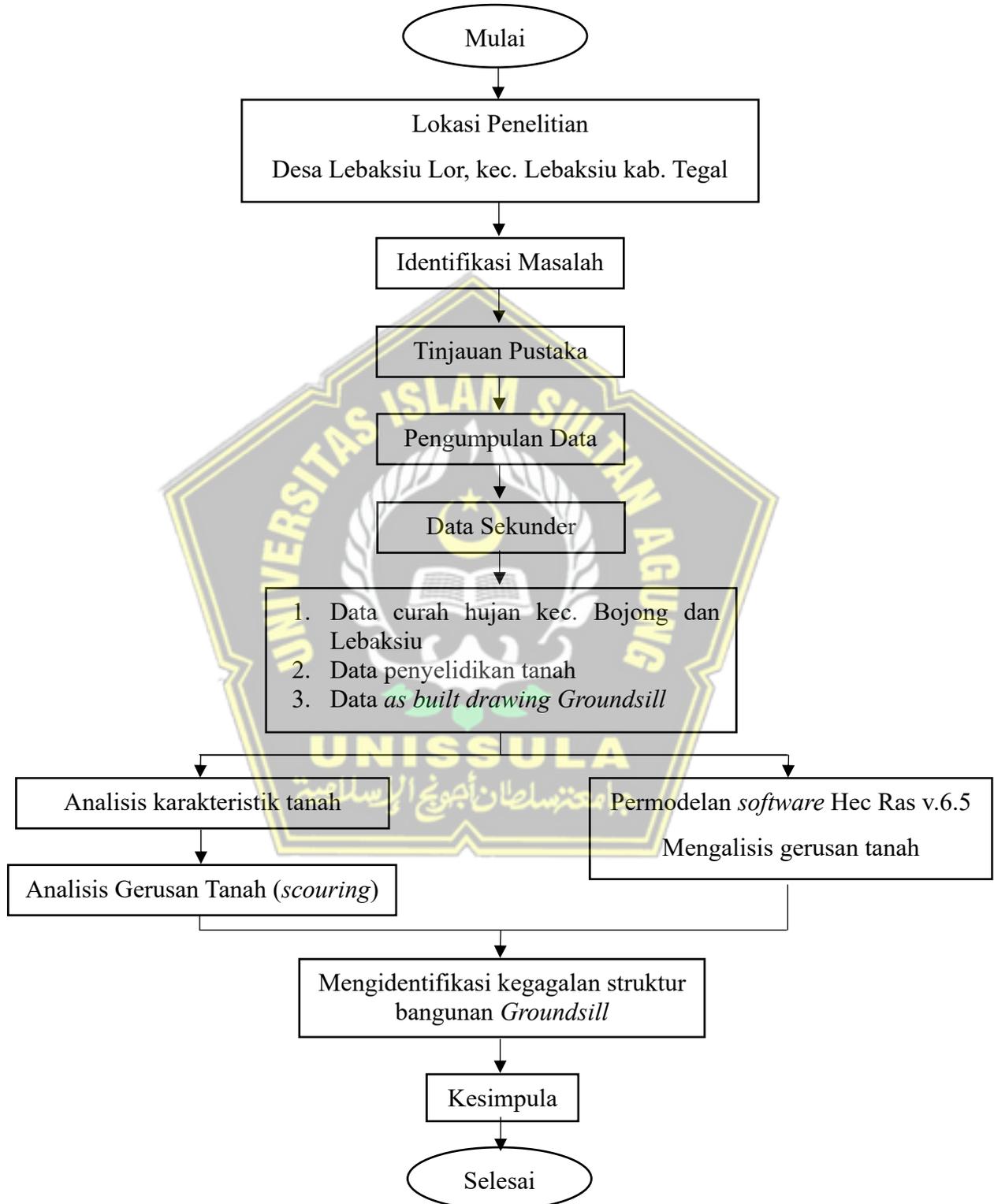
1. Menganalisis parameter butiran (*Particle parameter*) menggunakan metode Van Rijn dengan persamaan 2.8 dan besaran nilai kerapatan jenis (s) dengan persamaan 2.9 dan nilai viskositas kinetik didapat dari tabel
2. Analisis Transport stage parameter dengan metode Van Rijn yaitu persamaan 2.10 dengan mengacu grafik 2.2 yaitu grafik diagram shield dan selanjutnya menganalisis besaran angkutan sedimen dengan persamaan 2.13 dan debit angkutan sedimen dengan persamaan 2.14

3.4.4. Menganalisis stabilitas tanah di bawah *Groundsill*

Analisis identifikasi kegagalan pada struktur bangunan *Gorund Sill* dilakukan menggunakan software Geo5, dimana software tersebut merupakan software menyediakan fitur yang membantu dalam perhitungan perencanaan pondasi, dinding penahan tanah, dan lain-lain termasuk juga dalam perencanaan bangunan *Groundsill*.

3.5. Diagram Alur Penelitian

Langkah-langkah penelitian ini dapat di lihat dari Flow Chart di bawah ini



Gambar 3.12 Flow Chart

BAB IV PEMBAHASAN

4.1. Tinjauan Umum

Bangunan *Groundsill* ini di bangun pada tahun 2023 dimana bangunan ini merupakan bangunan rehabilitasi dari bangunan *gorund sill* yang sudah dibangun pada tahun 2022. Untuk analisis gerusan tanah (*scouring*) pada hilir bangunan *gorund sill*, akan di analisis mulai dari curah hujan rencana sehingga memperoleh besar debit rencana untuk periode 50 tahun dan menganalisis stabilitas bangunan *Groundsill* setelah terjadinya gerusan (*scouring*). Data yang tersedia dalam menganalisis merupakan data sekunder yaitu data curah hujan dari BPKG wilayah III Kab. Tegal dan Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana dan data hasil penyelidikan tanah dan gambar bangunan.

4.2. Menganalisis Karakteristik Tanah Pada Dasar Sungai

Hasil dari penyelidikan tanah pada saat perencanaan bangunan *Groundsill* memberikan informasi penting mengenai struktur tanah di area bangunan *Groundsill*. Mengetahui tekstur tanah atau juga bisa di sebut sebagai karakteristik fisik tanah bermanfaat sebagai acuan perencanaan bangunan dalam analisis stabilitas bangunan.

4.2.1. Klasifikasi tanah berdasarkan *Unified System Classification Soil* (USCS)

Dari tabel 3.3 hasil penyelidikan tanah, jenis tanah pada titik BH-1 yaitu tanah lempung pada kedalaman 4.5 – 5.0 m dan tanah liat berpasir pada kedalaman 9.5 – 10.0 m. nilai persentase dari analisis ukuran butiran tanah pada kedalaman 4.5 – 5.0 yaitu tanah lempung (*clay*) 25%, Tanah jenis Silt 28.5%, dan pasir (*Sand*) 45.9%. dari nilai grain size analisis di atas tanah tersebut berjenis *Low plasticity Clay* atau Lempung berplastisitas rendah dengan simbol (CL). Jenis tanah lempung menurut tabel 2.13 *Unified System Classification Soil* (USCS) memiliki ukuran butiran <0.075 mm.

4.2.2. Karakteristik jenis tanah berdasarkan berat jenis tanah

Berdasarkan data berat jenis tanah (G_s) hasil penyelidikan tanah pada titik lokasi BH-1 dimana titik itu terletak pada hilir bangunan *Groundsill* diperoleh nilai dari berat jenis tanah (G_s) antara 2.7 – 2.75. berdasarkan tabel 2.7 berat jenis tanah, angka tersebut menunjukkan bahwa jenis tanah pada lokasi tersebut berjenis *Low plasticity Clay* atau Lempung berplastisitas rendah (CL).

4.2.3. Berat isi tanah (γ)

Berat ini tanah adalah perbandingan berat tanah basah (γ) dengan isi tanah seluruhnya sehingga di dapat nilai berat isi tanah basah (γ) 1.79 gr/cm^3 seperti yang di jelaskan dalam tabel 3.1. Hasil penyelidikan tanah.

Selanjutnya berat isi tanah kering (γ_d) adalah hasil perbandingan dari berat isi tanah basah (γ) dengan kadar air. Dan di dapat nilai berat isi tanah kering (γ_d) 1.36 gr/cm^3 seperti yang di jelaskan dalam tabel 3.1. Hasil penyelidikan tanah.

4.2.4. Nilai kadar air (w_c)

Kadar air didefinisikan sebagai perbandingan berat air dengan berat tanah sehingga didapatkan nilai kadar air pada titik BH-1 pada angka 29.5 – 32.5 %.

4.2.5. Parameter kuat geser (*Direct Sheer*)

Kuat geser tanah merupakan tegangan yang terjadi pada tanah pada saat tanah menerima gaya geser (Bowles, 1993)

1. Kohesif Tanah (c)

Nilai kohesi dapat di ketahui dari hasil pengujian Direct Shear Test. Pada tabel 3.3 hasil penyelidikan tanah pada titik BH-1 di dapat hasil penyelidikan tanah untuk nilai kohesif tanah (c) sebesar

7 – 9.5 kN/m² dimana nilai tersebut menjelaskan bahwa tanah tersebut memiliki nilai kohesif atau data ikat antar partikel

2. Sudut Geser Tanah (ϕ)

Nilai sudut geser pada suatu kondisi tanah dapat menggambarkan ketahanan gaya geser suatu tanah dengan adanya tegangan efektif pada saat terjadinya keruntuhan desor (Mitchell dkk, 1972).

Pada tabel 3.3 data hasil penyelidikan tanah menunjukkan nilai dari sudut geser (ϕ) pada titik BH-1 sebesar 21.6 -24.81 dimana menurut tabel 2.9 Nilai sudut geser dalam masuk dalam tingkat kepadatan yang sangat lepas dengan kriteria sudut geser < 30 .

4.3. Menganalisis Gerusan Tanah Yang Terjadi Akibat Debit Kala Ulang Pada Sisi Hilir Bangunan *Groundsill* DI Gung.

4.3.1. Curah Hujan Rencana Periode n Tahun

Pada perhitungan ini akan dilakukan menggunakan beberapa persamaan dan distribusi gumbel dimana persamaan tersebut biasa digunakan dalam analisis data statistika termasuk dalam perhitungan curah hujan rencana periode n tahun. Perhitungan curah hujan rencana periode n tahun ini berfungsi untuk mengetahui nilai besaran hujan rata-rata pada beberapa periode tahun kedepan. Hasil dari analisis ini akan disajikan nilai curah hujan periode 2, 5, 10, 50, 100 tahun.

Pada tabel 3.1 dan 3.2 disajikan data curah hujan di Kab Tegal dengan mengambil sampel curah hujan 5 tahun di 2 kecamatan yaitu Kecamatan Lebaksiu dan Kecamatan Bojong, dimana pada kecamatan Bojong terdapat 2 stasiun Curah hujan yaitu Stasiun Danawarih dan Kemaron.

1. Menghitung rata rata curah hujan (\bar{X})

Diketahui data curah hujan pada tabel 3.1 dan tabel 3.2, pada persamaan 2.1 akan digunakan untuk mencari nilai rata-rata (*mean*) curah hujan tahunan dari kedua data tersebut.

