

**ANALISIS GEOMEKANIKA TANAH TERHADAP
KETAHANAN TANAH DI LOKASI PERENCANAAN
BENDUNG DAVIT KECIL DESA ULU MARAS KECAMATAN
JEMAJA TIMUR KABUPATEN KEPULAUAN ANAMBAS
PROVINSI KEPULAUAN RIAU**

TUGAS AKHIR

Studi: Geomekanika



Oleh:

MIFTAHUL JANNAH
143610342

**PRODI TEKNIK GEOLOGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU
2020**

**ANALISIS GEOMEKANIKA TANAH TERHADAP
KETAHANAN TANAH DI LOKASI PERENCANAAN
BENDUNG DAVIT KECIL DESA ULU MARAS KECAMATAN
JEMAJA TIMUR KABUPATEN KEPULAUAN ANAMBAS
PROVINSI KEPULAUAN RIAU**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar
Sarjana Pada Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik
Universitas Islam Riau
Pekanbaru



Oleh:

MIFTAHUL JANNAH
143610342

**PRODI TEKNIK GEOLOGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU
2020**

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Dengan ini saya menyatakan :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat gelar akademik (Strata Satu), baik di Universitas Islam Riau maupun diperguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan di cantumkan dalam daftar pustaka.
4. Penggunaan “*Software*” komputer bukan menjadi tanggung jawab Universitas Islam Riau.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan tidak kebenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Pekanbaru, Juli 2019

Yang Bersangkutan Pernyataan,



Miftahul Jannah

NPM. 143610342

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Islam Riau, Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Miftahul Jannah

NPM : 143610342

Program Studi : Teknik Geologi

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

Menyetujui untuk memberikan Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-Exsclsive Royalty free Right*) kepada Universitas Islam Riau demi kepentingan pengembangan ilmu pengetahuan atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**ANALISIS GEOMEKANIKA TANAH TERHADAP KETAHANAN TANAH
DI LOKASI PERENCANAAN BENDUNG DAVIT KECIL DESA ULU
MARAS KECAMATAN JEMAJA TIMUR KABUPATEN KEPULAUAN
ANAMBAS PROVINSI KEPULAUAN RIAU.**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak tersebut maka Universitas Islam Riau berhak menyimpan, mengalihmediakan/format, mengelola dalam bentuk pangkalan data, merawat dan mempublikasikan karya ilmiah saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Pekanbaru, Juli 2019

Yang Menyatakan



Miftahul Jannah

HALAMAN PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

ANALISIS GEOMEKANIKA TANAH TERHADAP
KETAHANAN TANAH DI LOKASI PERENCANAAN
BENDUNG DAVIT KECIL DESA ULU MARAS KECAMATAN
JEMAJA TIMUR KABUPATEN KEPULAUAN ANAMBAS
PROVINSI KEPULAUAN RIAU

Di susun oleh :

MIPTAHUL JANNAH
143610342

Telah Diuji Didepan Dewan Penguji Pada Tanggal
20 Juli 2020 Dan Dinyatakan
Telah Memenuhi Syarat Untuk Diterima

Disetujui Oleh :

Pembimbing I

Pembimbing II


Dewandra Bagus E.P., M.Sc
NIDN. 1021128902


Adi Suryadi, M.Sc
NIDN. 1023099301

Disahkan Oleh :

Pekanbaru, 2. Maret 2020
Ka. Prodi Teknik Geologi


Dewandra Bagus E.P., M.Sc
NIDN: 1021128902


Dekan Fakultas Teknik


Abdul Kudus Zaini, MT., Ms.Tr
NIDN: 1021128902

**ANALISIS GEOMEKANIKA TANAH TERHADAP KETAHANAN
TANAH DI LOKASI PERENCANAAN BENDUNG DAVIT KECIL DESA
ULU MARAS KECAMATAN JEMAJA TIMUR KABUPATEN
KEPULAUAN ANAMBAS PROVINSI KEPULAUAN RIAU**

MIFTAHUL JANNAH
Program Studi Teknik Geologi

SARI

Daerah penelitian berada di Ulu Maras, Jemaja Timur, Kepulauan Anambas, Kepulauan Riau sebagai sarana irigasi dengan luas daerah penggunaan lahannya $\pm 20,93$ ha. Pembangunan bendung ini harus dilakukan berbagai macam analisis agar bendung sesuai dengan faktor keamanan. Pada 2 titik bor dilakukan analisis, yaitu analisis tanah di lapangan, analisis geomekanika tanah dan analisis stabilitas. Analisis geomekanika yang dilakukan adalah ayakan, hidrometer, klasifikasi tanah, batas-batas *atterberg* dan kuat geser langsung. Jenis tanah di kedua titik ini adalah lempung berpasir (SM), keseragaman baik, gradasi sangat baik serta indeks plastisitas ialah tidak plastis. Kontrol stabilitas dilakukan dalam kondisi air normal dan air banjir yang memenuhi standarisasi faktor keamanan.

Kata Kunci: bendung, geomekanika tanah, stabilitas

**SOIL GEOMECHANICS ANALYSIS ON SOIL HARDNESS IN THE
CONSTRUCTION OF DAVIT KECIL'S WEIR, ULU MARAS VILLAGE.
EAST JEMAJA DISTRICT, KEPULAUAN ANAMBAS REGENCY,
KEPULAUAN RIAU PROVINCE**

MIFTAHUL JANNAH
Department of Geological Engineering

ABSTRACT

Study area is located in Ulu Maras, East Jemaja, Kepulauan Anambas, Kepulauan Riau as irrigation facilities with area of land use is $\pm 20,93$ ha. This weir construction should be done various kind of analysis, so that weir suitable with safety factor. On the 2 bore points i conducted are analysis, there are soil analysis in the field, soil geomechanics analysis and stability analysis. The geomechanics analysis are sieve, hydrometer, soil classification, atterberg limits and direct shear stress. The soil type in this 2 points is sandy loam (SM), good uniformity, very good gradation and plasticity index is non plastic. Stability control in normal and flood conditions is fulfill as standardization as safety factor.

Keyword: weir, soil geomechanics, stability

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat, dan hidayah-Nya penulis dapat menyusun laporan tugas akhir hingga selesai dengan judul **“Analisis Geomekanika Tanah Terhadap Ketahanan Tanah di Lokasi Perencanaan Bendung Davit Kecil Desa Ulu Maras Kecamatan Jemaja Timur Provinsi Kepulauan Riau”**.

Berkat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak maka penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Pada kesempatan ini penulis haturkan terima kasih yang tak terhingga kepada Bapak Dewandra Bagus E.P, B.Sc (Hons)., M.Sc dan Bapak Adi Suryadi, B.Sc (Hons)., M.Sc yang telah membimbing penulis dalam menyusun laporan tugas akhir. Ucapan terima kasih juga penulis haturkan kepada:

1. Rektor Universitas Islam Riau.
2. Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
3. Ketua Prodi dan Sekretaris Prodi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
4. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Prodi Teknik Geologi yang telah memberikan arahan serta nasehat selama penulis menuntut ilmu di Prodi Teknik Geologi, Universitas Islam Riau.
5. Bapak Joni Triparadi, ST, Bapak Zulfaini, ST, Bang Nopiyanto, ST dan Tim SDA Kepulauan Anambas yang telah mengizinkan dan membantu lancarnya proses penelitian.
6. Tim surveyor lapangan, Bang Diko dan Bang Nazril yang telah membantu selama di lapangan.
7. Orang tuaku, saudara kandungku serta seluruh keluarga besar yang selalu berdoa dan memberikan dorongan kepada penulis sehingga penulis dapat menjalankan studi dengan baik.
8. Teman-teman angkatan 2014 yang selalu memberikan dukungan, semangat dan motivasi.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih atas bantuannya.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih belum sempurna dan masih banyak kekurangan, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga laporan ini nantinya dapat bermanfaat semua pihak.

Pekanbaru, Juli 2019

Miftahul Jannah



DAFTAR ISI

HALAMAN PENYATAAN KEASLIAN PENELITIAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
SARI	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Lokasi Penelitian	4
1.7 Waktu Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Geologi Regional.....	7
2.2 Pengertian Bendung	8
2.3 Klasifikasi Bendung	9
2.4 Komponen Utama Bendung	10
2.5 Stabilitas Bendung.....	10
2.5.1 Kontrol Stabilitas.....	11
2.5.1.1 Kontrol Terhadap Geser.....	11
2.5.1.2 Kontrol Terhadap Guling.....	12
2.5.2 Anggapan-anggapan dalam Stabilitas	12
2.5.3 Syarat-syarat Stabilitas	13
2.6 Zonasi Gempa Indonesia	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Objek Penelitian	15
3.2 Alat-alat yang Digunakan.....	15
3.3 Langkah-langkah Penelitian	16
3.3.1 Pencarian Data atau Informasi.....	16
3.3.2 Pengolahan Data	17

3.3.2.1 Analisis Tanah di Lapangan.....	17
3.3.2.2 Analisis Geomekanika Tanah	19
3.3.2.3 Analisis Stabilitas Bendung	31
3.3.3 Penyusunan Laporan.....	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Analisis Tanah di Lapangan	43
4.1.1 HB-2	44
4.1.2 HB-3	45
4.2 Analisis Geomekanika Tanah.....	46
4.2.1 Analisis Geomekanis Tanah	46
4.2.1.1 Analisis Ayakan	46
4.2.1.2 Analisis Hidrometer	52
4.2.1.3 Analisis Ukuran Butir Tanah	55
4.2.2 Analisis Batas-batas Atterberg	65
4.2.3 Analisis Kuat Geser Langsung	67
4.2.4 Rangkuman Hasil Analisis Geomekanika Tanah	69
4.3 Analisis Stabilitas	71
4.3.1 Gaya-gaya yang Bekerja.....	71
4.3.1.1 Gaya Berat Sendiri	71
4.3.1.2 Gaya Gempa Bumi.....	72
4.3.1.3 Gaya Hidrostatik.....	74
4.3.1.4 Gaya Akibat Lumpur	77
4.3.1.5 Gaya Akibat Tekanan Ke Atas	79
4.3.2 Kontrol Stabilitas.....	85
4.3.2.1 Kontrol Terhadap Guling.....	85
4.3.2.2 Kontrol Terhadap Geser.....	86
4.3.2.3 Kontrol Terhadap Eksentrisitas.....	87
4.3.2.3 Kontrol Terhadap Daya Dukung Tanah.....	88
4.3.3 Keamanan Stabilitas Bendung.....	89
BAB V PENUTUP.....	90
5.1 Kesimpulan.....	90
5.2 Saran.....	90
DAFTAR PUSTAKA.....	91
LAMPIRAN.....	L.1
LAMPIRAN A.	L.1
LAMPIRAN B.....	L.10
LAMPIRAN C.....	L.21

LAMPIRAN D.	L.24
LAMPIRAN E.	L.29



Dokumen ini adalah Arsip Milik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1. Peta Wilayah Kabupaten Anambas	4
1.2. (A) Kapal Ferry Transportasi Antar Pulau; (B) Bandar Udara Letung	5
2.1. Peta Geologi Regional Tarempa dan Jemaja (Hanang Samodra, 1995).....	7
2.2. Potongan Terlemah Pada Bendung.....	11
2.3. Potongan yang Paling Lemah	13
2.4. Nilai Koefisien Gempa Maksimum (SNI 1726:2012).....	14
3.1. <i>Handauger</i> untuk Pengambilan Contoh Tanah	15
3.2. Kurva Distribusi Ukuran Butiran.....	22
3.3. Batasan-batasan Ukuran Golongan Tanah Menurut Beberapa Sistem.....	23
3.4. Segitiga USCS	23
3.5. Macam-macam Tipe Kurva Distribusi Ukuran Butiran	26
3.6. Batas-batas Atterberg.....	27
3.7. Alat <i>Cassagrande</i>	29
3.8. Gulungan Tanah Pada Uji Batas Plastis (Das B.M, 1995)	30
3.9. Lingkaran Mohr	31
3.10. Gaya Berat Sendiri Tubuh Bendung.....	32
3.11. Gaya Hidrostatik Kondisi Air Normal dan Banjir	34
3.12. Gaya Hidrostatik Kondisi Air Banjir	35
3.13. Tekanan Lumpur.....	36
3.14. Tekanan Pada Setiap Titik Sudut.....	37
3.15. Tekanan Ke Atas (<i>uplift pressure</i>).....	38
3.16. Diagram Alir Penelitian.....	42
4.1. Peta Topografi Lokasi Titik Bor Tangan (<i>hand bore</i>).....	43
4.2. Log Sedimen HB-2	44
4.3. Log Sedimen HB-3.....	46
4.4. Kurva Ukuran Butir HB-2	57
4.5. Jenis Tanah Pada HB-2.....	58
4.6. Log Sedimen HB-2 Setelah Analisis Laboratorium	59

4.7. Kurva Ukuran Butir HB-3	62
4.8. Jenis Tanah Pada HB-3.....	63
4.9. Log Sedimen HB-3 Setelah Analisis Laboratorium	64
4.10. Kurva Tegangan Geser HB-2	67
4.11. Kurva Tegangan Geser HB-3	68
4.12. Berat Sendiri Bendung Davit Kecil	71
4.13. Gaya Akibat Gempa Tubuh Bendung Davit Kecil	72
4.14. Perhitungan Gaya Hidrostatik Akibat Air Normal	75
4.15. Perhitungan Gaya Hidrostatik Akibat Air Banjir.....	76
4.16. Perhitungan Gaya Akibat Tekanan Lumpur	78
4.17. Perhitungan Gaya Tekan ke Atas (<i>uplift-pressure</i>) Bendung Davit Kecil Pada Kondisi Air Normal dan Air Banjir	80
4.18. Perhitungan Gaya Tekan ke Atas (<i>uplift-pressure</i>) Pada Bidang Kontak Bendung Davit Kecil Saat Kondisi Air Normal	82

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1.1. Pelaksanaan Waktu Penelitian.....	6
2.1. Harga-harga Koefisien Gesekan (Sumber KP-02)	12
3.1. Saringan Standar Amerika.....	19
3.2. Harga-harga K dari ASTM (1982)	21
3.3. Klasifikasi Tanah (USCS)	24
4.1. Hasil Perhitungan Contoh Tanah HB-2.....	47
4.2. Hasil Perhitungan Contoh Tanah HB-3.....	50
4.3. Rangkuman Perhitungan Analisis Hidrometer HB-2	53
4.4. Rangkuman Perhitungan Analisis Hidrometer HB-3	54
4.5. Hasil Perhitungan Analisis Ayakan dan Analisis Hidrometer.....	56
4.6. Hasil Perhitungan Analisis Ayakan dan Analisis Hidrometer.....	61
4.7. Perhitungan Batas Susut HB-2	66
4.8. Perhitungan Batas Susut HB-3	66
4.9. Kuat Geser Langsung HB-2.....	67
4.10. Kuat Geser Langsung HB-3.....	68
4.11. Rangkuman Hasil Analisis-analisis Laboratorium yang Telah dilakukan ..	68
4.12. Perhitungan Gaya Berat Sendiri Bendung Davit Kecil	72
4.13. Perhitungan Gaya Akibat Gempa Bendung Davit Kecil	73
4.14. Gaya Hidrostatik Pada Keadaan Air Normal di Bendung Davit Kecil	74
4.15. Gaya Hidrostatik Bendung Davit Kecil Pada Kondisi Air Banjir.....	77
4.16. Gaya Akibat Tekanan Lumpur di Bendung Davit Kecil	78
4.17. Gaya Tekan Ke Atas (<i>up lift-preassure</i>) Bendung Davit Kecil.....	79
4.18. Gaya Tekan Ke Atas (<i>uplift pressure</i>) Pada Bidang Kontak Bendung Davit Kecil Saat Kondisi Air Normal.....	82
4.19. Perhitungan Gaya Tekan Ke Atas (<i>uplift-pressure</i>) Pada Bidang Kontak Bendung Davit Kecil Saat Kondisi Air Banjir	83
4.20. Rangkuman Gaya-gaya yang Bekerja Pada Kondisi Air Normal	84
4.21. Rangkuman Gaya-gaya yang Bekerja Pada Kondisi Air Banjir.....	85

4.22. Rangkuman Kontrol Stabilitas Pada Kondisi Air Normal dan Kondisi Air Banjir	89
--	----



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bendung adalah bangunan melintang sungai yang digunakan untuk meninggikan muka air sungai untuk keperluan irigasi, pemenuhan kebutuhan air baku dan lain-lain. Bendung yang dibangun harus memenuhi persyaratan stabilitas yang menjadi salah satu syarat penting guna menjamin umur bendung dan kemampuannya untuk menaikkan muka air yang mengalir menuju lahan pertanian (Firnanda A dkk, 2016). Bendung merupakan salah satu infrastruktur yang berharga dalam suatu daerah irigasi (Ihsan FA dkk, 2017). Adanya bendung ini dapat mengatasi masalah penyaluran air ke lahan irigasi.

Daerah Irigasi Jemaja terletak di Pulau Jemaja Kecamatan Jemaja Timur Kabupaten Kepulauan Anambas Provinsi Kepulauan Riau. Berdasarkan Peraturan Menteri PUPR Nomor 14/PRT/M/2015 tentang Kriteria dan Penetapan Status Daerah Irigasi, di Kabupaten Kepulauan Anambas terdapat Daerah Irigasi Kewenangan Pemerintah Daerah seluas ± 386 ha. Berdasarkan studi yang pernah dilakukan oleh BWS (Badan Wilayah Sungai) Sumatera IV, saat ini terindikasi terdapat $\pm 637,48$ ha daerah irigasi dan $\pm 793,43$ ha areal yang berpotensi untuk dijadikan daerah irigasi. Namun, berdasarkan hasil penarikan *lay out* dari pemetaan Topografi yang dilakukan, areal potensial irigasi teknis untuk wilayah studi hanya 20,32 Ha, sementara sisanya adalah potensi tadah hujan.

Sebagai tindak lanjut pengelolaan irigasi yang dapat dimanfaatkan secara efektif dan optimal, maka penelitian ini bermaksud untuk mengembangkan daerah irigasi pada daerah yang berfungsi sebagai daerah irigasi. Selain itu juga bertujuan untuk melakukan perencanaan pengembangan daerah irigasi yang optimal dari aspek teknik, ekonomis dan lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut ini merupakan rumusan-rumusan masalah yang terdapat di lokasi penelitian, yaitu:

1. Apa saja jenis lapisan tanah di lokasi penelitian?
2. Bagaimana analisis ayakan dan hidrometer di lokasi penelitian?
3. Bagaimana kurva ukuran butir pada lokasi penelitian?
4. Bagaimana koefisien butir pada lokasi penelitian?
5. Apa jenis tanah yang ada pada daerah penelitian setelah dilakukan analisis laboratorium?
6. Bagaimana batas-batas atterberg pada daerah penelitian?
7. Bagaimana hasil geomekanika tanah terhadap stabilitas bendung pada daerah penelitian?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian di lokasi bendung ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui jenis lapisan tanah dengan menggunakan bor tangan.
2. Mengetahui analisis ayakan dan hidrometer pada lokasi penelitian.
3. Mengetahui kurva butir pada lokasi penelitian.
4. Mengetahui koefisien butir pada lokasi penelitian.
5. Mengetahui jenis tanah yang terdapat pada daerah penelitian.
6. Mengetahui batas-batas atterberg pada daerah penelitian.
7. Menentukan kelayakan pembangunan bendung dengan melihat hasil uji geomekanika tanah terhadap stabilitas Bendung Davit Kecil dalam keadaan air normal dan banjir berdasarkan kontrol terhadap guling, geser, eksentrisitas dan daya dukung tanah.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan-batasan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Data-data geomekanika tanah yang telah dilakukan analisis di laboratorium oleh konsultan.

2. Gaya-gaya yang bekerja pada bendung yaitu gaya berat sendiri, gaya gempa, gaya hidrostatik, gaya akibat lumpur dan gaya tekanan ke atas (*uplift pressure*).
3. Kontrol stabilitas bendung dilihat terhadap gaya geser, guling, eksentrisitas dan daya dukung tanah.

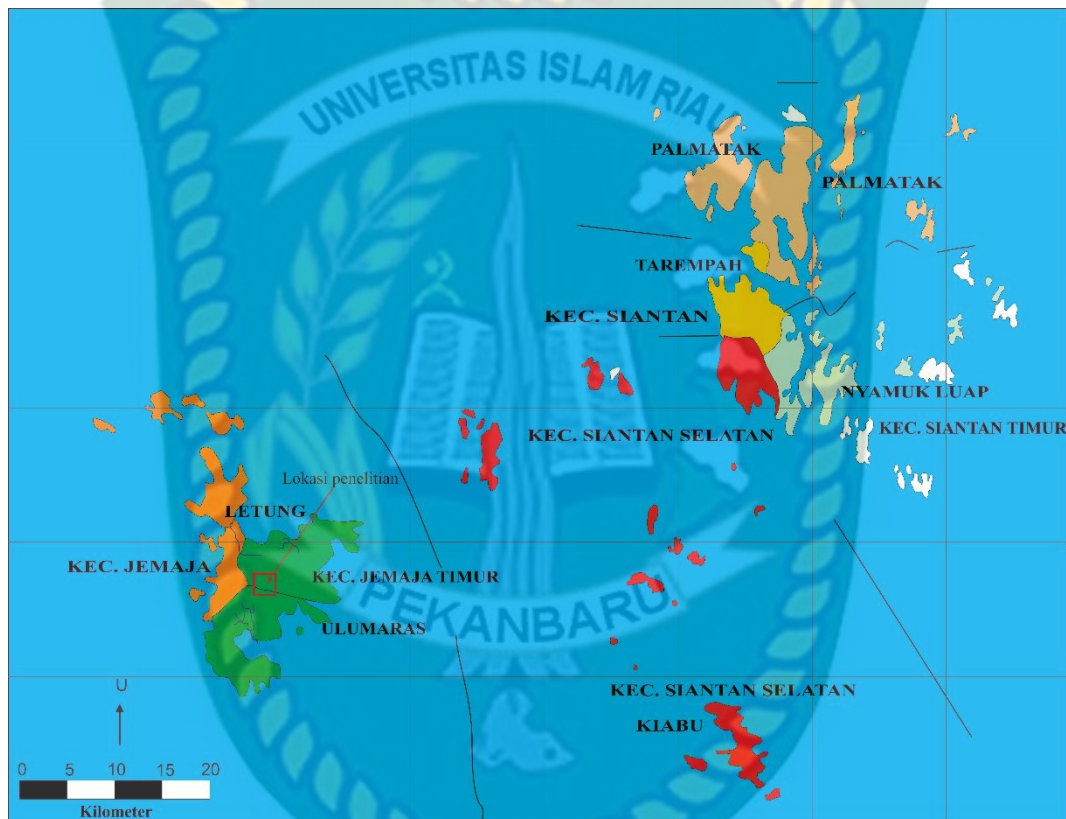
1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini ditinjau berdasarkan 3 (tiga) aspek. Aspek-aspek tersebut ialah bagi peneliti, masyarakat dan pemerintah atau instansi dengan penjelasan sebagai berikut.