Sebelum menghitung curah hujan rata-rata pada dua stasiun maka akan di hitung terlebih dahulu curah hujan rata-rata pertahunnya pada setiap stasiun.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \dots \dots \dots (4.5)$$

Keterangan:

\bar{X} = Rata-rata (*mean*)

n = Jumlah Data

X_i = nilai pengukuran dari suatu variat

Rata-rata curah hujan pertahun

$$\bar{X} = \frac{n_1 + n_2 + n_3 \dots + n_{12}}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{2224}{12}$$

$$\bar{X} = 185.33 \text{ mm/bulan}$$

Dibawah ini disajikan tabel hasil dari perhitungan rata-rata curah hujan pertahun pada setiap stasiun:

Tabel 4.1. Hasil perhitungan rata-rata curah hujan stasiun Kec. Lebaksu

Bulan	Stasiun Lebaksu				
	2019	2020	2021	2022	2023
Januari	544	741	503	455	521
Februari	458	469	378	680	440
Maret	310	476	272	175	377
April	420	247	217	281	214
Mei	74	333	129	215	176
Juni	0	63	187	226	26
Juli	9	34	62	75	36
Agustus	0	30	61	34	4
September	0	96	169	159	0
Oktober	20	176	116	237	44
November	112	0	353	418	246
Desember	277	525	246	283	132
curah hujan tertinggi	544	741	503	680	521
rata-rata CH per bulan	185.33	265.83	224.42	269.83	184.67

Tabel 4.2. Hasil perhitungan rata-rata curah hujan stasiun Kec. Bojong

Bulan	Stasiun Bojong				
	2019	2020	2021	2022	2023
Januari	965	807	847	1257	365
Februari	556	962	1241	796	750
Maret	329	656	480	624	551
April	482	515	299	488	325
Mei	31	338	125	274	221
Juni	0	93	233	618	123
Juli	7	83	27	168	23
Agustus	0	55	0	102	0
September	16	44	225	408	3
Oktober	12	476	226	424	71
November	183	0	596	355	469
Desember	415	996	659	398	583
curah hujan tertinggi	965	996	1241	1257	750
rata-rata CH per bulan	249.67	418.75	413.17	492.67	290.33

Setelah rata-rata curah hujan pertahun di setiap stasiun sudah di ketahui, selanjutnya menghitung rata-rata curah hujan dari kedua stasiun. Berikut perhitungan dari mencari nilai rata-rata curah hujan pertahun dari kedua stasiun menggunakan rumus 2.1

$$\bar{X} = \frac{n1 + n2}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{185.33 + 249.67}{2}$$

$$\bar{X} = \frac{435}{2}$$

$$\bar{X} = 217.50 \text{ mm/tahun}$$

Dibawah ini disajikan tabel hasil dari perhitungan rata-rata curah hujan pertahun dari kedua stasiun:

Tabel 4.3. Hasil perhitungan curah hujan rata-rata pertahun dari kedua stasiun

Tahun	Stasiun		Data Curah Hujan Rata - Rata
	Lebaksiu	Bojong	
2019	185.33	249.67	217.50
2020	265.83	418.75	342.29
2021	224.42	413.17	318.79
2022	269.83	492.67	381.25
2023	184.67	290.33	237.50
Rata-rata			299.47
Jumlah			

2. Menghitung parameter statistik

Proses perhitungan parameter statistik ini dilakukan untuk membantu dalam perhitungan selanjutnya yaitu analisis standar deviasi (S.dev), koefisien variasi (Cv), (koefisien kemencengan (Cs), koefisien kurtosis (Ck).

Berikut disajikan tabel perhitungan dari parameter statistik

Tabel.4.4. Hasil perhitungan parameter statistic

Tahun	Xi	(Xi- \bar{X})	(Xi- \bar{X}) ²	(Xi- \bar{X}) ³	(Xi- \bar{X}) ⁴
2019	217.50	-81.97	6718.53	-550695.87	45138705.08
2020	342.29	42.83	1833.98	78540.22	3363484.93
2021	318.79	19.33	373.46	7217.03	139469.10
2022	381.25	81.78	6688.51	547008.94	44736214.33
2023	237.50	-61.97	3839.87	-237943.81	14744584.55
Rata-rata	299.47				
jumlah	1497.33	0.00	19454.35	-155873.49	108122457.99

3. Menghitung standar deviasi (S.dev)

Nilai standar deviasi dari curah hujan dihitung menggunakan rumus 2.2 sebagai berikut

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

$$Sd = \sqrt{\frac{19454.35}{5 - 1}}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{19454.35}{4}}$$

$$Sd = 69.74$$

4. Menghitung koefisien variasi (*coefficient of variation*)

Nilai koefisien variasi (*coefficient of variation*) dari curah hujan dihitung menggunakan rumus 2.3 sebagai berikut

$$Cv = \frac{Sd}{\bar{X}}$$

$$Cv = \frac{69.74}{299.47}$$

$$Cv = 0.232$$

5. Menghitung koefisien Kemencengan (*Coefficient of skewness*)

Nilai Koefisien kemencengan (*coefficient of skewness*) dari curah hujan dihitung menggunakan rumus 2.4 sebagai berikut

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

$$Cs = \frac{-155873.49}{(5 - 1)(5 - 2)69.74^3}$$

$$Cs = -0.038$$

6. Menghitung Koefisien kurtosis (*Coefficient of kurtosis*)

Nilai koefisien kurtosis (*Coefficient of kurtosis*) dari curah hujan dihitung menggunakan rumus 2.5 sebagai berikut

$$Ck = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{Sd^4}$$

$$Ck = \frac{108122457.99}{69.74^4}$$

$$Ck = \frac{21624491.6}{69.74^4}$$

$$Ck = 0.914$$

Berikut disajikan tabel hasil dari perhitungan standar deviasi (S.dev), koefisien variasi (Cv), (koefisien kemencengan (Cs), koefisien kurtosis (Ck).

Tabel. 4.5. hasil analisis parameter curah hujan

Tahun	X_i	$(X - \bar{X})$	$(X - \bar{X})^2$	$(X - \bar{X})^3$	$(X - \bar{X})^4$
2019	217.50	-81.97	6718.53	-550695.87	45138705.08
2020	342.29	42.83	1833.98	78540.22	3363484.93
2021	318.79	19.33	373.46	7217.03	139469.10
2022	381.25	81.78	6688.51	547008.94	44736214.33
2023	237.50	-61.97	3839.87	-237943.81	14744584.55
Rata-rata	299.47				
jumlah	1497.33	0.00	19454.35	-155873.49	108122457.99
S. dev	69.74				
Cv	0.232				
Cs	-0.038				
Ck	0.914				

7. Penentuan rumus distribusi metode gumbel

Dalam penentuan jenis distribusi gumbel ada beberapa persyaratan yang harus memenuhi seperti yang tertera dalam tabel 2.1 dalam hasil perhitungan koefisien kemencengan (Cs), koefisien kurtosis (Ck) diketahui nilainya sebagai berikut:

$$Cs = -0.038$$

$$Ck = 0.914$$

dimana nilai koefisien kemencengan (Cs) mendekati 0 maka nilai tersebut memenuhi salah satu distribusi yaitu pada jenis distribusi

normal. Distribusi normal dengan $C_s \approx 0$ memiliki persamaan 2.6 sebagai berikut:

Perhitungan prediksi curah hujan kala ulang 50 tahun

$$X_t = \bar{X} + K_T S. dev$$

$$X_t = 299.47 + (2.05 \times 69.74)$$

$$X_t = 442.43 \text{ mm/tahun}$$

Berikut saya sajikan hasil dari perhitungan curah hujan kala ulang n tahun

Tabel 4.6. hasil analisis curah hujan periode n tahun

T	Periode Ulang (Tahun)	Curah Hujan Max (Rata-Rata) (mm)	Koefisien Faktor (Kt)	S. Dev	$X_T = \bar{X} + kt.Sdev$
2	R2	299.47	0	69.74	299.47
5	R4	299.47	0.84	69.74	358.05
10	R10	299.47	1.28	69.74	388.73
50	R50	299.47	2.05	69.74	442.43
100	R100	299.47	2.33	69.74	461.96

4.3.2. Analisis debit banjir rencana metode Der Weduwen

1. Menghitung koefisien pengurangan luas untuk curah hujan di DAS menggunakan persamaan 2.15

Catchment area merupakan suatu area atau luasan dari daerah tangkapan hujan dimana batas wilayah tangkapannya ditentukan dari titik-titik elevasi tertinggi sampai terendah pada gambar 3.9 peta dari *catchment area* DAS Gung.

Dalam perhitungan debit ini, data curah hujan yang digunakan yaitu data dari 3 stasiun hujan yang terletak di dua kecamatan.

Berikut tabel luasan *catchment area* dari setiap stasiun.

Diketahui total luasa dari *catchment area* 3 stasiun yaitu:

Diketahui:

t = lamanya konsentrasi hujan, jam di ambil rata-rata lama hujan selaman 3 jam

A = *Catchment area* (km²) = 121 m²

$$\beta = \frac{120 + \frac{t+1}{t+9}A}{120 + A}$$

$$\beta = \frac{120 + \frac{12+1}{12+9}121.7}{120 + 121.7}$$

$$\beta = 0.81$$

Dari perhitungan dari persamaan di atas di dapat nilai dari koefisien pengurangan luas curah hujan di DAS Gung (β) sebesar 0.81

- Menghitung luasan curah hujan ($\text{m}^3/\text{det.km}^2$) menggunakan persamaan 2.16. Nilai lamanya konsentrasi hujan (t) dapat dianggap lama intensitas hujan di kecamatan Lebaksiu dan kecamatan Bojong rata-rata perharinya 12 jam.

$$q_n = \frac{R_n}{240} \cdot \frac{67.65}{t + 1.45}$$

$$q_n = \frac{442.43}{240} \cdot \frac{67.65}{12 + 1.45}$$

$$q_n = 9.27 \text{ (m}^3/\text{dt.km}^2\text{)}$$

Dari perhitungan di atas di dapat nilai dariluasan curah hujan dari 3 stasiun di 2 kecamatan (q_n) yaitu 9.27 ($\text{m}^3/\text{dt.km}^2$)

- Menghitung koefisien limpasan air hujan menggunakan persamaan 2.17 sebagai berikut

$$\alpha = 1 - \frac{4.1}{\beta q_n + 7}$$

$$\alpha = 1 - \frac{4.1}{(0.81 \times 9.27) + 7}$$

$$\alpha = 0.717$$

Dari perhitungan dari persamaan di atas di dapat nilai dari koefisien limpasan air hujan (α) sebesar 0.717

4. Menghitung debit rancangan (m^3/det) dengan kala ulang n tahun menggunakan persamaan 2.18 sebagai berikut

Diketahui:

$$\alpha = 0.717$$

$$\beta = 0.81$$

$$q_n = 9.27 (m^3/dt.km^2)$$

$$A = 121.7 km^2$$

Debit rancangan (m^3/det) dengan kala ulang 50 tahun

$$Q_n = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A$$

$$Q_n = 0.717 \times 0.81 \times 9.27 \times 121.7$$

$$Q_n = 653.99 (m^3/dt)$$

Dari perhitungan dari persamaan di atas di dapat nilai dari debit rancangan (m^3/det) dengan kala ulang 50 tahun sebesar 653.99 m^3/dt .

Berikut saya sajikan tabel hasil dari perhitungan debit rancangan (m^3/det) dengan kala ulang

Tabel 4.7. hasil analisis debit banjir rencana periode n tahun

T	β	q_n ($m^3/dt.km^2$)	α	A (km^2)	Q_n (m^3/dt)
2	0.81	6.28	0.72	121.7	442.66
5	0.81	7.50	0.72	121.7	529.26
10	0.81	8.15	0.72	121.7	574.61
50	0.81	9.27	0.72	121.7	653.99
100	0.81	9.68	0.72	121.7	682.86

4.3.3. Perhitungan Pola Hidraulik *Groundsill*

Data-data yang sudah terkumpul untuk analisis pola hidrolika disajikan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 4.8. data penyelidikan sungai

Parameter	Symbol	Value	Units
Debit Desain	Qd	653.99	m ³ /s
Gravitasi	g	9.81	m/s ²
Tinggi total bendung	h	7.20	M
Elevasi hulu eksisting	Hupstream	114.29	M
Elevasi mercu bendung	Hcrest	115.19	M
Elevasi dasar kolam olak	Hapron	107.99	M
Berat jenis beton	γc	24.00	kN/m ³
Berat jenis air	γw	10.00	kN/m ³
Lebar sungai	B	33.80	m
Lebar dasar peluap	B1	30.00	m
Kemiringan peluap	m2	0.5	

1. Analisis kemiringan sungai

Panjang sungai di ukur dari Bendung Danawarih sampai dengan Bangunan *Groundsill* melalui *software Google Earth Pro* (gambar 3.10) sepanjang 4069 m maka persamaan 3.15 digunakan untuk mencari nilai kemiringan suatu sungai dapat di hitung.