1. Peneliti
 - Menambah pengetahuan mengenai studi geologi, geologi teknik dan geomekanika tanah pada daerah penelitian.
 - Memperkuat pemahaman mengenai pengambilan data di lapangan.
 - Kemampuan untuk mengintegritasikan data-data yang telah diperoleh di lapangan.
2. Masyarakat
 - Kendala kekurangan air pada areal lahan sawah yang dialami saat ini dapat segera diatasi, sehingga produktivitas lahan dan intensitas tanam dapat ditingkatkan.
 - Memperbaiki pola dan sistem yang ada sehingga diperoleh lahan pertanian yang dapat berproduksi serta berkelanjutan.
 - Menjadikan lahan-lahan yang sudah ditinggalkan untuk digunakan kembali.
3. Pemerintah atau Instansi
 - Menghindari kegagalan dalam mengubah penggunaan lahan yang telah lama ada dengan pola usaha tani yang dilaksanakan petani sejak dulu.
 - Menjadikan daerah ini sebagai penyalur beras bagi daerahnya, khususnya Kabupaten Kepulauan Anambas.

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di Pulau Jemaja, Kecamatan Jemaja Timur, Kabupaten Kepulauan Anambas, Provinsi Kepulauan Riau. Adapun batasan Kecamatan Jemaja Timur adalah di bagian Utara berbatasan dengan Laut Cina Selatan, di bagian timur berbatasan dengan Kecamatan Siantan Selatan, di bagian Selatan berbatasan dengan Laut Cina Selatan dan di bagian Barat berbatasan dengan Kecamatan Jemaja.



Gambar 1.1 Peta Wilayah Kabupaten Anambas

Perjalanan menuju lokasi daerah irigasi tersebut, dapat dilakukan melalui jalur laut dari kota Tanjung Pinang menggunakan kapal ferry ke Letung – Pulau Jemaja yang beroperasi 3 (tiga) kali dalam seminggu. Perjalanan laut ini menempuh waktu sekitar 8 jam. Selanjutnya dari Letung menaiki kendaraan darat atau sepeda motor dengan waktu sekitar 20 menit menuju lokasi penelitian.

Selain itu perjalanan menuju lokasi penelitian ini bisa melalui jalur udara dari kota Tanjung Pinang menggunakan pesawat terbang di Bandar Udara Raja Haji Fisabilillah menuju Bandar Udara Letung yang berada di Pulau Jemaja. Lama

perjalanan ini ialah ± 1 jam. Selanjutnya dari Bandar Udara Letung menggunakan sepeda motor atau mobil dengan waktu sekitar 15 menit menuju lokasi penelitian.



A

B

Gambar 1.2 (A) Kapal Ferry Transportasi Antar Pulau; (B) Bandar Udara Letung

1.7 Waktu Penelitian

Kegiatan penelitian mulai dilaksanakan pada bulan September – Juli 2019 yang terdiri atas tahap perizinan, persiapan, kajian pustaka, pengambilan data di lapangan, pengolahan data dan penyusunan laporan. Adapun waktu pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 1.1 Pelaksanaan Waktu Penelitian

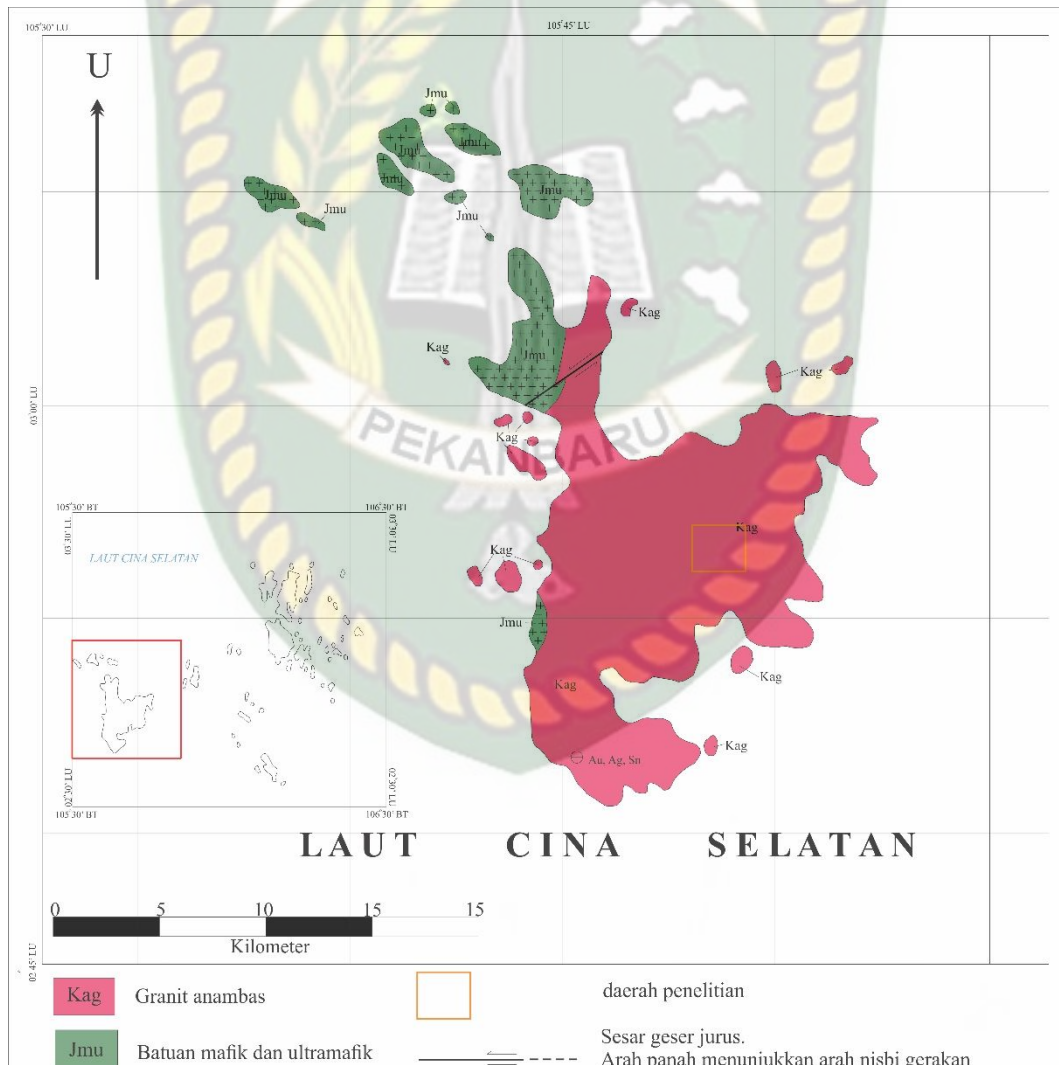
Kegiatan	2018																2019																											
	September				Oktober				November				Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni				Juli			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3					
Perizinan																																												
Persiapan																																												
Kajian Literatur																																												
Pengambilan data																																												
Pengolahan data																																												
Seminar hasil																																												

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Geologi Regional

Berdasarkan Peta Geologi Regional Tarempa dan Jemaja (Hanang Samodra, 1995), daerah penelitian terdapat di Formasi Granit Anambas (Kag). Formasi ini terdapat granit, granodiorit dan sienit. Umumnya berwarna kelabu, coklat dan merah muda. Di anjer Rajah (Jemaja) dan di sebelah barat Tarempa (Siantan) granitnya mengandung pirit, arsenopirit dan hematit.



Gambar 2.1 Peta geologi regional Tarempa dan Jemaja (Hanang Samodra, 1995)

Di beberapa tempat dijumpai senolit andesit, diorit dan batuan terkesikkan. Aplit berwarna coklat muda memotong granit. Aplit kehijauan di Anyer Temurun (Siantan) mengandung feldspar berwarna kuning dan merah muda berukuran hingga 1 cm. Granit dan aplit kebanyakan dipotong retas bersusun menengah, berwarna gelap dan granit Anambas diduga terdiri dari beberapa tubuh pluton. Kesebandingannya dengan granit sejenis di Kepulauan Tambelan dan Natuna (73-84 jtl: Haile dan Bignell, 1971) berumur Kapur Akhir.

2.2. Pengertian Bendung

Bendung adalah bangunan melintang sungai yang berfungsi meninggikan muka air sungai agar bisa di sadap. Bendung merupakan salah satu dari bagian bangunan utama. Bangunan utama adalah bangunan air (*hydraulic structure*) yang terdiri dari bagian-bagian: Bendung (*weir structure*), bangunan pengelak (*diversion structure*), bangunan pengambilan (*intake structure*), bangunan pembilas (*flushing structure*), dan bangunan kantong lumpur (*sediment trapstructure*).

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia 03-2401-1991 tentang pedoman perencanaan hidrologi dan hidraulik untuk bangunan di sungai adalah bangunan ini dapat didesain dan dibangun sebagai bangunan tetap, bendung gerak, atau kombinasinya, dan harus dapat berfungsi untuk mengendalikan aliran dan angkutan muatan di sungai sedemikian sehingga dengan menaikkan muka airnya, air dapat dimanfaatkan secara efisien sesuai dengan kebutuhannya.

Fungsi utama dari bendung adalah untuk meninggikan elevasi muka air dari sungai yang dibendung sehingga air bisa disadap dan dialirkan ke saluran lewat bangunan pengambilan (*intake structure*), dan untuk mengendalikan aliran, angkutan sedimen dan geometri sungai sehingga air dapat dimanfaatkan secara aman, efisien, dan optimal, (Mawardi & Memet, 2010).

Data yang diperlukan dalam perencanaan bendung adalah data topografi, data hidrologi, data morfologi, data geologi, data mekanika tanah, standar perencanaan (PBI, PKKI, PMI dll), data lingkungan dan ekologi.

2.3. Klasifikasi Bendung

Adapun klasifikasi-klasifikasi dari bendung adalah sebagai berikut (Mawardi dan Memet 2010):

1. Bendung berdasarkan fungsinya:
 - a. Bendung penyalang, digunakan sebagai penyalang aliran sungai untuk berbagai keperluan seperti untuk irigasi, air baku dan sebagainya.
 - b. Bendung pembagi banjir, dibangun di percabangan sungai untuk mengatur muka air sungai, sehingga terjadi pemisahan antara debit banjir dan debit rendah sesuai dengan kapasitasnya.
 - c. Bendung penahan pasang, dibangun dibagian sungai yang dipengaruhi pasang surut air laut antara lain untuk mencegah masuknya air asin.
2. Bendung berdasarkan tipe strukturnya:
 - a. Bendung tetap, bendung tetap adalah jenis bendung yang tinggi pembendungannya tidak dapat diubah, sehingga muka air di hulu bendung tidak dapat diatur sesuai yang dikehendaki. Pada bendung tetap elevasi muka air di hulu bendung berubah sesuai dengan debit sungai yang sedang melimpas (muka air tidak bisa diatur naik ataupun turun). Bendung tetap biasanya dibangun pada daerah hulu sungai. Pada daerah hulu sungai kebanyakan tebing-tebing sungai relative lebih curam dari pada di daerah hilir.
 - b. Bendung gerak, bendung gerak adalah jenis bendung yang tinggi pembendungannya dapat diubah sesuai yang dikehendaki. Pada bendung gerak elevasi muka air di hulu bendung dapat dikendalikan naik atau turun sesuai yang dikehendaki dengan membuka atau menutup pintu air. Bendung gerak biasanya dibangun pada hilir sungai atau muara.
3. Berdasarkan dari segi sifatnya:
 - a. Bendung permanen, seperti bendung pasangan batu, beton dan kombinasi beton dan pasangan batu.
 - b. Bendung semi permanen, seperti bendung broncong.
 - c. Bendung darurat, yang dibuat oleh masyarakat pedesaan seperti bendung tumpukan batu dan sebagainya.

2.4. Komponen Utama Bendung

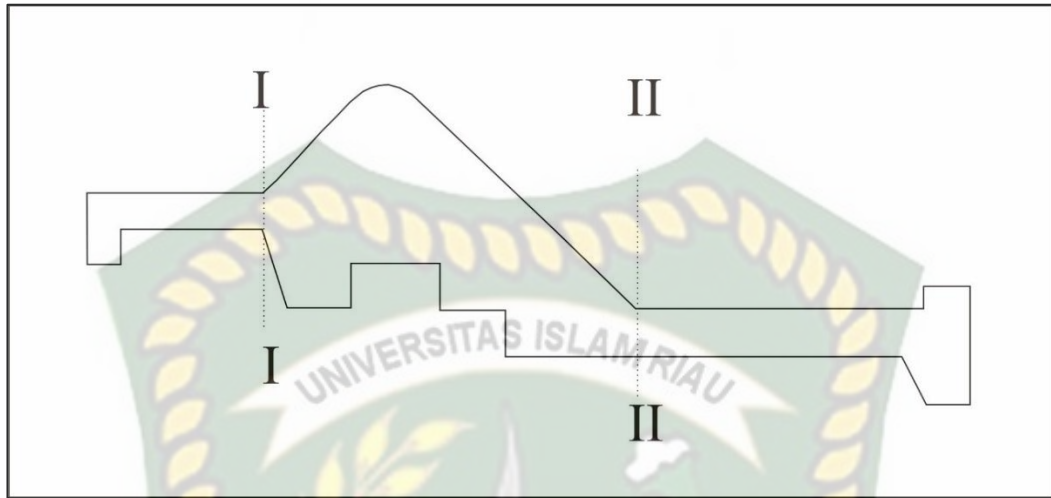
Bendung tetap yang terbuat dari pasangan batu untuk keperluan irigasi terdiri atas berbagai komponen, yaitu (Mawardi dan Memet 2010):

1. Tubuh bendung, antara lain terdiri dari ambang tetap dan mercu bendung dengan bangunan peredam energinya. Terletak kurang lebih tegak lurus arah aliran sungai saat banjir dan sedang. Maksudnya agar arah aliran utama menuju bendung dan yang keluar dari bendung terbagi merata, sehingga tidak menimbulkan pusaran-pusaran aliran di udik bangunan pembilas dan *intake*.
2. Bangunan intake, antara lain terdiri dari lantai/ambang dasar, pintu, dinding banjir, pilar penempatan pintu, saringan sampah, jembatan pelayan, rumah pintu dan perlengkapan lainnya. Bangunan ini terletak tegak lurus (90°) atau menyudut (45° - 60°) terhadap sumbu bangunan bilas. Diupayakan berada di tikungan luar aliran sungai, sehingga dapat mengurangi sedimen yang akan masuk ke *intake*.
3. Bangunan pembilas, dengan *indersluice* atau tanpa *indersluice*, pilar penempatan pintu, saringan sampah, pintu bilas, jembatan pelayan, rumah pintu, saringan batu dan perlengkapan lainnya. Terletak berdampingan dan satu kesatuan dengan *intake*, di sisi bentang sungai dan bagian luar tembok pangkal bendung, dan bersama-sama dengan intake, dan tembok pangkal udik yang diletakkan sedemikian rupa dapat membentuk suatu tikungan luar aliran (*coidal flow*). Aliran ini akan melemparkan angkutan sedimen ke arah luar intake/bangunan pembilas menuju tubuh bendung, sehingga akan mengurangi jumlah angkutan sedimen dasar masuk ke intake.
4. Bangunan pelengkap lain yang harus ada pada bendung antara lain yaitu tembok pangkal, sayap bendung, lantai udik dan dinding tirai, pengarah arus tanggul banjir dan tanggul penutup atau tanpa tanggul, penangkap sedimen atau tanpa penangkap sedimen, tangga, penduga muka air, dan sebagainya.

2.5. Stabilitas Bendung

Pada peninjauan stabilitas bendung, potongan-potongan yang di tinjau terutama adalah potongan-potongan I-I dan II-II karena potongan ini adalah yang

terlemah. Potongan lain yang perlu di tinjau akan di jelaskan di belakang.



Gambar 2.2 Potongan Terlemah pada Bendung

2.5.1. Kontrol Stabilitas

Penyebab runtuhnya suatu bangunan ialah adanya gaya geser dan gaya guling. Pada gaya geser yaitu ada di sepanjang sendi horizontal atau hampir horizontal di atas pondasi, di sepanjang pondasi dan di sepanjang kampuh horizontal atau hampir horizontal dalam pondasi. Untuk gaya guling terjadi di dalam bendung, dasar *base* dan bidang di bawah dasar.

2.5.1.1. Kontrol Terhadap Geser

Tangen θ , sudut antara garis vertikal dan resultan semua gaya, termasuk gaya angkat yang bekerja pada bendung di atas semua bidang horisontal, harus kurang dari koefisien gesekan yang diijinkan pada bidang tersebut. Bangunan-bangunan kecil dimana berkurangnya umur bangunan, kerusakan besar dan terjadinya bencana besar belum dipertimbangkan, harga-harga faktor keamanan (S) yang dapat diterima adalah 2,0 untuk kondisi pembebanan normal dan 1,5 untuk kondisi pembebanan ekstrim (Asiyanto, 2011). Kondisi pembebanan ekstrim adalah tak ada aliran di atas mercu selama gempa, atau banjir rencana maksimum. Harga-harga untuk koefisien gesekan dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.1 Harga-harga Koefisien Gesekan (Sumber KP-02)

Bahan	f
Pasangan batu	0,60 – 0,75
Batu keras berkualitas baik	0,75
Kerikil	0,5
Pasir	0,4
Lempung	0,3

2.5.1.2. Kontrol Terhadap Guling

Bangunan aman terhadap guling, maka resultan semua gaya yang bekerja pada bagian bangunan di atas bidang horisontal, termasuk gaya angkat, harus memotong bidang ini pada teras, tidak boleh ada tarikan pada bidang irisan manapun. Besarnya tegangan dalam bangunan dan pondasi harus tetap dipertahankan pada harga-harga maksimal yang dianjurkan, untuk pondasi, harga-harga daya dukung yang disebutkan dalam bagian parameter bangunan bisa digunakan (Soedibyo, 2003).

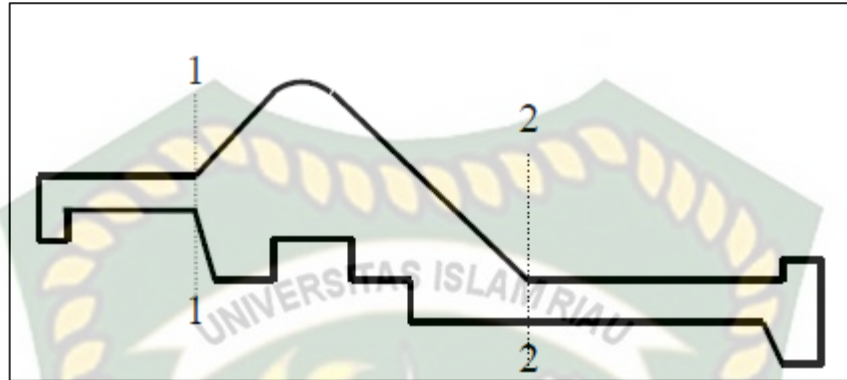
Harga-harga untuk beton sekitar $4,0 \text{ t/m}^2$, pasangan batu sebaiknya mempunyai kekuatan minimum 1,5 sampai $3,0 \text{ t/m}^2$. Tiap bagian bangunan diandaikan berdiri sendiri dan tidak mungkin ada distribusi gaya-gaya melalui momen lentur (bending momen).

2.5.2. Anggapan-anggapan dalam Stabilitas

Untuk menyederhanakan perhitungan tanpa mengurangi hakekat dari perhitungan itu sendiri, maka diadakan anggapan-anggapan sebagai berikut:

- Peninjauan potongan vertikal adalah pada potongan-potongan yang paling lemah (dalam hal ini potongan 1-1 dan 2-2).
- Lapisan puddel tetap berfungsi.
- Titik guling pada peninjau vertikal di atas adalah titik A.
- Konstruksi bagian depan bendung akan penuh lumpur setinggi mercu bendung.
- Harus diperhitungkan sekurang-kurangnya pada dua keadaan muka air, yaitu muka air banjir dan muka air normal.
- Ditinjau pula potongan-potongan mendatar pada kedudukan:
 - Bagian di atas lantai muka, tiap 1 meter vertikal.

- Bagian di bawah lantai muka, dua potongan pada tempat-tempat yang dianggap lemah.



Gambar 2.3 Potongan yang paling lemah

1.5.3 Syarat-syarat Stabilitas

Berikut merupakan syarat-syarat dari stabilitas agar tubuh bendung dapat ditentukan kelayakannya:

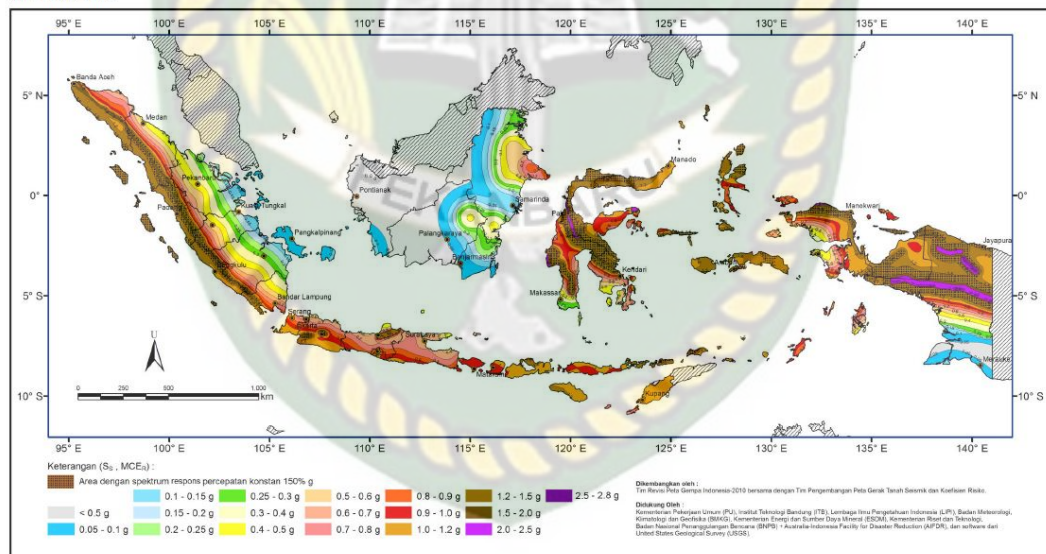
1. Pada konstruksi dengan batu kali, maka tidak boleh terjadi tegangan tarik. Ini berarti bahwa resultan gaya-gaya yang bekerja pada tiap-tiap potongan harus masuk kern.
2. Momen tahanan (M_t) harus lebih besar daripada Momen guling (M_g). Faktor keamanan untuk ini dapat di ambil antara 1,5 dan 2.
3. Kontruksi tidak boleh menggeser.
4. Tegangan tanah yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan tanah yang diizinkan.
5. Setiap titik pada keseluruhan konstruksi tidak boleh terangkat oleh gaya tekanan ke atas (*uplift pressure*).