Keterangan:

Elv. bendung = +225.87 m

Elv. *Groundsill* = +115.19 m

Jarak = 4069 m

$$\text{Kemiringan sungai} = \frac{\text{elv.bendung} - \text{elv.ground sill}}{\text{jarak bendung ke ground sill}} \times 100$$

$$\text{Kemiringan sungai} = \frac{225.87 - 115.19}{4069} \times 100$$

$$\text{Kemiringan sungai} = 3.46 \%$$

Dari perhitungan dari persamaan di atas di dapat nilai dari kemiringan sungai sebesar 3.46%

Nilai kemiringan ini di gunakan unruk menentukan nilai koefisien limpasan seperti yang tertera pada tabel 2.5 Nilai koefisien limpasan di dapat dari tabel dengan acuan kemiringan sungai dan

kondisi hambatan sungai di dapat nilai kemiringan sebesar 3.46% dan kondisi hambatan sungai tumbuhan yang jarang maka nilai koefisien limpasan (C) sebesar 0.6

2. Menghitung tinggi air di atas peluap

untuk mencari nilai tinggi air di atas peluap mai dam (h_3) menggunakan persamaan 2.20 untuk menghitung debit rencana bendung. Karena nilai dari lebar muka air di atas bendung belum diketahui maka untuk menghitungnya dengan cara memasukkan persamaan 2.21 (B2) ke dalam persamaan Q_d (debit rencana bendung) sebagai berikut:

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

Persamaan 2.21 (B2) perhitungan lebar muka air di atas bendung

$$B_2 = B_1 + 2m_2 h_3$$

Dengan memasukkan persamaan 2.21 (B2) maka persamaan debit rencana bendung menjadi seperti di bawah ini:

$$Q_d = \frac{2}{15} \times C \times \sqrt{2g} \times (3B_1 + 2(B_1 + 2m_2 h_3)) \times (h_3)^{3/2}$$

Selanjutnya dapat di pakai untuk mencari nilai tinggi air di atas bendung (h_3) sebagai berikut:

$$Q_d = \frac{2}{15} \times 0.6 \times \sqrt{2 \times 9.81} \times (3 \times 30 + 2(30 + 2 \times 0.5 h_3)) \times (h_3)^{3/2}$$

$$653.99 = 0.35 \times (3 \times 30 + 2(30 + 2 \times 0.5 h_3)) \times (h_3)^{3/2}$$

$$653.99 = (53.2 + 0.708 h_3) \times (h_3)^{3/2}$$

$$653.99 = 53.15 h_3^{3/2} + 0.71 h_3^{5/2}$$

Nilai h_3 dapat di peroleh dengan cara *trial error* memasukkan nilai ke dalam persamaan di atas sebagai berikut:

$$653.99 = 53.15 h_3^{3/2} + 0.71 h_3^{5/2}$$

Nilai h_3 sebesar 5.1 m

Maka di dapat hasil

$$653.99 = 53.15 \times 5.1^{3/2} + 0.71 \times 5.1^{5/2}$$

$$653.99 = 654.00$$

Jadi dari hasil perhitungan di atas nilai dari ketinggian air di atas bendung (h_3) sebesar 5.1 m

3. Menghitung lebar muka air di atas peluap

Untuk mencari lebar muka air di atas bendung digunakan persamaan 2.21. Berikut perhitungan lebar muka air di atas bendung dimana nilai tinggi muka air di atas bendung sudah diketahui sebesar 5.1 m, kemiringan peluap (m_2) sebesar 0.5 dan lebar peluap (B_1) sebesar 30 m

$$B_2 = B_1 + 2m_2h_3$$

$$B_2 = 30 + 2 \times 0.5 \times 5.1$$

$$B_2 = 35.1 \text{ m}$$

Jadi dari hasil perhitungan di atas nilai dari lebar muka air di atas bendung (B_2) sebesar 35.1 m

4. Analisis debit permeter pada peluap bendung (q_0)

Debit permeter merupakan banyaknya air pada setiap meter kubik di atas mercu bendung dengan cara membagi nilai debit rencana bendung (Q_d) dan nilai lebar peluap (B_1) dengan persamaan 2.24

$$q_0 = \frac{Q_d}{B_1}$$

$$q_0 = \frac{653.99}{30}$$

$$q_0 = 21.80 \text{ m}^3/\text{det}$$

Jadi dari hasil perhitungan di atas di dapat nilai dari debit permeter (q_0) sebesar 21.80 m³/det.

5. Menghitung kecepatan air sebelum terjun (V_0)

Persamaan untuk menghitung kecepatan air di atas bendung diperoleh dari membagi debit per meter (q_0) dengan tinggi air di atas bendung (h_3) sehingga membentuk persamaan 2.23

Diketahui:

$$q_0 = 21.8 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$h_3 = 5.1 \text{ m}$$

Maka, nilai kecepatan air sebelum terjun

$$v_0 = \frac{q_0}{h_3}$$

$$v_0 = \frac{21.8}{5.1}$$

$$v_0 = 4.274 \text{ m/det}$$

Jadi dari hasil perhitungan di atas di dapat nilai dari kecepatan air sebelum terjun (V_0) sebesar 4.274 m/det.

6. Analisis panjang terjunan dari mercu bendung utama (I_w)

Untuk menghitung Panjang terjunan dari mercu bendung digunakan persamaan 2.22 di bawah ini:

dimana dalam perhitungan sebelumnya sudah di dapat hasil sebagai berikut:

$$v_0 = 4.274 \text{ m/det}$$

$$H_1 = 7.2 \text{ m}$$

$$h_3 = 5.1 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Maka, Panjang terjunan dapat diketahui sebagai berikut

$$I_w = V_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (H_1 + 0.5 \cdot h_3)}{g}}$$

$$I_w = 4.274 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (7.2 + 0.5 \times 5.1)}{9.81}}$$

$$I_w = 6.026 \text{ m}$$

Jadi dari hasil perhitungan di atas didapat nilai dari panjang loncatan dari ujung mercu (I_w) sebesar 6.026 m.

7. Analisis kecepatan aliran di hilir bendung utama

Persamaan 2.29 digunakan untuk menghitung kecepatan aliran di hilir bendung utama. Dimana nilai di atas sudah diketahui dari gambar kerja dan hasil perhitungan sebelumnya

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$h_3 = 5.1 \text{ m}$$

$$H_1 = 7.2 \text{ m}$$

Maka nilai kecepatan aliran air di hilir bendung (v_1) yaitu:

$$v_1 = \sqrt{2 \times g \times (0.5h_3 + H_1)}$$

$$v_1 = \sqrt{2 \times 9.81 \times (0.5 \times 5.1 + 7.2)}$$

$$v_1 = 13.83 \text{ m/det}$$

Jadi dari hasil perhitungan di atas didapat nilai dari kecepatan aliran air di hilir bendung (v_1) sebesar 13.83 m/det.

8. Analisis debit aliran tiap meter lebar jatuh

Debit aliran tiap meter lebar jatuh merupakan banyaknya air pada setiap meter kubik di hilir bendung dengan cara membagi nilai debit rencana bendung (Q_d) dengan nilai lebar muka air di atas bendung (B_2) dengan persamaan 2.28. Jadi untuk mencari nilai debit aliran tiap meter lebar jatuh dapat di hitung dalam persamaan

$$q_1 = \frac{Q_d}{B_2}$$

$$q_1 = \frac{653.99}{35.1}$$

$$q_1 = 18.632 \text{ m}^3/\text{det}$$

Jadi dari hasil perhitungan di atas di dapat nilai dari debit aliran tiap meter lebar jatuh (q_1) sebesar 21.80 m³/det.

9. Analisis tinggi air bagian hilir bendung (h_1'') menggunakan persamaan 2.27. Dimana nilai debit aliran tiap meter lebar saat jatuh (q_1) dan kecepatan aliran di hilir bendung (v_1) sudah di dapat dari perhitungan sebelumnya yaitu:

$$q_1 = 21.80 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$v_1 = 13.83 \text{ m/det}$$

maka nilai tinggi air bagian hilir bendung (h_1'')

$$h_1'' = \frac{q_1}{v_1}$$

$$h_1'' = \frac{21.80}{13.83}$$

$$h_1'' = 1.34 \text{ m}$$

Jadi dari hasil perhitungan di atas di dapat nilai dari tinggi air bagian hilir bendung (h_1'') sebesar 1.34 m dari lantai kolam olak

10. Analisis tinggi loncaran air (h_j) menggunakan persamaan 2.26

Dimana:

Nilai dari froude aliran pada titik terjunan di dapat dari persamaan 2.30

Maka nilai froud aliran dapat di hitung sebagai berikut:

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g \times h_1''}}$$

$$F_1 = \frac{13.83}{\sqrt{9.81 \times 1.34}}$$

$$F_1 = 3.804$$

Nilai froud aliran sebesar 3.804, selanjutnya menghitung tinggi loncatan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$h_j = \frac{h_1''}{2} \left[\sqrt{1 + 8 \times F_1^2} - 1 \right] \dots \dots \dots (4.29)$$

Dengan diketahui nilai dari hasil perhitungan sebelumnya, maka:

$$F_1 = 3.804$$

$$h_1'' = 1.347 \text{ m}$$

maka,

$$h_j = \frac{1.347}{2} \left[\sqrt{1 + 8 \times 3.804^2} - 1 \right]$$

$$h_j = 6.606 \text{ m}$$

Jadi dari hasil perhitungan di atas di dapat nilai dari tinggi loncatan air (h_j) sebesar 6.606 m dari lantai kolam olak

11. Analisis panjang loncatan air (X) menggunakan persamaan 2.25 persamaan yang digunakan dalam menghitung Panjang loncatan air dimana nilai dari koefisien besarnya (β) antara 4.5-5.0 dan tinggi loncatan (h_j) sebesar 6.606