2.6. Zonasi Gempa Indonesia

Nilai koefisien gempa di Indonesia dibedakan berdasarkan zonasi daerahnya dari segi warna (**Gambar 2.4**). Pada daerah yang berwarna abu-abu memiliki koefisien gempa $< 0,5$ g. Untuk daerah yang berwarna biru tua memiliki koefisien gempa $0,05$ g – $0,1$ g dan untuk daerah yang berwarna biru muda memiliki koefisien gempa $0,1$ g – $0,15$ g. Daerah yang berwarna biru pucat memiliki

koefisien gempa 0,15 g – 0,2 g serta daerah berwarna hijau pucat memiliki koefisien gempa 0,2 g – 0,25 g. Koefisien gempa 0,25 g-0,3 g ditandai dengan warna hijau, sedangkan warna pink pucat memiliki koefisien gempa 0,3 g-0,4 g. Selanjutnya untuk daerah yang berwarna kuning memiliki koefisien gempa 0,4g-0,5g, daerah yang berwarna *peach* memiliki koefisien gempa 0,5-0,6g. Untuk daerah yang berwarna pink ke orenan memiliki koefisien gempa 0,6g-0,7g serta daerah berwarna merah jambu pekat koefisiennya yaitu 0,7g-0,8g. Daerah yang berwarna oren memiliki koefisien gempa 0,8g-0,9g sedangkan daerah yang berwarna merah memiliki koefisien gempa 0,9g-1 g. Selanjutnya daerah yang berwarna kuning keorenan memiliki koefisien 1g-1,2g, daerah berwarna coklat koefisiennya adalah 1,2-1,5g dan warna coklat pekat koefisiennya yaitu 1,5g-2g. Daerah yang berwarna ungu muda memiliki koefisien 2g-2,5g dan daerah yang berwarna ungu pekat memiliki koefisien gempa 2,5g-2,8g.

SNI 1726:2012



Gambar 2.4 Nilai Koefisien Gempa Maksimum (SNI 1726: 2012)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

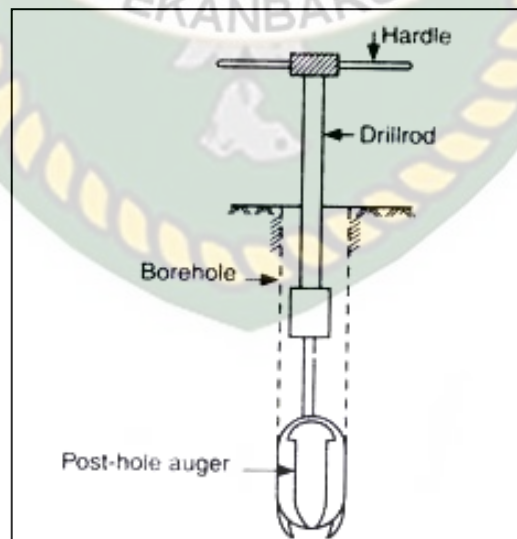
3.1. Objek Penelitian

Pada penelitian ini yang menjadi objek penelitian adalah sebagai berikut:

1. Tanah, untuk mengetahui lapisan-lapisan tanah di bawah permukaan dengan menggunakan bor tangan (*hand bore*) dan kemudian dilakukan deskripsi sesuai dengan kedalamannya.
2. Analisis geomekanika tanah, dilakukan di laboratorium dengan menggunakan contoh tanah dari lapangan.
3. Stabilitas bendung, untuk mengetahui gaya-gaya yang bekerja pada bendung dengan kontrol terhadap gaya.

3.2. Alat-alat yang Digunakan

Pada analisis di lapangan alat yang digunakan adalah bor tangan (*hand bore*) jenis *handauger*, palu sampler, tabung pengambil contoh tanah, pemutar dan penutup tabung.



Gambar 3.1 *Handauger* untuk pengambilan contoh tanah

Pada analisis geomekanika tanah di laboratorium menggunakan alat yang berbeda-beda disetiap analisisnya. Analisis ayakan menggunakan alat-alat, yaitu timbangan neraca, satu set ayakan, oven, mesin pengguncang saringan (*shaker*) dan

kuas. Untuk percobaan batas-batas atterberg, peralatan yang digunakan adalah alat pembuat alur (*grooving tool*), sendok dempul, plat kaca, cawan, spatula, botol tempat air suling, oven.

3.3. Langkah-Langkah Penelitian

Menurut Sularno (2011), langkah-langkah penelitian ini dilakukan secara bertahap, yaitu mencari data atau informasi, mengolah data dan penyusunan laporan.

3.3.1. Pencarian Data atau Informasi

Mencari data atau informasi ini dilakukan dalam 2 (dua) tahap, yaitu tahap persiapan dan observasi lapangan.

1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan ini dimaksudkan untuk mempermudah jalannya penelitian, seperti pengumpulan data, analisis dan penyusunan laporan. tahap persiapan ini meliputi:

- a. Studi Pustaka, dimaksudkan untuk mendapatkan arahan dan wawasan sehingga mempermudah dalam pengumpulan data, analisis data maupun dalam penyusunan hasil penelitian.
- b. Observasi Lapangan, dilakukan untuk mengetahui dimana lokasi atau tempat dilakukannya pengumpulan data yang diperlukan dalam penyusunan penelitian. Berikut merupakan kriteria umum penentuan lokasi bangunan utama dengan tipe bendung pada daerah penelitian:
 - Bendung akan dibangun di ruas Sungai Kalis yang stabil dengan lebar yang hampir sama dengan lebar normal sungai; dan karena sungai mengangkut terutama bongkah dan kerikil, maka bendung akan dibangun di ruas lurus sungai.
 - Sawah tertinggi yang akan diairi dan lokasinya sebagai acuan elevasi mercu.
 - Lokasi bendung harus sedemikian rupa sehingga trase saluran primer bisa dibuat sederhana dan ekonomis.

- Beda tinggi energi di atas bendung terhadap air hilir dibatasi sampai 7 m. Jika ditemukan tinggi terjunan lebih dari 7m dan keadaan geologi dasar sungai relatif tidak kuat sehingga perlu kolam olak dan maka perlu dibuat bendung tipe cascade yang mempunyai lebih dari satu kolam olak. Hal ini dimaksudkan agar energi terjunan dapat direduksi dalam dua kolam olak sehingga kolam olak sebelah hilir tidak terlalu berat meredam energi. Keadaan demikian akan mengakibatkan lantai peredam dan dasar sungai dihilir koperan (*end sill*) dapat lebih aman.
- Memperhatikan panjang dan tinggi tanggul banjir
- Lokasi bendung mudah dicapai.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data meliputi proses pengumpulan data yang terkait dalam perhitungan analisis stabilitas bendung, yaitu berupa data desain bendung, data teknis bendung dan data geomekanika tanah. Data tersebut merupakan data yang diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan.

3.3.2. Pengolahan Data

Setelah mendapatkan data yang diperlukan, langkah selanjutnya adalah mengolah data tersebut. Pada tahap mengolah atau menganalisis data dilakukan dengan menghitung data yang ada dengan rumus yang sesuai. Hasil dari suatu pengolahan data digunakan kembali sebagai data untuk menganalisis yang lainnya dan berlanjut seterusnya sampai mendapatkan hasil akhir tentang kinerja perencanaan bendung tersebut. Adapun urutan dalam analisis data dapat dilihat pada diagram alir (**Gambar 3.16**).

Analisis data yang dilakukan dibagi menjadi 3 (tiga) jenis analisis, yaitu analisis tanah di lapangan, analisis geomekanika tanah dan analisis stabilitas bendung.

3.3.2.1. Analisis Tanah di Lapangan

Menurut Hardiyatmo (2018), tanah adalah material terbentuk dari himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*)

yang terletak di atas batuan dasar (*bed rock*). Deposit tanah dapat terdiri atas butiran-butiran dengan berbagai jenis bentuk dan ukuran. Ikatan antara butiran tanah disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap diantara butiran-butiran.

Partikel tanah dapat dibagi menjadi 2 (dua) kelompok utama, yaitu butiran kasar dan butiran halus. Butiran kasar terdiri dari kerikil (*gravel*) dan pasir (*sand*), sedangkan butiran halus terdiri dari lanau (*silt*) dan lempung (*clay*). Penjelasan dari partikel tanah dapat diketahui sebagai berikut (Hardiyatmo, 2018):

1. Kerikil (*gravel*) adalah kepingan-kepingan dari batuan yang kadang-kadang juga mengandung partikel mineral kuarsa, feldspar dan mineral-mineral lain.
2. Pasir (*sand*) sebagian besar terdiri dari mineral kuarsa dan feldspar. Butiran dari mineral yang lain mungkin juga masih ada pada golongan ini.
3. Lanau (*silt*) sebagian besar merupakan fraksi mikroskopis (berukuran sangat kecil) dari tanah yang terdiri dari butiran-butiran kuarsa yang sangat halus, dan sejumlah partikel berbentuk lempengan-lempengan pipih yang merupakan pecahan dari mineral-mineral mika.
4. Lempung (*clay*) sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung (*clay minerals*) dan mineral-mineral yang sangat halus lain.

Pengambilan contoh tanah di lapangan untuk pengujian di laboratorium terdiri dari:

- a. Contoh tanah permukaan, diperlukan untuk tanah uji laboratorium yang menggunakan tanah permukaan sebagai contoh tanah terganggu.
- b. Contoh tanah dari pekerjaan bor
 - Contoh tanah tak terganggu (*undisturbed*), contoh tanah diambil untuk melindungi struktur asli tanah tersebut. Contoh tanah ini dibawa ke laboratorium dalam tempat tertutup, sehingga kadar airnya tidak berubah.
 - Contoh tanah terganggu (*disturbed*).