$$X = \beta \times h_j$$

$$X = 4.5 \times 6.606$$

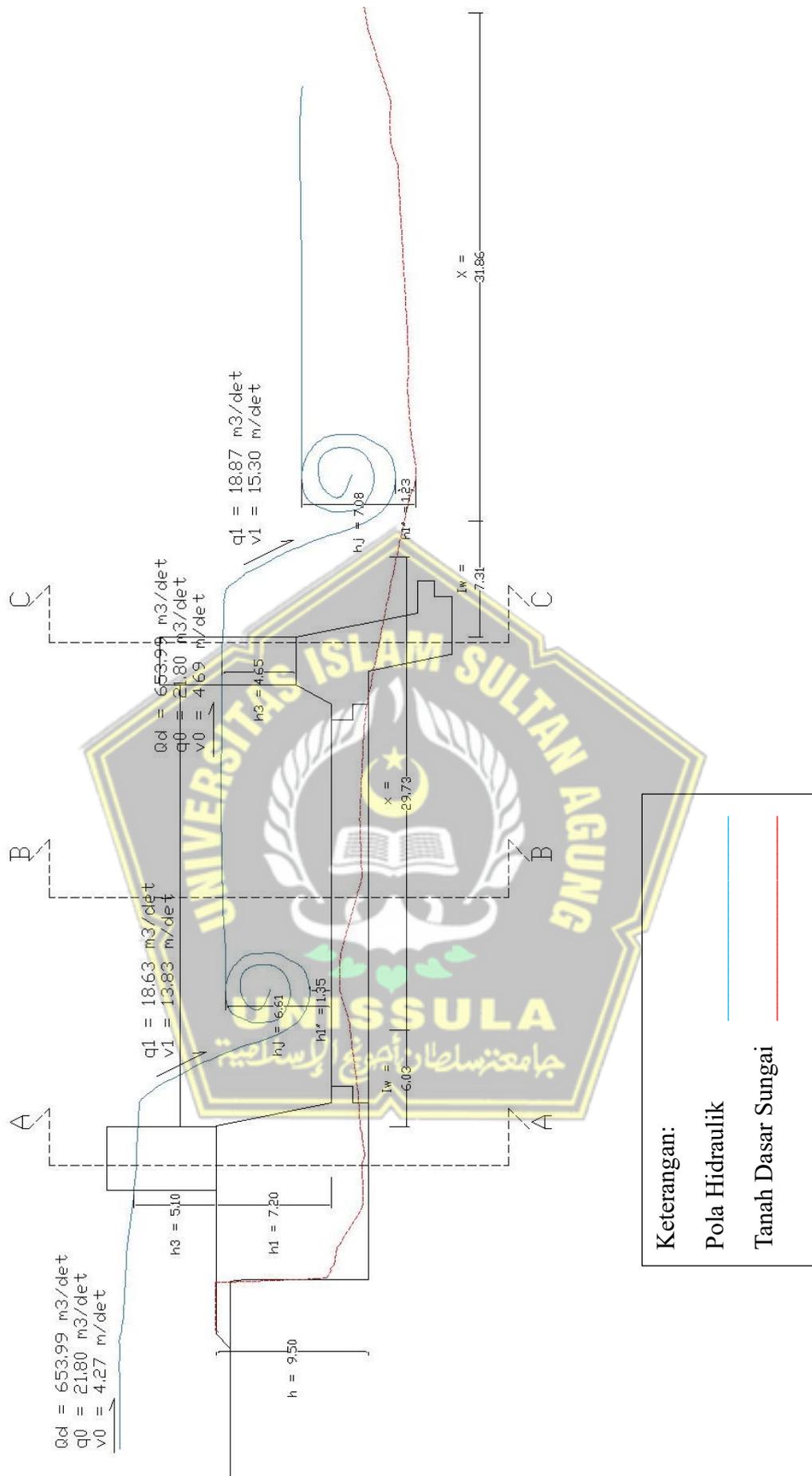
$$X = 29.727 \text{ m}$$

Jadi dari hasil perhitungan di atas di dapat nilai dari Panjang loncatan air (X) sebesar 29.727 m dari ujung lompatan air (I_w)

12. Ilustrasi pola hidrauka dari hasil perhitungan

Tabel 4.9. Tabel hasil perhitungan

		Main Dam	End Sill
Debit rencana	(m^3/det)	653.99	653.99
kemiringan sungai	(%)	3.46	3.46
koefisien limpasan (C)		0.60	0.70
h_3	(m)	5.10	4.65
B2	(m)	35.10	34.65
q_0	(m^3/det)	21.80	21.80
v_0	(m/det)	4.27	4.69
I_w	(m)	6.03	7.31
v_1	(m/det)	13.83	15.30
q_1	(m^3/det)	18.63	18.87
h_1''	(m)	1.35	1.23
F1		3.80	4.40
h_j	(m)	6.61	7.08
β		4.5	4.5
X	(m)	29.73	31.86



Gambar 4.1. pola hidraulika dari hasil analisis

4.3.4. Analisis kedalaman gerusan tanah di dasar sungai (R) dengan metode Lacey

Pada perhitungan kedalaman gerusan lokal pada dasar sungai dilakukan dengan metode Lacey dengan persamaan 2.31 dan untuk mengetahui nilai faktor lumpur lacey dengan persamaan 2.32. Diameter rata-rata material di dapat dari hasil penyelidikan tanah pada gambar grafik 3.11 dengan diameter tanah 0.0085 mm dan berjenis *clay low plasticity* (lempung lepas)

Mencari nilai factor lumpur lacey (f)

$$f = 1.76(0.085)^{0.5}$$

$$f = 0.513$$

Jadi kedalaman gerusan dapat di analisis dengan persamaan di bawah ini:

Dimana:

R = Kedalaman gerusan yang terjadi (m)

$$Q_{a50} = 653.99 \text{ m}^3/\text{det}$$

Penggunaan debit Q50 pada perhitungan gerusan lokal (*local scouring*) ini mengikuti Standar Perencanaan Irigasi KP-02 tentang Bangunan Utama, dimana dalam KP-02 Halaman 18 pada point debit banjir dijelaskan bahwa pada besaran debit dengan periode ulang 25 – 100 tahun mempengaruhi daya tahan formasi material dasar sungai terhadap gerusan.

$$f = 0.513$$

Maka,

$$R = 0.47 \frac{Q_d^{1/3}}{f}$$

$$R = 0.47 \frac{653.99^{1/3}}{0.513}$$

$$R = 7.95$$

Jadi dari hasil perhitungan di atas di dapat nilai dari kedalaman gerusan yang terjadi (R) sebesar 7.95 m.

Dari perhitungan di atas, dengan debit rencana 50 tahun sebesar 653.99 m³/det akan terjadi gerusan (*scouring*) yang cukup dalam pada bagian hilir bangunan *Groundsill* yaitu sebesar 7.95 m. gerusan ini terjadi karena adanya bangunan *Groundsill* yang merubah aliran sungai sehingga menjadi aliran terpusat. Titik jatuh dari aliran yang terpusat ini terus-menerus menggerus tanah dengan debit air yang cukup besar. Besaran debit air mempengaruhi kedalaman gerusan, semakin besar debit air maka kedalaman gerusan akan bertambah besar.

Berikut di sajikan gambar dari hasil perhitungan untuk memberikan ilustrasi dari kedalaman gerusan yang terjadi pada hilir bangunan *Groundsill*.



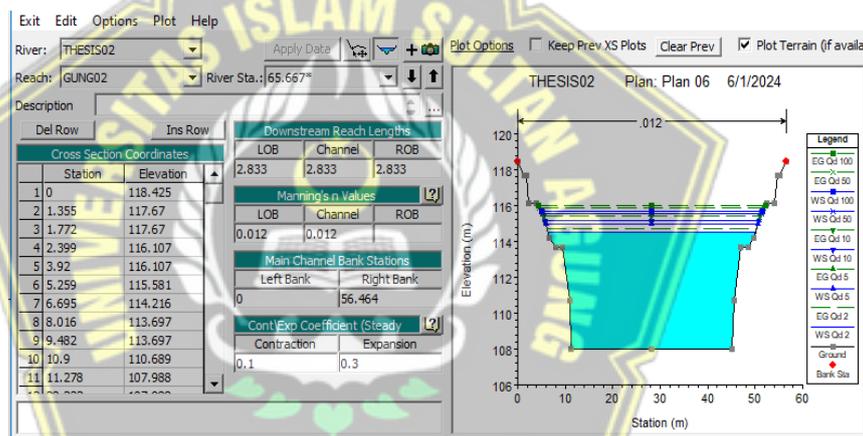
Gambar 4.2. Hasil perhitungan kedalaman gerusan (*scouring*)

4.4. Permodelan Hidraulika Pada *Software* Hec Ras v.6.5

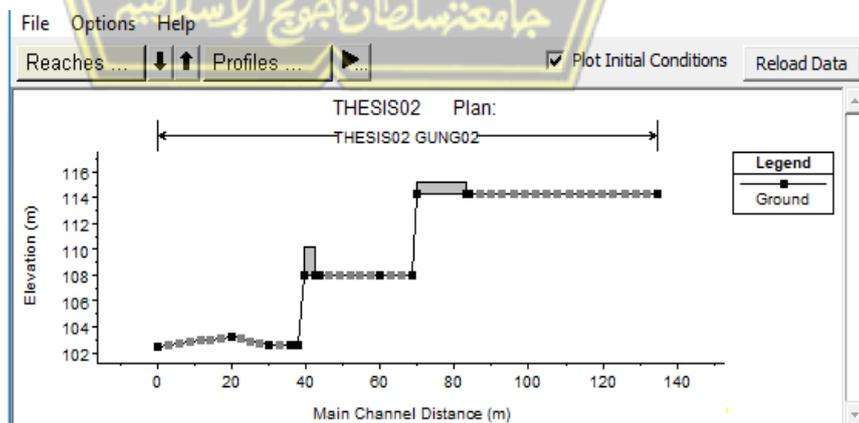
Hec Ras v.6.5 merupakan suatu program yang dapat membantu dalam menganalisis atau merencanakan sebuah debit aliran dan gerusan yang terjadi pada sebuah sungai dan bangunan air. Hec Ras v.6.5 menyediakan berbagai jenis fitur di dalamnya salah satunya yaitu perhitungan Gerusan local (*local scouring*) pada dasar sungai, analisis pada *software* sendiri juga menggunakan metode Lacey seperti pada analisis manual.

4.4.1. *Input* data debit dan penampang sungai

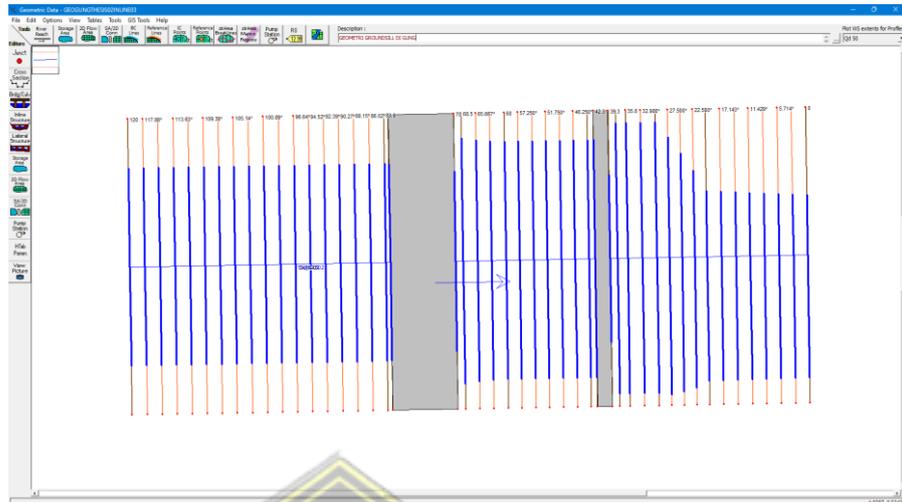
Memasukkan data geometri ke dalam *software* Hec Ras v.6.5 untuk membentuk penampang dari *groundsill* yang akan dianalisis pola hidrauliknya.