3.3.2.2 Analisis Geomekanika Tanah

Pada analisis geomekanika tanah ini terdiri dari beberapa analisis, yaitu analisis mekanis dari tanah, analisis batas-batas atterberg dan analisis kuat geser tanah langsung:

1. Analisis Mekanis dari Tanah

Analisis mekanis dari tanah adalah penentuan variasi ukuran partikel-partikel yang ada pada tanah. Variasi tersebut dinyatakan dalam persentase dari berat kering total. Ada dua cara yang umum digunakan untuk mendapatkan distribusi ukuran-ukuran partikel tanah, yaitu analisis ayakan dan analisis hidrometer. Analisis ayakan digunakan ukuran partikel-partikel berdiameter lebih besar dari 0.075 mm dan analisis hidrometer untuk ukuran partikel-partikel yang berdiameter lebih kecil dari 0.075 mm. Prinsip dasar dari analisis ayakan dan hidrometer akan diterangkan secara singkat pada uraian berikut ini (Das B.M, 1995).

a. Analisis Ayakan

Analisis ayakan adalah mengayak dan menggetarkan contoh tanah melalui satu set ayakan dimana lubang-lubang ayakan tersebut makin kecil secara berurutan (Das B.M, 1995). Analisis ayakan ini digunakan untuk tanah berbutir kasar yang ditentukan dengan cara menyaring tanah tersebut. Caranya yang digunakan oleh Hardiyatmo (2018) yaitu, tanah benda uji disaring lewat satu unit saringan standar. Berat tanah yang tinggal pada masing-masing saringan ditimbang, lalu persentase terhadap berat kumulatif tanah dihitung. Contoh nomor-nomor saringan dan diameter lubang dari standar Amerika dapat dilihat dalam **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Saringan Standar Amerika

Nomor Ayakan	Diameter (mm)	Nomor Ayakan	Diameter (mm)
3	6,35	50	0,300
4	4,75	60	0,25
6	3,35	80	0,18
8	2,36	100	0,15
10	2,00	140	0,106
16	1,18	170	0,088
20	0,85	200	0,075
30	0,60	270	0,053
40	0,425		

b. Analisis Hidrometer

Analisis hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butir-butir tanah dalam air. Bila suatu contoh tanah dilarutkan dalam air, partikel-partikel tanah akan mengendap dengan kecepatan yang berbeda-beda tergantung pada bentuk, ukuran, dan beratnya. Untuk mudahnya, dapat dianggap bahwa semua partikel tanah itu berbentuk bola (bulat) dan kecepatan mengendap dari partikel-partikel tersebut dapat dinyatakan dalam hukum Stokes (persamaan 1.1), yaitu:

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\eta} D^2$$

dimana,

v = kecepatan mengendap

γ_s = berat volume partikel tanah (gram/cm³)

γ_w = berat volume air (gram/cm³)

η = kekentalan air (detik/cm²)

D = diameter partikel tanah (mm)

Jadi dari persamaan (1.1), maka

$$D = \sqrt{\frac{18\eta v}{\gamma_s - \gamma_w}} = \sqrt{\frac{18\eta}{\gamma_s - \gamma_w}} \cdot \sqrt{\frac{L}{t}}$$

dimana,

L = jarak (cm)

t = waktu (menit)

Perhatikan bahwa,

$$\gamma_s = G_s \gamma_w$$

Dilihat dari satuan-satuan dari rumus-rumus di atas, maka didapatkan

$$\frac{D(mm)}{10} = \sqrt{\frac{18\eta (g \cdot det)/cm^2}{(G_s - 1)\gamma_w(g/cm^3)}} \cdot \sqrt{\frac{L(cm)}{t(men) \times 60}}$$

atau

$$D = \sqrt{\frac{30\eta}{(G_s - 1) \gamma_w}} \cdot \sqrt{\frac{L}{t}}$$

dengan menganggap γ_w kira-kira 1 gram/cm³, didapat:

$$D(mm) = K \sqrt{\frac{L (cm)}{t (men)}}$$

dimana,

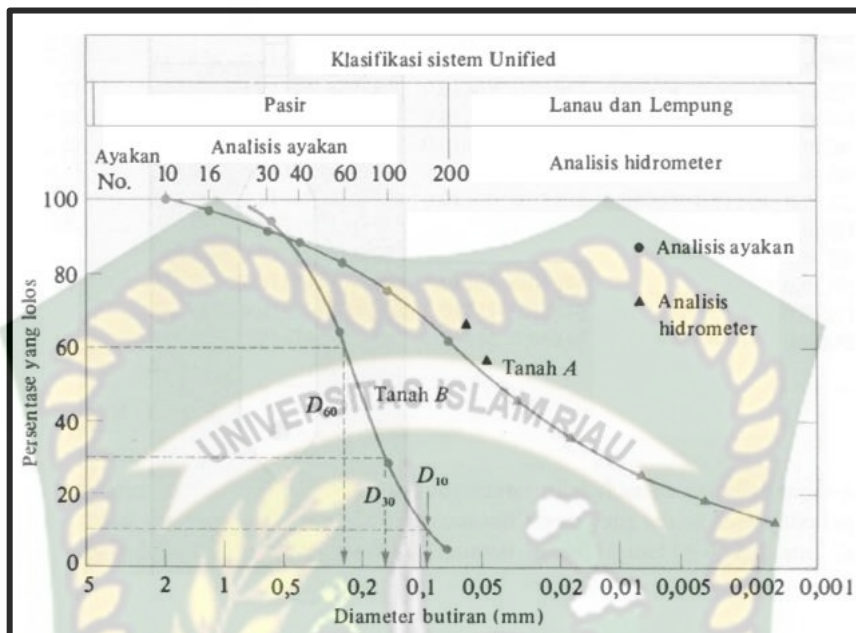
$$K = \sqrt{\frac{30\eta}{(G_s - 1)}}$$

Harus dicatat bahwa harga K merupakan fungsi dari G_s dan η , yang tergantung pada temperatur uji. Pada **Tabel 3.2** diberikan variasi harga K menurut temperatur uji dan harga berat jenis (G_s) dari butiran tanah. Tabel ini berdasarkan ASTM 1982.

Tabel 3.2 Harga-harga K dari ASTM (1982)

Suhu (°C)	2.45	2.5	2.55	2.6	2.65	2.7	2.75	2.8
16	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374
17	0.01511	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276
23	0.01404	0.01381	0.01374	0.01337	0.01317	0.01297	0.01297	0.01261
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01282	0.01246
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01267	0.01232
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01253	0.01218
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01239	0.01204
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01225	0.01191
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230	0.01212	0.01212	0.01178
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01199	0.01169

Hasil dari analisis mekanika (analisis ayakan dan hidrometer) umumnya digambarkan dalam semilogaritmik yang dikenal sebagai kurva distribusi ukuran butiran (*particle size distribution curve*). Diameter partikel (butiran) digambarkan dalam skala logaritmik, dan persentase dari butiran yang lolos ayakan digambarkan dalam skala hitung biasa. Sebagai contoh, grafik distribusi ukuran butiran dari dua tanah ditunjukkan dalam **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Kurva Distribusi Ukuran Butiran

c. Analisis Ukuran Golongan Tanah

Ukuran dari partikel tanah sangat beragam dengan variasi yang cukup besar. Tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*) atau lempung (*clay*), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut. Untuk menerangkan tentang tanah berdasarkan ukuran-ukuran partikelnya, beberapa organisasi telah mengembangkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah (*soil separate size limits*). Pada **Gambar 3.6** ditunjukkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah yang telah dikembangkan oleh *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), *U.S. Department of Agriculture* (USDA), *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), *U.S. Army Corps of Engineers* dan *U.S. Bureau of Reclamation* yang kemudian disebut sebagai *Unified Soil Classification System* (USCS). Pada Tabel tersebut, sistem MIT diberikan hanya untuk keterangan tambahan saja. Sistem MIT ini penting artinya dalam sejarah perkembangan sistem batasan ukuran golongan jenis tanah. Pada saat sekarang, sistem *Unified Soil Classification System* (USCS) telah diterima di seluruh dunia. Sistem ini sekarang telah dipakai pula oleh *American Society of Testing and Materials* (ASTM) (**Gambar 3.3**)

Kerikil	Pasir	Lanau	lempung	Massachusetts Institute of Technology
Kerikil	Pasir	Lanau	lempung	U.S. Department of Agriculture
Kerikil	Pasir	Lanau	lempung	American Association of State Highway and Transportation Officials
Kerikil	Pasir	Lanau dan lempung		Unified Soil Classification System

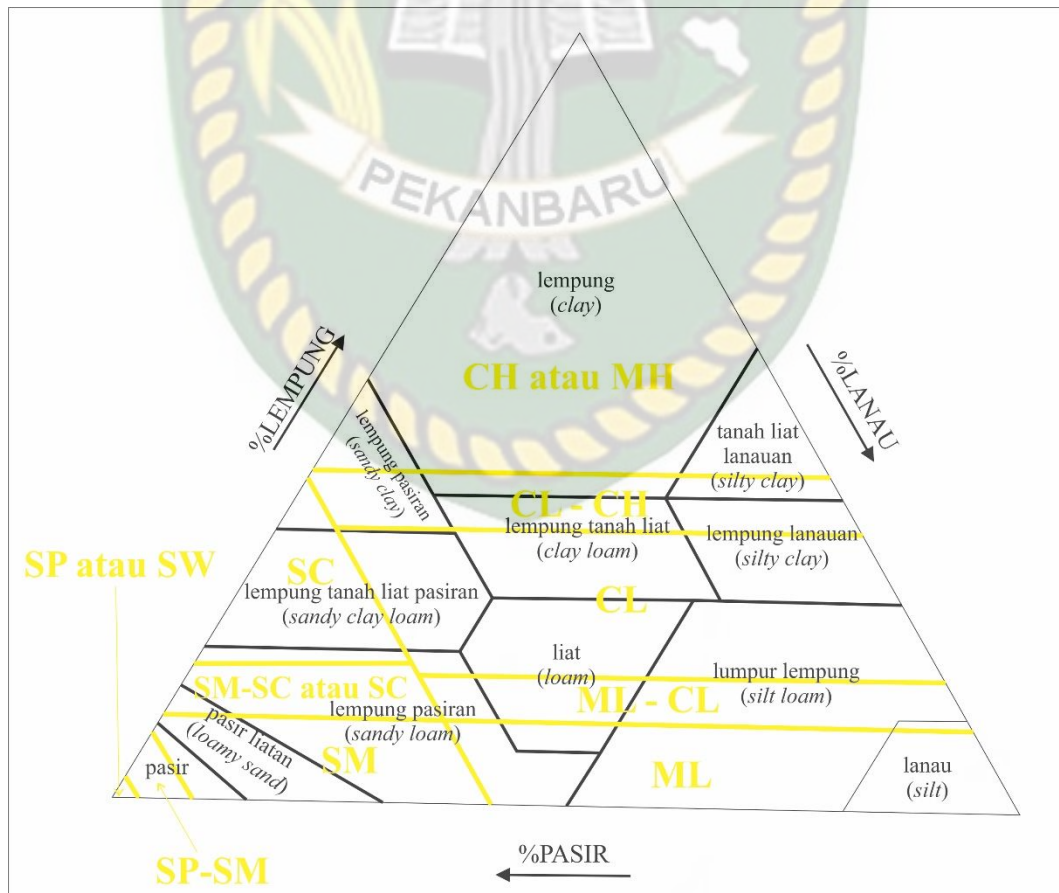
100 10 1,0 0,1 0,01 0,001

Ukuran butiran (mm).

Gambar 3.3 Batasan-batasan Ukuran Golongan Tanah Menurut Beberapa Sistem

d. Analisis Jenis Tanah

Untuk menentukan jenis tanah yang terdapat pada daerah penelitian, yaitu dengan cara melihat persentase ukuran butir dan kemudian dimasukkan ke dalam segitiga USCS (**Gambar 3.4**).



Gambar 3.4 Segitiga USCS

Pada gambar di atas diketahui bahwa penjelasan dari segitiga di atas adalah sebagai berikut (**Tabel 3.3**)

Tabel 3.3 Klasifikasi tanah (USCS)

Klasifikasi	Keterangan	Simbol	Penjelasan
Gradasi baik	Kerikil	GW	Kerikil bergradasi baik
	Pasir	SW	Pasir bergradasi baik
Gradasi buruk (ukuran seragam)	Kerikil	GP	Kerikil bergradasi buruk
	Pasir	SP	Pasir bergradasi buruk
Pasir yang dapat menodai tangan yang basah		SW-SM	Pasir bergradasi baik dengan lanau
		SW-SC	Pasir bergradasi baik dengan lumpur
		SP-SM	Pasir bergradasi buruk dengan lanau
		SP-SC	Pasir bergradasi buruk dengan lumpur
Tanah liat berpasir	Tidak lengket/tidak plastis	SM	Pasir berlumpur
	Lengket/plastis	SC	Pasir liat
Tanah berbutir halus	Rata-rata lempung NC	CL	Liat tipis
	Rata-rata lanau NC	ML	Lanau tipis
	Sangat padat/lengket/lempung plastis	CH	Liat tebal/padat
	Sangat padat/lengket/lanau plastis	MH	Lanau tebal/padat

e. Analisis Ukuran Efektif, Koefisien Keseragaman dan Koefisien Gradasi

Kurva distribusi ukuran butiran dapat digunakan untuk membandingkan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda. Selain itu ada tiga parameter dasar yang dapat ditentukan dari kurva tersebut, dan parameter-parameter tersebut dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tanah berbutir kasar. Parameter-parameter tersebut adalah (Das, 1995):

- ukuran efektif (*effective size*),
- koefisien keseragaman (*uniformity coefficient*),
- koefisien gradasi (*coefficient of gradation*).

Diameter dalam kurva distribusi ukuran-butiran yang bersesuaian dengan 10% yang lebih halus (lolos ayakan) didefinisikan sebagai ukuran efektif, atau D_{10} . Koefisien keseragaman diberikan dengan hubungan:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

dimana

Cu = koefisien keseragaman

D_{60} = diameter yang bersesuaian dengan 60% lolos ayakan yang ditentukan dari kurva distribusi ukuran butiran

D_{10} = diameter yang bersesuaian dengan 10% lolos ayakan yang ditentukan dari kurva distribusi ukuran butiran

Selanjutnya, koefisien gradasi dinyatakan sebagai berikut.

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

dimana

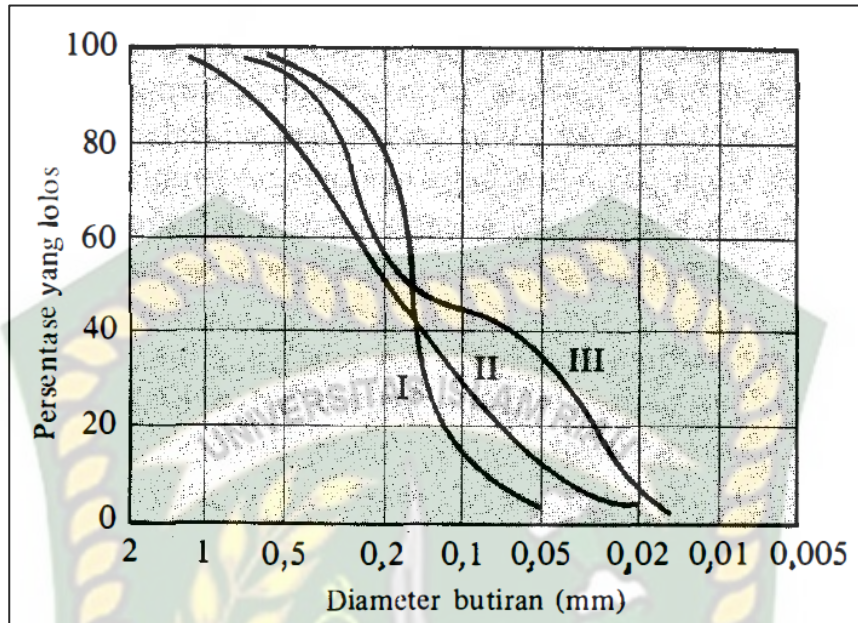
Cc = koefisien gradasi

D_{30} = diameter yang bersesuaian dengan 30% lolos ayakan yang ditentukan dari kurva distribusi ukuran butiran

D_{60} = diameter yang bersesuaian dengan 60% lolos ayakan yang ditentukan dari kurva distribusi ukuran butiran

D_{10} = diameter yang bersesuaian dengan 10% lolos ayakan yang ditentukan dari kurva distribusi ukuran butiran

Di bawah ini merupakan kurva analisis distribusi ukuran butiran. Kurva ini didapatkan dari uji ayakan.



Gambar 3.5 Macam-macam Tipe Kurva Distribusi Ukuran Butiran

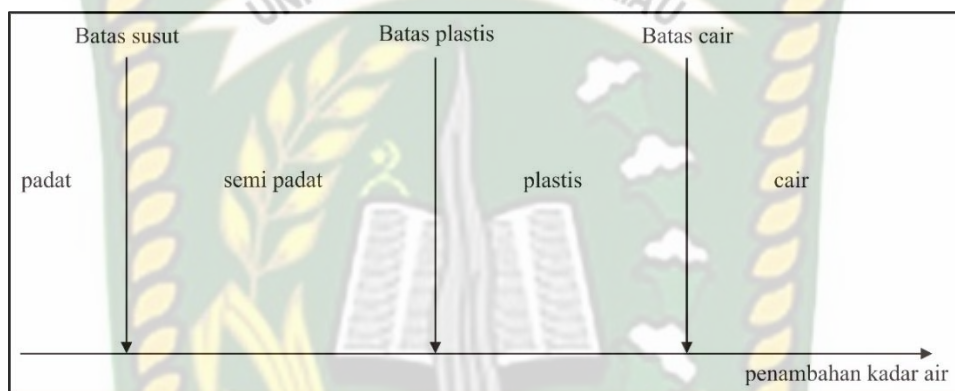
Kurva distribusi ukuran butiran tidak hanya menunjukkan rentang (*range*) dari ukuran butir yang dikandung di dalam tanah saja, tetapi juga menunjukkan tipe dari kurva distribusi ukuran butiran tersebut. Hal ini ditunjukkan dalam **Gambar 3.5**. Kurva I mewakili suatu tipe tanah dimana sebagian besar dari butirannya mempunyai ukuran yang sama dinamakan tanah bergradasi buruk (*poorly graded soil*). Kurva II mewakili tanah dimana ukuran butirannya terbagi merata di dalam rentang yang lebar dan dinamakan tanah bergradasi baik (*well graded*). Tanah bergradasi baik akan mempunyai koefisien keseragaman (C_u) lebih besar dari 4 untuk kerikil dan 6 untuk pasir, dan koefisien gradasi (C_c) antara 1 dan 3 (untuk kerikil dan pasir). Tanah disebut bergradasi sangat baik bila $C_u > 15$. Suatu tanah mungkin mempunyai kombinasi dari dua atau lebih fraksi dengan gradasi yang sama. Jenis tanah tersebut diwakili oleh kurva III yang dinamakan tanah bergradasi senjang (*gap graded*).

2. Analisis Batas-batas Atterberg

Das (1985) berpendapat bahwa kadar air dinyatakan dalam persen, dimana terjadi transisi dari keadaan padat ke keadaan semi-padat yang didefinisikan sebagai batas susut (*shrinkage limit*). Kadar air di mana transisi dari keadaan semi-

padat ke keadaanplastis terjadi dinamakan batas plastis (*plastic limit*), dan dari keadaan plastis kekeadaan cair dinamakan batas cair (*liquid limit*). Batas – batas ini dikenal jugasebagai batas – batas Atterberg (*Atterberg limits*).

Atterberg (1911), memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah. Batas-bata tersebut adalah batas susut (*shrinkage limit*), batas platis (*plastic limit*) dan batas cair (*liquid limit*). Kedudukan batas-batas konsistensi untuk tanah kohesif ditunjukkan dalam **Gambar 3.6**.



Gambar 3.6 Batas-Batas Atterberg

a. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut (*shrinkage limit*) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanahnya (Hardiyatmo, 1992). Pengujian batas susut di laboratorium pada kadar air batas, dimana jika tanah dikeringkan tidak susut lagi dan tanah tidak kenyang air. Disini yang dicari adalah kadar air yang menyebabkan tanah dengan volume terkecil V_o menjadi kenyang air. Pada percobaan ini alat yang digunakan adalah porselin dengan diameter 44,4 mm dan tinggi 12,7 mm. Alat tersebut diisi dengan tanah lalu dikeringkan dengan menggunakan oven (Das B.M, 1995).

$$SL = (w_i - \Delta w)\%$$

w_i = kadar air mula-mula sebelum dioven

Δw = perubahan kadar air setelah dioven

$$w_i = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100\%$$

$$\Delta w = \frac{(V_i - V_f)\rho_w}{m_2} \times 100\%$$

dimana,

m_1 = massa tanah basah

m_2 = massa tanah kering

V_i = volume tanah awal

V_f = volume tanah kering

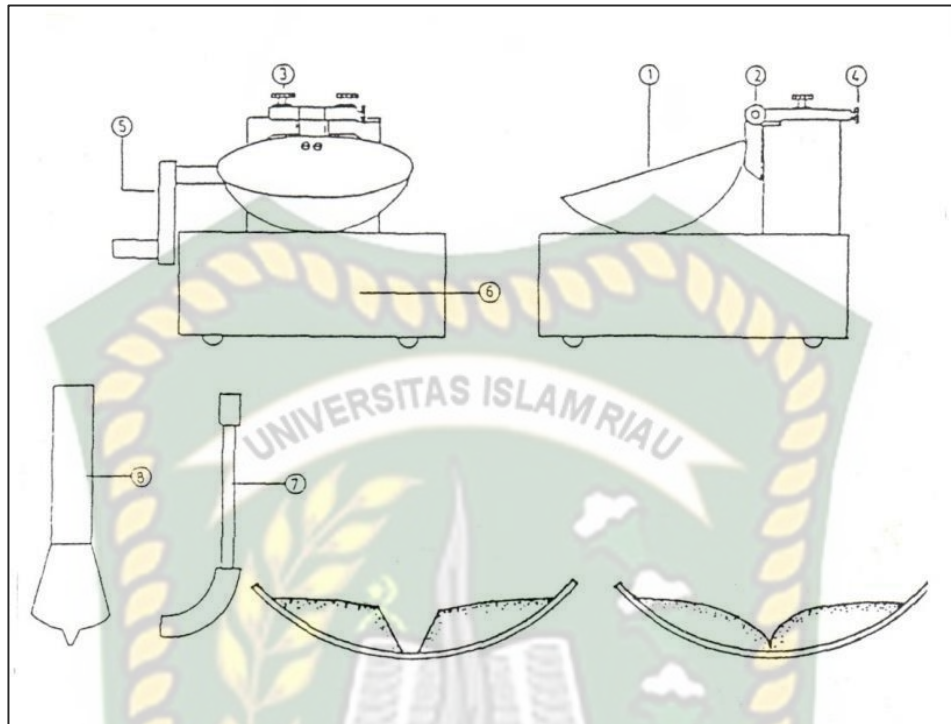
ρ_w = kerapatan air gr/cm³

Sehingga,

$$SL = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_2} \right) \times 100\% - \left(\frac{(V_i - V_f)\rho_w}{m_2} \right) \times 100\%$$

b. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (*liquid limit*) didefinisikan sebagai kadar airtanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis (Hardiyatmo, 2018). Untuk menentukan batas cair di laboratorium, alat yang digunakan adalah mangkuk kuning (*cassagrande*). Sampel tanah diaduk rata dengan air dalam mangkuk, kemudian pada bagian tengah di barut dengan coret sehingga menjadi dua bagian dengan alur selebar 2 mm. Engkol diputar maka mangkuk terangkat 1 cm dan jatuh bebas pada landasan. Pemutaran dilakukan berulang kali sehingga bagian tanah dalam mangkuk tertaut. Semakin kurang “cair” akan memerlukan jumlah pukulan yang semakin banyak. Setelah bagian tanah tertaut, dicatat jumlah pukulan dan diperiksa kadar airnya. Tanah dalam keadaan batas cair diperlukan kurang lebih 25 kali pukulan (Das B.M, 1995).