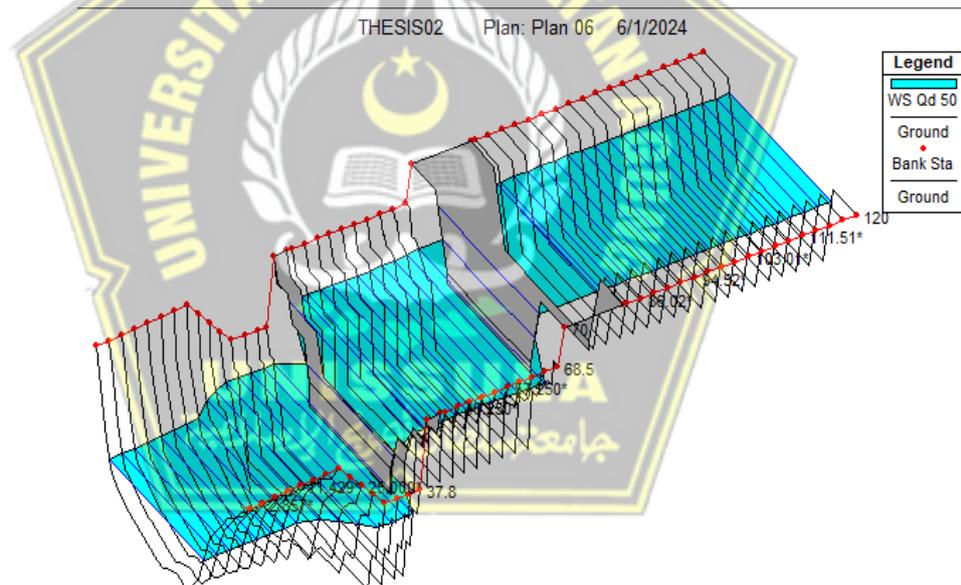
Gambar 4.3. *Input* cross section pada *software* Hec Ras v.6.5



Gambar 4.4. *Long section* Groundsill pada *software* Hec Ras v.6.5

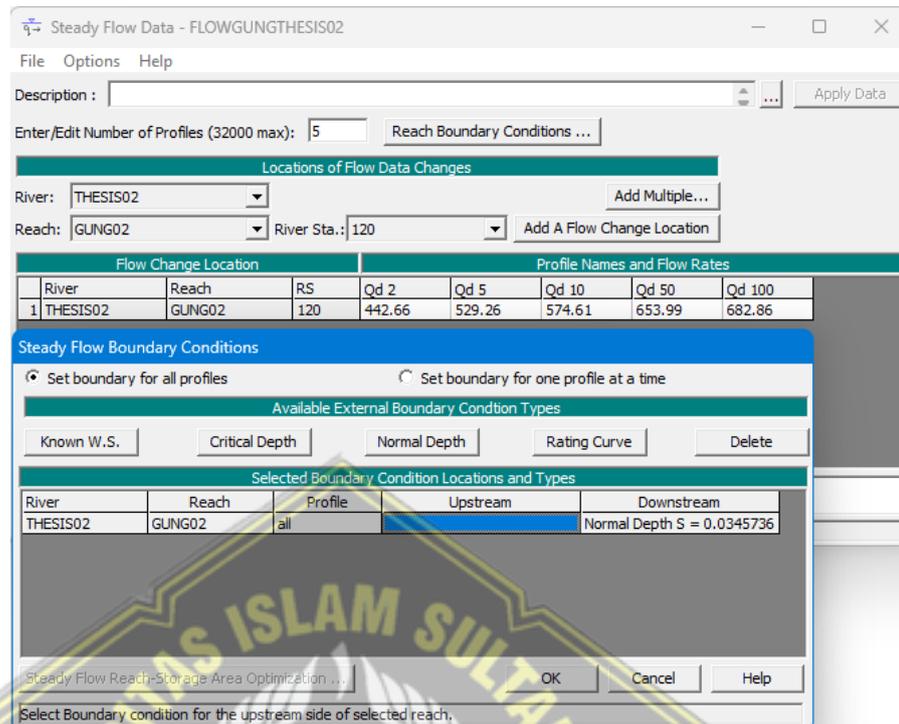


Gambar 4.5. Tampak Atas Geometri *Groundsill* pada *software* Hec Ras v.6.5



Gambar 4.6. Geometri *Groundsill* pada *software* Hec Ras v.6.5

Setelah data kontur sungai sudah terinput maka akan terbentuk sebuah penampang sungai seperti pada gambar 4.6 di atas. Permodelan ini akan mempermudah dalam ilustrasi simulasi hasil analisis debit banjir.

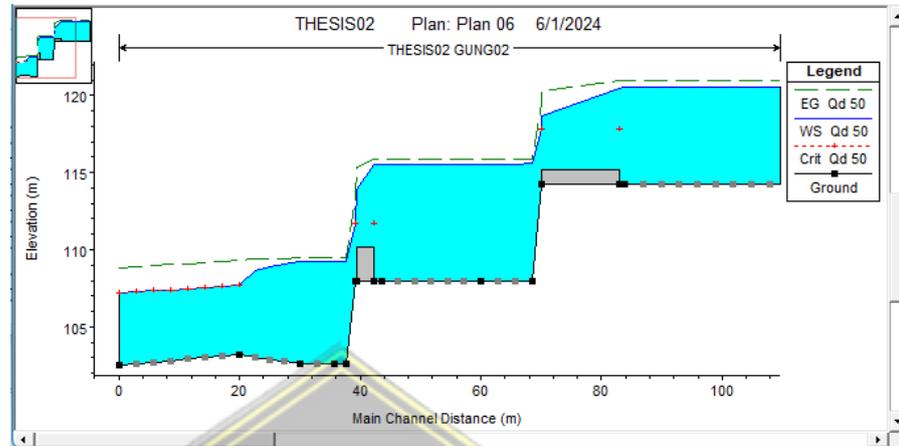


Gambar 4.7. Memasukkan besaran debit pada *software* Hec Ras v.6.5

Pada tahap ini, besaran debit hasil dari perhitungan manual di masukkan ke dalam *software* Hec Ras v.6.5. besaran debit yang dimasukkan dari debit rencana Qd 2, Qd 5, Qd 10, Qd, 50, dan Qd 100 tahun. Dalam suatu aliran air nilai dari kemiringan sebuah saluran akan berpengaruh, nilai kemiringan dari sungai Gung di ukur dari Bendung Danawarih sampai dengan bangunan *Groundsill* dimana nilai kemiringan sebesar 0.034 atau 34%.

Selanjutnya akan di analisis oleh *software* Hec Ras v.6.5 dengan hasil perhitungan dalam berbentuk grafik simulasi dan tabel hasil perhitungan.

4.4.2. Hasil analisis pola hidraulika menggunakan *software* Hec Ras v.6.5



Gambar 4.8. Pola hidraulika Qd 50 tahun *Groundsill* pada *software* Hec Ras v.6.5

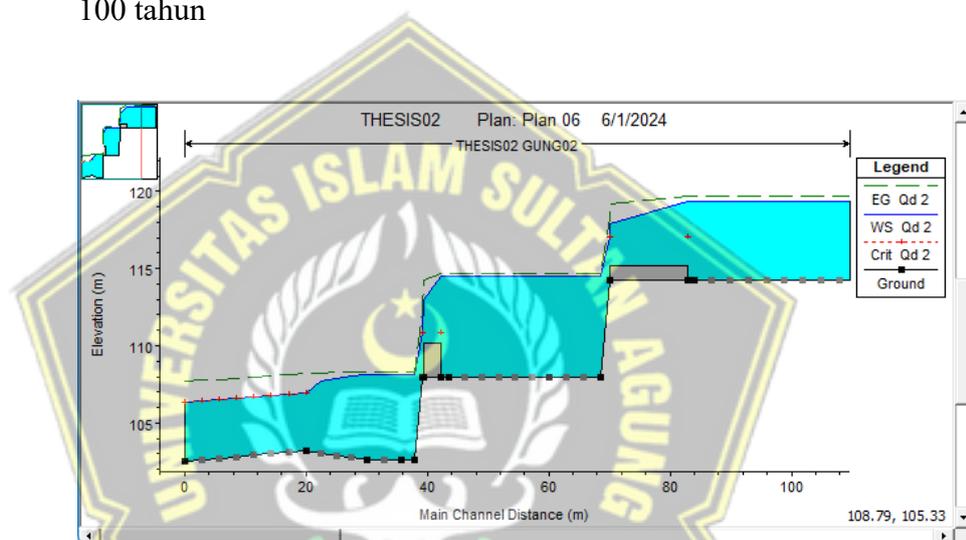
Pada gambar di atas, dari hasil analisis menggunakan *software* Hec Ras v.6.5, pada debit rencana 50 tahun tinggi air di atas Main Dam pada elevasi 120.51 dan elevasi main dam sendiri yaitu 114.29, jadi tinggi muka air di atas main dam sebesar 6.21 m. seperti yang disajikan pada tabel di bawah ini

Tabel 4.10. Hasil perhitungan Hec Ras v.6.5

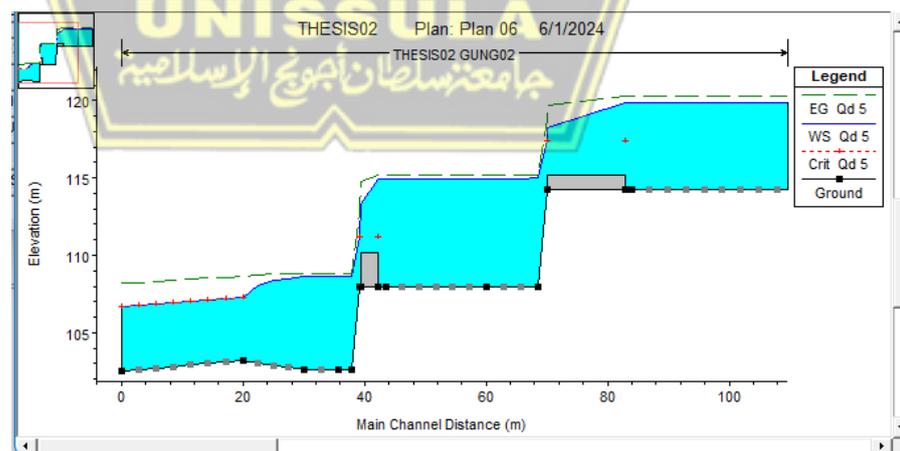
River STA	Debit	Q total (m ³ /s)	Min Ch Elv (m)	W.S. Elv (m)	Crit. Elv (m)	E.G Elv (m)	E.G. Slop (m)	V (m/s)
120	Qd 50	653.99	114.29	120.51		120.99	0.00017	3.06
83.9	Qd 50	653.99	114.29	120.5		120.98	0.000171	3.07
83	Qd 50	653.99	114.29	120.48	117.84	120.98	0.000183	3.13
82.95		Inl Struct						
70	Qd 50	653.99	114.29	117.84	117.84	119.51	0.001128	5.73
68.5	Qd 50	653.99	107.99	115.57		115.84	0.000086	2.29
60	Qd 50	653.99	107.99	115.55		115.84	0.0001	2.36
43.5	Qd 50	653.99	107.99	115.55		115.84	0.000099	2.35
42.3	Qd 50	653.99	107.99	115.51	111.66	115.83	0.000118	2.52
42.25		Inl Struct						

39.3	Qd 50	653.99	107.99	111.66	111.66	113.41	0.001171	5.86
37.7	Qd 50	653.99	102.59	109.24		109.45	0.000067	2.05
35.8	Qd 50	653.99	102.59	109.24		109.45	0.000067	2.05
30	Qd 50	653.99	102.59	109.22		109.45	0.000326	2.12
20	Qd 50	653.99	103.22	107.68	107.68	109.3	0.004713	5.65
0	Qd 50	653.99	102.51	107.18	107.18	108.84	0.004553	5.71

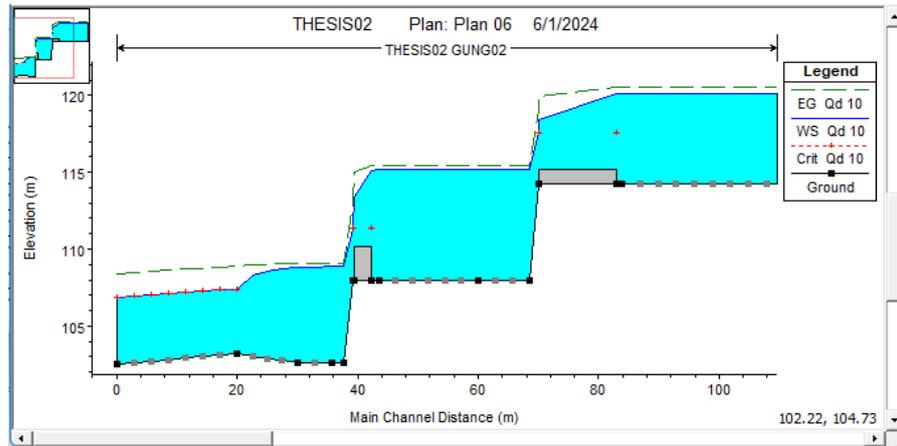
Berikut disajikan grafik hasil perhitungan pola hidraulika menggunakan *software* Hec Ras v.6.5 pada debit rencana 2, 5, 10, 50, 100 tahun



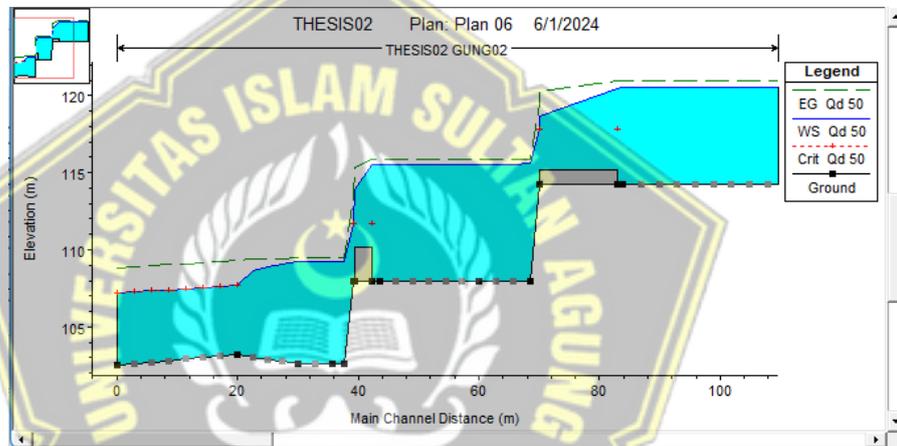
Gambar 4.9. Pola hidraulika Qd 2 tahun



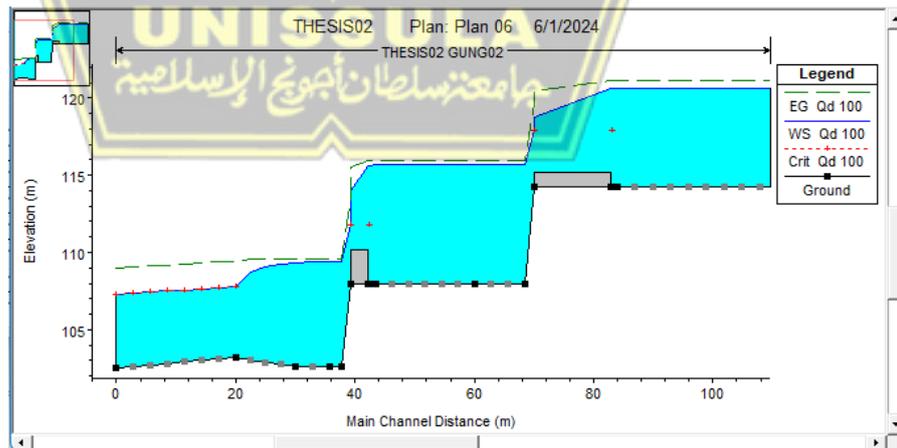
Gambar 4.10. Pola hidraulika Qd 5 tahun



Gambar 4.11. Pola hidraulika Qd 10 tahun



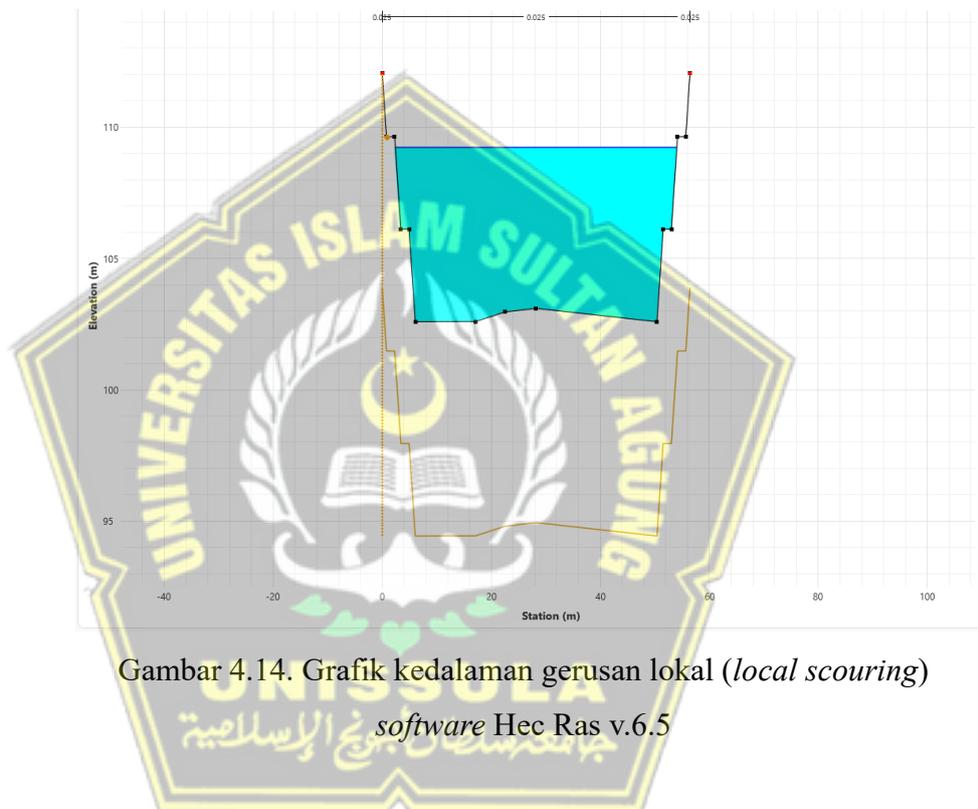
Gambar 4.12. Pola hidraulika Qd 50 tahun



Gambar 4.13. Pola hidraulika Qd 100 tahun

4.4.3. Analisis gerusan lokal (*local scouring*)

Pada analisis kali ini, *software* Hec Ras v.6.5 juga dapat menganalisis kedalaman gerusan lokal yang terjadi pada hilir bangunan *groundsill*. Fitur ini hanya terdapat pada *software* Hec Ras V.6.5, dimana versi dibawahnya belum terdapat fitur untuk menghitung gerusan lokal (*local scouring*). Analisis pada *software* Hec Ras v.6.5 menggunakan konsep dasar dari analisis gerusan local metode Lacey.



Gambar 4.14. Grafik kedalaman gerusan lokal (*local scouring*)
software Hec Ras v.6.5

Dari grafik di atas dapat diketahui hasil dari analisis gerusan lokal (*local scouring*) pada posisi di hilir *Groundsill* menggunakan *software* Hec Ras v.6.5. sebesar 8.2 m. Hasil tersebut tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungan manual, dimana hasil dari perhitungan manual nilai kedalaman gerusan lokal (*local scouring*) yang terjadi sebesar 7.9 m. hal ini menegaskan bahwa pada debit rencana 50 th beresiko terjadi gerusan lokal (*local scouring*) pada hilir bangunan *Groundsill*.

Dari hasil analisis perhitungan menggunakan metode Lacey gerusan tanah di atas dimana dari hasil kedalaman gerusan terjadi sebesar 7.95 dan analisis dengan permodelan Software Hec Ras v.6.5 dengan berpacu kepada Metode Lacey diketahui kedalaman gerusan sebesar 8.2 m. Hal ini terjadi karena dalam rumus metode Lacey, perhitungan gerusan tanah hanya berpacu ke besaran diameter material tanah dan faktor lumpur Lacey dengan tidak melibatkan nilai dari struktur tanah seperti besaran nilai N-SPT, nilai kohesi tanah, nilai sudut geser tanah dan lain-lain, sehingga hasil analisis menunjukkan nilai gerusan bisa mencapai kedalaman 7.95 m sampai dengan 8.2 m.

4.5. Perilaku Tanah Pada Saat Terjadi Gerusan Lokal

Dalam menganalisis perilaku tanah pada saat terkena gerusan, metode perhitungan yang dapat dipakai yaitu metode analisis transport sedimen. Metode ini dapat menjelaskan daya angkut sedimen sehingga tanah yang mengalami gerusan akan terangkut oleh air dan tidak mengendap di Lokasi gerusan lokal (*local scouring*).

Menurut metode Van Rijn, digunakan 2 parameter dalam mendefinisikan Tingkat angkutan sedimen. 2 parameter itu yaitu parameter butiran dan transport stage parameter.

4.5.1. Parameter butiran (*Particle parameter*)

Parameter ini menggunakan rumus 2.8 dan nilai s (kerapatan jenis) di dapat dari rumus 2.9. Nilai viskositas kinetik (ν) diperoleh dari tabel 2.4 *Viscosity of liquid water*

Diketahui nilai nilai dari parameter sebagai berikut:

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

nilai viskositas kinetik air dimana suhu air di sungai berdasarkan hasil penyelidikan tanah tahun 2022, suhu air sungai yaitu 28°C, di ambil nilai terdekat pada tabel yaitu 30°C. Maka, nilai viskositas kinematik sebesar $0.804 \times 10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}$

Kerapatan di hitung menggunakan persamaan di bawah ini:

$$s = \frac{\rho_s}{\rho}$$

$$s = \frac{2.63}{1}$$

$$s = 2.63$$

Jadi parameter butiran partikel sedimen diketahui dari persamaan berikut:

$$d_* = d_{50} \left(\frac{(s-1)g}{v^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d_* = 0.085 \left(\frac{(2.63-1)9.81}{(0.804)^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d_* = 0.248$$

Jadi nilai dari parameter butiran sedimen pada sungai Gung yaitu sebesar 0.248

4.5.2. Transport stage parameter

Dimana parameter ini di dapat dari rumus 2.10 dengan nilai V*' di peroleh dari rumus 2.11. Untuk mendapatkan nilai koefisien chezy, dapat dihitung menggunakan rumus 2.12

Dimana: R_b = jari jari hidrolis (m) = 2.925 m

$$R_b = \text{jari jari hidrolis (m)} = 2.925 \text{ m}$$

Didapat dari tinggi loncatan air pada analisis pola hidraulika

$$D_{50} = 0.085 \text{ (mm)} = 0.000085 \text{ (m)}$$

Maka koefisien chezy (C') sebagai berikut:

$$C' = 18 \log \left(\frac{12 R_b}{3 D_{90}} \right)$$

$$C' = 18 \log \left(\frac{12 \times 2.925}{3 \times 0.000085} \right)$$

$$C' = 92.498$$

Perhitungan kecepatan geser dalam menggunakan persamaan:

$$V_{*'} = \left(\frac{g^{0.5}}{C'} \right) \cdot \bar{V}$$

Diketahui:

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$C' = 92.498$$

$$\bar{V} = 15.30 \text{ m/det}$$

Didapat dari hasil perhitungan kecepatan aliran pada analisis pola hidraulika.

Maka dapat diketahui nilai dari kecepatan geser dalam sebagai berikut:

$$V_{*'} = \left(\frac{g^{0.5}}{C'} \right) \cdot \bar{V}$$

$$V_{*'} = \left(\frac{9.81^{0.5}}{92.498} \right) \cdot 15.30$$

$$V_{*'} = 0.518 \text{ m/det}$$

Dengan memasukkan nilai hasil perhitungan kecepatan dasar (V) dan diameter sedimen (D_{50}) dan kerapatan jenis (s). Selanjutnya menghitung particle parameter, menggunakan persamaan dari gambar 2.2 diagram shield

$$D_m = D_{50} \left(\frac{(s-1)g}{V^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$D_m = 0.000085 \left(\frac{(2.63-1)9.81}{0.518^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$D_m = 0.000332 \text{ m}$$

$$D_m = 0.332 \text{ mm}$$

Nilai dari hasil perhitungan parameter partikel, diaplikasikan ke dalam grafik untuk mengetahui nilai dari (V_{*cr}) sehingga grafik 2.2 menjelaskan bahwa jika nilai dari $D_m < 4$ maka nilai

$$\theta_{cr} = 0.24 \cdot (D_m)^{-1}$$

$$\theta_{cr} = 0.24 \cdot 0.332^{-1}$$

$$\theta_{cr} = 0.723$$

Jika semua persamaan di atas sudah di ketahui, untuk menghitung jumlah besaran angkutan sedimen dapat di hitung menggunakan persamaan 2.13, dimana sudah diketahui nilai dari:

$$s = 2.63$$

$$g = 9.82 \text{ m/s}^2$$

$$D_{50} = 0.085 \text{ mm} = 0.000085 \text{ m}$$

$$d_* = 0.248 \text{ mm}$$

Maka,

$$q_s = \frac{0.0537^{2.1} [(s - 1)g]^{0.5} d_{50}^{1.5}}{d_*^{0.3}}$$

$$q_s = \frac{0.0537^{2.1} [(2.63 - 1)9.81]^{0.5} (0.000085)^{1.5}}{0.248^{0.3}}$$

$$q_s = \frac{0.0537^{2.1} [(s - 1)g]^{0.5} d_{50}^{1.5}}{d_*^{0.3}}$$

$$q_s = 0.00032 \text{ m}^3/\text{det}$$

Selanjutnya untuk menentukan debit angkutan sedimen dasar untuk seluruh lebar dasar sungai yaitu didapat dengan menggunakan rumus 2.14

Diketahui

$$q_s = 0.00032 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$W = 30 \text{ m}$$

Maka,

$$Q_b = 0.00032 \times 30$$

$$Q_b = 0.0096 \text{ m}^3/\text{det}$$

Jadi besaran debit angkutan sedimen pada saat terjadi gerusan lokal yaitu $0.0096 \text{ m}^3/\text{det}$. Debit tersebut akan membawa sedimen hasil gerusan lokal (*local scouring*) ke hilir sungai, sehingga tanah yang terkikis tidak mengendap di dalam lubang pada gerusan lokal (*local scouring*).

4.6. Analisis Stabilitas Tanah Menggunakan *Software* Geo5

Software Geo5 merupakan suatu program yang dapat membantu dalam menganalisis perencanaan geoteknik atau perkuatan geoteknik. Dalam program Geo5 terdapat fitur untuk merencanakan dinding penahan tanah, pondasi dan masih banyak lagi, termasuk juga merencanakan bangunan *Groundsill*.

4.6.1. Analisis stabilitas tanah sesudah terjadinya gerusan lokal (*local scouring*)

1. Input data ke dalam *software* Geo5 V.24

Memasukkan koordinat ke dalam *software* untuk membentuk penampang bangunan.



Gambar 4.15. penampang bangunan sesudah gerusan *software*

Geo5

Penampang gerusan di dapat dari hasil analisis gerusan local (*local scouring*) dengan mengambil bentuk kurva dengan besaran jari-jari sesuai dengan nilai gerusan local (*local scouring*) yaitu sebesar 7.95 m.

Pada profil tanah diambil dari data hasil penyelidikan tanah, dimana di ambil pada titik BH-1 dengan posisi titik penyelidikan tanah di bawah hilir bangunan. Data tanah dari tabel

3.3 di masukkan untuk memproses stabilitas struktur tanah di bawah bangunan *Groundsill*.

Pada kasus ini fungsi dari pondasi *bored pile* dengan jarak antar pondasi 2 m selain digunakan untuk meneruskan beban bangunan *groundsill*, pondasi ini juga berfungsi sebagai *anti slide piles* menjaga kestabilan tanah di bawah bangunan *Groundsill* pada saat terjadi gerusan local (*local scouring*). Dengan memasukkan spesifikasi dari pondasi *bored pile* ke dalam *software* sebagai *anti slide piles*.

Spesifikasi pondasi

Jenis : *Bored pile*

Diameter : 0.6 m

Panjang ; 6 m

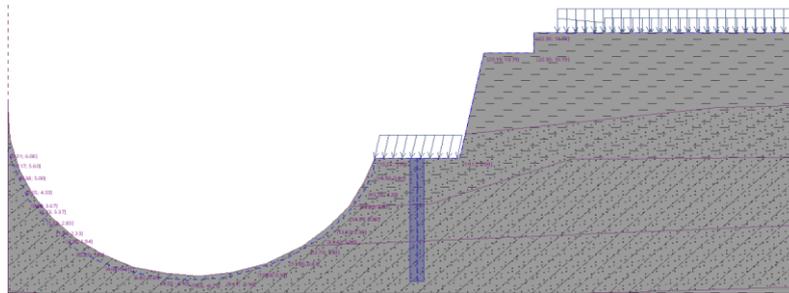
Material : beton bertulang dengan casing pipa baja

Penerapan beban pada analisis kali ini yaitu menggunakan berat sendiri air yang tertampung pada kolam olak dan beart bangunan *Groundsill* pada bagian kolam olak dan banguann *ens sill*. Diketahui beban mati yang di masukkan ke dalam analisis sebagai berikut:

Beton : 52.8 kN/m^2

Air : 22 kN/m^2

Level kedalaman air pada tanah di analisis ini sama dengan permukaan tanah yaitu 0 m, dikarenakan tanah ini berada di dasar sungai dimana kondisi tanah selalu tergenang air sungai. jadi pengimputan elevasi air tanah sama dengan bentuk dari geometri dasar sungai atau pada bawah bangunan *Groundsill*.



Gambar 4.16. level muka air tanah sesudah gerusan

2. Hasil analisis stabilitas tanah menggunakan *Software Geo5*

Setelah data yang diperlukan sudah ter *input* semua, selanjutnya *software Geo5* akan menganalisis kesetabilan tanah dengan metode perhitungan bishop.



Gambar 4.17. kurva gaya stabilitas tanah sesudah gerusan di bawah *Groundsill*

Hasil perhtiungan *Software Geo5* untuk stabilitas tanah

Total weight of soil above the slip surface: 1430.67 kN/m

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : $F_a = 614.23$ kN/m

Sum of passive forces : $F_p = 1059.02$ kN/m

Sliding moment : $M_a = 8224.51$ kNm/m

Resisting moment : $M_p = 14180.32$ kNm/m

Factor of safety = 1.72 > 1.50

Slope stability ACCEPTABLE

Piles verification 1

Anti-Slide pile : Anti-Slide Pile No. 1 (17.36; 5.69 [m])

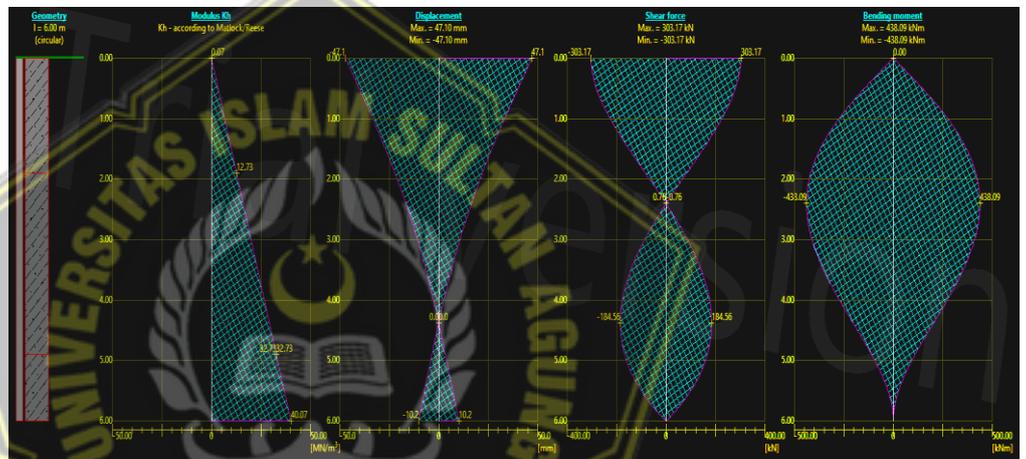
Analysis : Calculation 1 (slip surface circular)

Method : Bishop

Gambar 4.18. Hasil perhitungan stabilitas tanah sesudah gerusan *software Geo5*

Pada penyajian gambar di atas dijelaskan bahwa pada saat tanah di hilir bangunan *gorund sill* mengalami gerusan local (*local scouring*). Kestabilan tanah masih tetap terjaga karena adanya perkuatan dari pondasi *bored pile* dimana pondasi tersebut berperan sebagai *anti slide piles* yaitu memperkuat tanah dari gaya geser yang dapat terjadi.

Berikut disajikan gaya yang terjadi pada pondasi *bored pile* yang berperan sebagai *anti slide piles* pada analisis kestabilan tanah di bawah bangunan *Groundsill*.



Gambar 4.19. Grafik analisis pondasi sesudah gerusan

Pada gambar di atas dijelaskan pondasi menerima beberapa gaya yaitu:

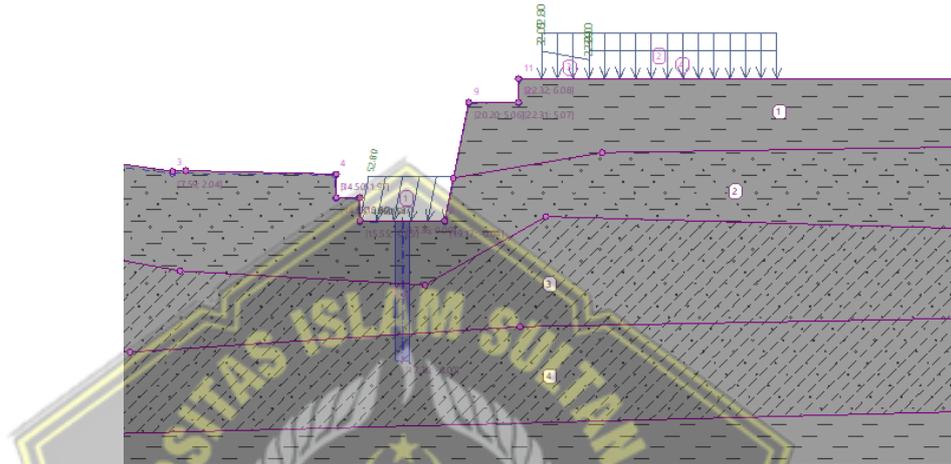
- Displacement = 47.10 mm
- Sheer force = 303.17 kN
- Bending momen = 438.09 kNm

Jadi peran pondasi pada bangunan ini sangat penting dalam menjaga kestabilan bangunan dalam menerima beban sehingga bangunan akan aman dan meminimalisir terjadinya kerusakan pada struktur bangunan.

4.6.2. Analisa stabilitas tanah sebelum terjadinya gerusan lokal (*local scouring*)

1. Input data ke dalam *software* Geo5 V.24

Memasukkan koordinat ke dalam *software* untuk membentuk penampang bangunan.



Gambar 4.20. penampang bangunan sebelum gerusan *software* Geo5

Pada profil tanah diambil dari data hasil penyelidikan tanah, dimana di ambil pada titik BH-1 dengan posisi titik penyelidikan tanah di bawah hilir bangunan. Data tanah dari tabel 3.3 di masukkan untuk memproses stabilitas struktur tanah di bawah bangunan *Groundsill*.

Pada kasus ini fungsi dari pondasi *bored pile* dengan jarak antar pondasi 2 m selain digunakan untuk meneruskan beban bangunan *groundsill*, pondasi ini juga berfungsi sebagai *anti slide piles*. Dengan memasukkan spesifikasi dari pondasi *bored pile* ke dalam *software* sebagai *anti slide piles*.

Spesifikasi pondasi

Jenis : *Bored pile*

Diameter : 0.6 m

Panjang : 6 m

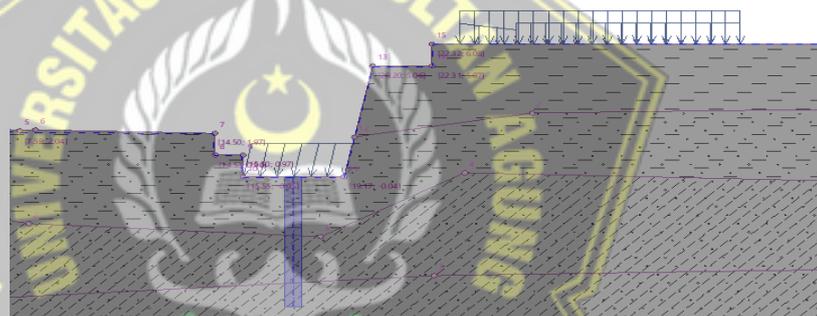
Material : beton bertulang dengan casing pipa baja

Penerapan beban pada analisis kali ini yaitu menggunakan berat sendiri air yang tertampung pada kolam olak dan beart bangunan *Groundsill* pada bagian kolam olak dan banguann *ens sill*. Diketahui beban mati yang di masukkan ke dalam analisis sebagai berikut:

Beton : 52.8 kN/m²

Air : 22 kN/m²

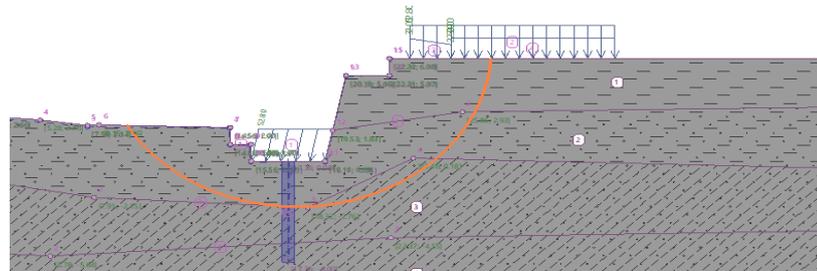
Level kedalaman air pada tanah di analisis ini sama dengan permukaan tanah yaitu 0 m, dikarenakan tanah ini berada di dasar sungai dimana kondisi tanah selalu tergenang air sungai. jadi pengimputan elevasi air tanah sama dengan bentuk dari geometri dasar sungai atau pada bawah bangunan *Groundsill*.



Gambar 4.21. level muka air tanah sebelum gerusan

2. Hasil analisis stabilitas tanah menggunakan *Software Geo5*

Setelah data yang diperlukan sudah ter *input* semua, selanjutnya *software Geo5* akan menganalisis kesatabilan tanah dengan metode perhitungan bishop.



Gambar 4.22. kurva gaya stabilitas tanah sebelum gerusan di bawah *Groundsill*

Hasil perhitungan *Software* Geo5 untuk stabilitas tanah

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : $F_a = 531.96$ kN/m

Sum of passive forces : $F_p = 934.15$ kN/m

Sliding moment : $M_a = 5043.01$ kNm/m

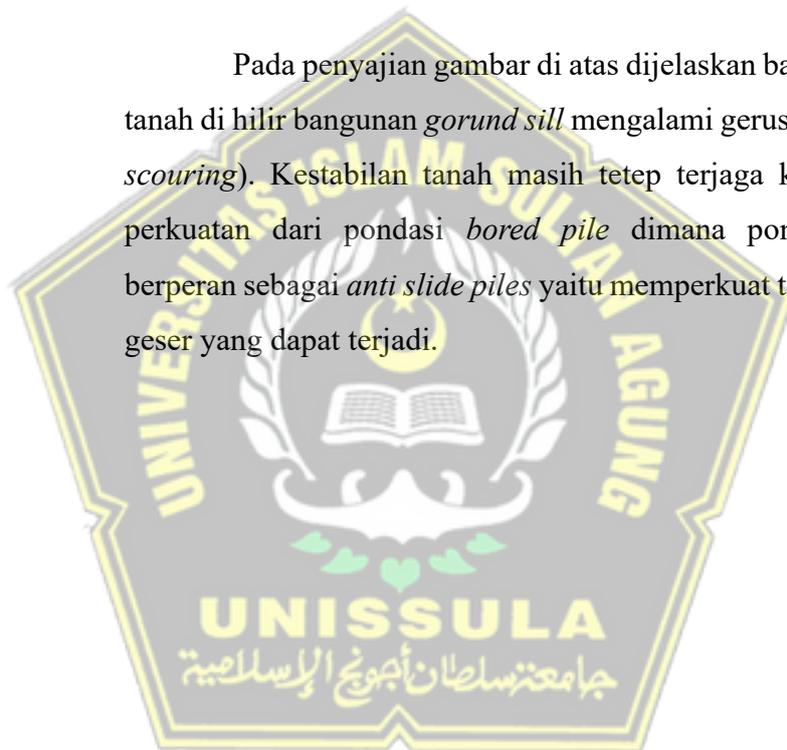
Resisting moment : $M_p = 8855.73$ kNm/m

Factor of safety = $1.76 > 1.50$

Slope stability ACCEPTABLE

Gambar 4.23. Hasil Perhitungan stabilitas tanah sebelum gerusan *software* Geo5

Pada penyajian gambar di atas dijelaskan bahwa pada saat tanah di hilir bangunan *gorund sill* mengalami gerusan local (*local scouring*). Kestabilan tanah masih tetap terjaga karena adanya perkuatan dari pondasi *bored pile* dimana pondasi tersebut berperan sebagai *anti slide piles* yaitu memperkuat tanah dari gaya geser yang dapat terjadi.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

3. Hasil dari analisis karakteristik tanah berdasarkan *Unified System Classification Soil* (USCS) tanah berjenis *Low plasticity Clay* atau Lempung berplastisitas rendah (CL) memiliki ukuran butiran <0.085 mm. dengan berat isi tanah kering (γ_d) 1.36 gr/cm^3 dan nilai kadar air 32.5%. tanah jenis tersebut merupakan tanah berkohesi (c) dengan nilai $7 - 9.5 \text{ kN/m}^2$ dan sudut geser (ϕ) sebesar $21.6 - 24.81^\circ$
4. Analisis gerusan lokal (*local scouring*) menggunakan metode Lacey dengan nilai debit banjir periode Q50 tahun, gerusan lokal (*local scouring*) terjadi di bagian hilir bangunan *Groundsill* sedalam 7.95 m. Dalam permodelan pola hidraulika menggunakan *software* Hec Ras v.6.5, menghasilkan nilai kedalaman gerusan lokal (*local scouring*) yaitu sebesar 8.2 m.
5. besaran debit angkutan sedimen pada saat terjadi gerusan lokal yaitu $0.0096 \text{ m}^3/\text{det}$. Debit tersebut akan membawa sedimen hasil gerusan lokal (*local scouring*) ke hilir sungai, sehingga tanah yang terkikis tidak mengendap di dalam lubang pada gerusan lokal (*local scouring*).
6. Setelah terjadi gerusan lokal (*local scouring*) pada hilir bangunan *Groundsill*, hasil dari analisis *software* Geo5 menunjukkan kestabilan tanah tetap terjaga karena pengaruh dari pondasi *bored pile* yang tersusun dengan jarak antar pondasi 2 m. sehingga bangunan *Groundsill* terminimalisir dari terjadinya kerusakan pada struktur bangunan.

5.2. Saran

Dari hasil perhitungan analisis di atas, direkomendasikan saran sebagai berikut:

1. Dalam analisis gerusan lokal (*local scouring*) merupakan hasil analisis berdasarkan teori dimana harus tetap memperhatikan kondisi lapangan sehingga tetap meminimalisir terjadinya kerusakan pada bangunan.
2. Perhitungan menggunakan *software* dilakukan untuk membantu atau sebagai alternatif analisis hidraulika dan stabilitas tanah. Jadi perlu dilakukan perhitungan manual untuk mengontrol hasil dari analisis *software*.
3. Pada analisis permodelan menggunakan *software* Hec Ras v.6.5 dan Geo5 ini perlu di perbaiki lagi agar hasil perhitungan lebih baik.
4. Untuk tetap menjaga kestabilan bangunan dengan periode waktu yang lama, perlu dilakukan penanganan pada area gerusan, seperti pemasangan bronjong di daerah hilir *Groundsill*, dimana bronjong tersebut berfungsi untuk meredam energi dari debit banjir periode.



DAFTAR PUSTAKA

- Dadang, Ruhiat. (2022). Implementasi Distribusi Peluang Gumbel Untuk Analisis Data Curah Hujan Rencana. Universitas Bale Bandung, Jawa Barat.
- Fadhillah, Ghony, dan Akmal. (2023). Analisis Pengujian Berat Jenis Tanah Sampel Batu Lempung dan Batu Pasir Pada Nomor Titik Bor RA04 PT. Bukit Asam, Tbk. Akademi Komunitas Industri Pertambangan Bukit Asam, Indonesia. Hal 21
- Haris, Lubis, dan Winayati. (2018). Nilai Kohesi dan Sudut Geser Tanah Pada Akses Gerbang Selatan Universitas Lancang Kuning. Teknik Sipil Universitas Lancang Kuning. Pekanbaru. Hal 5
- Harjono, Permana. (2018). Kajian Ulang Control Stabilitas *Groundsill* Bendung Gerak Sungai Bengawan Solo di Kabupaten Bojonegoro. Teknik Sipil Universitas Bojonegoro. Hal 1
- Laila Dkk. (2024). Buletin Informasi Cuaca. Badan Meteorologi. Klimatologi dan Geofisika. Stasiun Meorologi Maritim Tegal. Tegal.
- Lembang, Desi. (2021). Analisis Karakteristik Tanah Pada Daerah Genangan Bujur Kecamatan Antang Kota Makasar. Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Fakfak, Fakfak. Hal 4
- Lufira, Marsudi. (2015). Analisis Uji Model Fisik Pelimpah Bendung Sukahurip Di Kabupaten Pangandaran Jawa Barat. Teknik Pengairan Universitas Brawijaya. Malang. Hal 2
- Margaret, Anugrah, dan Apriani. (2019). Evaluasi Kapasitas Saluran Sub DAS Ampal Kota Balikpapan. Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Kalimantan. Balikpapan. Hal 5-6
- Martini, Rivai. (2018). Pengaruh Kecepatan Aliran Sungai Terhadap Erosi Tanah Pada Lereng di Belokan Sungai Enim Desa Karang Raja Kabupaten Muara Enim. Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Palembang. Palembang. Hal 2
- Mina, Kusuma, dan Ridwan (2017). Stabilitas Tanah Lempung Menggunakan Pasir Laut dan Pengaruhnya Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas. Teknik Sipil Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Banten. Hal 15

- Norohana. (2010). Pengaruh Kemiringan Hulu Pelimpah Terhadap Panjang Lncatan Hidrolis dan Perubahan Koefisien (CD). Universitas Tribhuwana Tungadewi, Malang. Hal 3
- Pratikso. (2017). Mekanika Tanah I. Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung, Semarang
- Pratama, Legono, dan Rahardjo. (2019) Analisis Transpor Sedimen Serta Pengaruh Aktivitas Penambangan Pada Sungai Sombe, Kota Palu, Sulawesi Tengah. Teknik Sipil dan lingkungan Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. Hal 2-5
- Ridhayani, Saputra. (2021) Studi Analisis Daya Dukung Tanah Berdasarkan Data Sondir di Kampus Padhang-Padhang Universitas Sulawesi Barat. Teknik Sipil Universitas Sulawesi Barat. Majene. Hal 5
- Sarker. (2022). *A Short Review on Computational Hydraulics in the Context of Water Resources Engineering. Departement of Civil, Environmental, & Construction Engineering, University of Cebtral Florida, Florida, USA.* Hal 1-2
- Seran. (2022). Analisis Erosi Pada DAS Noelmina Menggunakan Metode Usle. Teknik Sipil Universitas Katolik Widya Mandira. Nusa Tenggara Timur. Hal 1-2
- Sulistya, Indrawan, dan Sriyana. (2022). Pengujian Model Fisik Terhadap Karakteristik Hidraulik Akibat Pemasangan *Groundsill* Pada Saluran Pembawa Bangunan Pelimpah Bendung Pidekso. Departemen Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Semarang. 2022. Hal 8
- Sumardi, Fuad. (2018). Analisis Angkutan Sedimen di Sungai Air Kolongan Kabupaten Minahasa Utara. Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado. Manado. Hal 4
- Tungga, Asmaranto, dan Suprijanto. (2018) Perencanaan *Groundsill* Pada Sungai Tinga-Tinga Desa Tukad Tinga-Tinga Kecamatan Gerokgak Kabupaten Buleleng Bali. Teknik Pengairan Universitas Brawijaya. Malang. Hal 4