Gambar 3.7 Alat Cassagrande

c. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (*plastic limit*) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter 3,2 mm mulai retak-retak ketika di gulung (Hardiyatmo, 2018). Penentuan batas plastis di laboratorium, yaitu tanah digulung sampai diameter 3 mm mulai timbul retak, maka kondisi semacam ini dianggap sebagai batas plastis. Mulanya tanah basah 20 – 30 gram dibentuk menjadi bola dan digiling-giling di atas kaca dengan telapak tangan sehingga menjadi silinder dengan diameter kurang lebih 3 mm. Bila tanah menjadi batangan-batangan berdiameter 3 mm belum retak-retak maka kondisinya masih plastis. Maka pekerjaan ini perlu diulang lagi sampai didapat batangan berdiameter 3 mm dengan terdapat retak-retak (batas plastis). Kemudian batang yang retak tersebut dicari kadar airnya. Sehingga didapat kadar air pada batas plastis (WP) (Das B.M, 1995).



Gambar 3.8 Gulungan Tanah pada Uji Batas Plastis (Das B.M, 1995)

3. Analisis Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh kohesi dan gesekan. Kohesi tanah tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser, sedangkan gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya (Hardiyatmo, 2018). Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis-analisis kapasitas dukung tanah, stabilitas lereng dan gaya dorong pada dinding penahan. Menurut teori Mohr (1910), kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Coulomb (1776) mendefinisikan $f(\sigma)$ sebagai :

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi$$

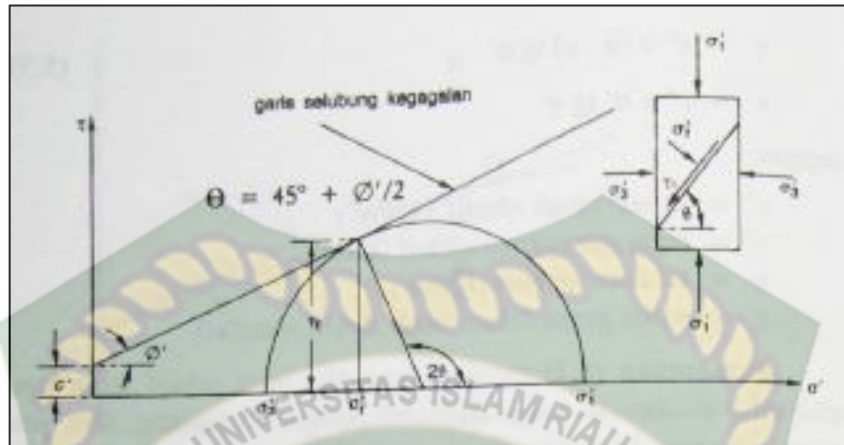
dengan,

τ = kuat geser tanah (kN/m^2)

c = kohesi tanah (kN/m^2)

φ = sudut gesek dalam tanah atau sudut gesek intern ($^\circ$)

σ = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2)



Gambar 3.9 Lingkaran Mohr

Analisis ini bertujuan untuk menentukan besarnya parameter kuat geser tanah, yaitu sudut geser dalam (ϕ) dan kohesi (c) dengan alat uji geser langsung pada kondisi *consolidated drained*.

3.2.2.3 Analisis Stabilitas Bendung

Menurut Bowles (1986), cara untuk melakukan stabilitas dapat terdiri dari salah satu tindakan berikut:

- 1) Menambah kerapatan tanah.
- 2) Menambah material yang tidak aktif sehingga mempertinggi kohesi atau tahanan geser.
- 3) Menambah material untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisik dari material tanah.
- 4) Menurunkan muka airtanah.
- 5) Mengganti tanah-tanah yang buruk.

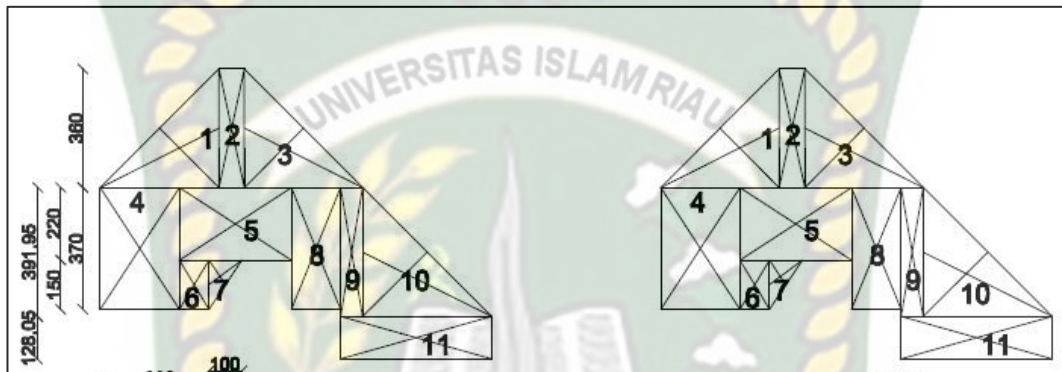
Stabilitas bendung dilihat dari gaya-gaya yang bekerja dan kebutuhan stabilitas.

1. Gaya – Gaya yang Bekerja

Gaya-gaya yang bekerja pada bangunan bendung sangat penting dalam perencanaan. Berikut merupakan gaya-gaya yang bekerja pada bendung.

a. Gaya Berat Sendiri

Gaya berat ini dihitung dengan arah vertikal ke bawah yang garis kerjanya melewati titik berat konstruksi. Agar memudahkan perhitungan, maka tubuh bendung dibagi menjadi beberapa bagian. Data yang dibutuhkan berupa bahan yang akan digunakan untuk membuat tubuh bendung. Dari bahan inilah nantinya akan diketahui berat jenis struktur bendung tersebut. (Firnanda A, 2016) (**Gambar 3.10**).



Gambar 3.10 Gaya Berat Sendiri Tubuh Bendung yang Dibagi Menjadi Beberapa Bagian

Berat bangunan bergantung kepada bahan yang digunakan untuk membangun bangunan itu. Tujuan-tujuan perencanaan pendahuluan boleh menggunakan harga-hargaberat volume di bawah ini (Dinas Pekerjaan Umum SDA, 2013).

- Pasangan batu = 22 kN/m^3 ($\approx 2.200 \text{ kgf/m}^3$).
- Beton tumbuk = 23 kN/m^3 ($\approx 2.300 \text{ kgf/m}^3$).
- Beton bertulang = 24 kN/m^3 ($\approx 2.400 \text{ kgf/m}^3$).

Berat volume beton tumbuk tergantung kepada berat volume agregat serta ukuran maksimum kerikil yang digunakan. Untuk ukuran maksimum agregat 150 mm dengan berat volume 2,65 berat volumenya lebih dari 24 kN/m^3 ($\approx 2.400 \text{ kgf/m}^3$).

b. Gaya Gempa Bumi

Gaya gempa ini dihitung dengan arah horizontal yang garis kerjanya melewati titik berat konstruksi. Agar memudahkan perhitungan maka tubuh bendung dibagi menjadi beberapa bagian. Data yang dibutuhkan berupa peta gempa, koefisien gempa, berat bendung, percepatan gempa, koefisien untuk jenis

tanah, percepatan kejut dasar, koefisien gravitasi, dan koefisien zona. (Firnanda A, 2016).

Harga-harga gaya gempa diberikan dalam bagian Parameter Bangunan. Harga – harga tersebut didasarkan pada Peta Indonesia yang menunjukkan berbagai daerah dan resiko. Faktor minimum yang akan dipertimbangkan adalah 0,1 g perapatan gravitasi sebagai harga percepatan. Faktor ini hendaknya dipertimbangkan dengan cara mengalikannya dengan massa bangunan sebagai gaya horisontal menuju ke arah yang paling tidak aman, yakni arah hilir (Dinas Pekerjaan Umum SDA, 2013).

Untuk daerah-daerah yang banyak gunung berapi seperti di Indonesia, maka gaya gempa harus diperhitungkan terhadap konstruksi. Gaya gempa sebesar,

$$E = Wbs. \alpha$$

dimana,

α = koefisien gempa

Wbs = berat konstruksi

E = gaya gempa bumi

Gaya gempa ini berarah horizontal, ke arah yang berbahaya (yang merugikan), dengan garis kerja yang melewati titik berat konstruksi. Sudah tentu juga ada komponen vertikal, tetapi ini relatif tidak berbahaya dibandingkan dengan komponen horizontal. Harga f tergantung dari lokasi tempat konstruksi sesuai dengan peta zona gempa.

c. Gaya Hidrostatik atau Tekanan Air

Gaya hidrostatik disebabkan oleh gaya tekan air yang menggenangi tubuh bendung sehingga menimbulkan gaya tekan air dari arah horisontal dan arah vertikal ke bawah. Gaya ini dibagi dalam 2 (dua) kondisi muka air, yaitu kondisi air normal dan kondisi air banjir. Data yang dibutuhkan berupa debit banjir, proporsi dimana tekanan hidrostatik bekerja, berat jenis air, kedalaman air hilir, proporsi tekanan, kedalaman air hulu, dan luas dasar (Firnanda A, 2016).

Sebagaimana akan tercantum dalam syarat-syarat stabilitas nanti, maa harus ditinjau pada waktu air normal dan pada waktu air banjir (air di muka setinggi mercu dan di belakang kosong).

Di samping itu ditinjau pula terhadap pengaliran dimana mercu tidak tenggelam dan mercu tenggelam.

1) Mercu tidak tenggelam atau kondisi air normal

Rumus-rumus perhitungan pada kondisi ini adalah sebagai berikut:

$$W_1 = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot a \cdot h$$

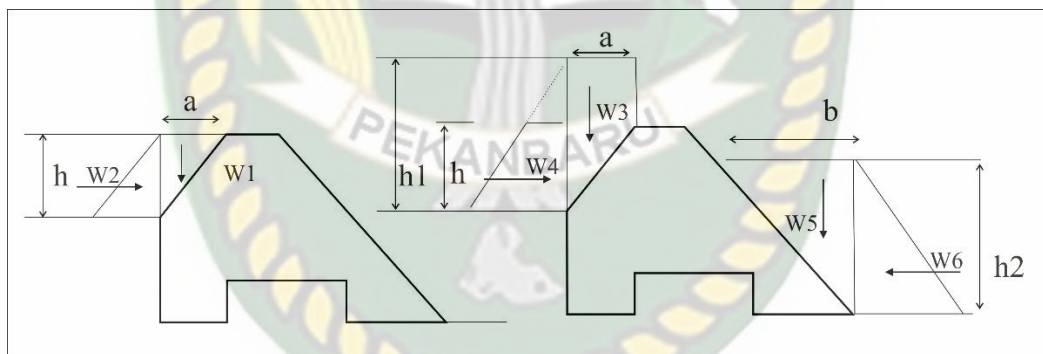
$$W_2 = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2$$

$$W_3 = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot a(2h_1 - h)$$

$$W_4 = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h(2h_1 - h)$$

$$W_5 = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot b \cdot h_2$$

$$W_6 = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h_2$$

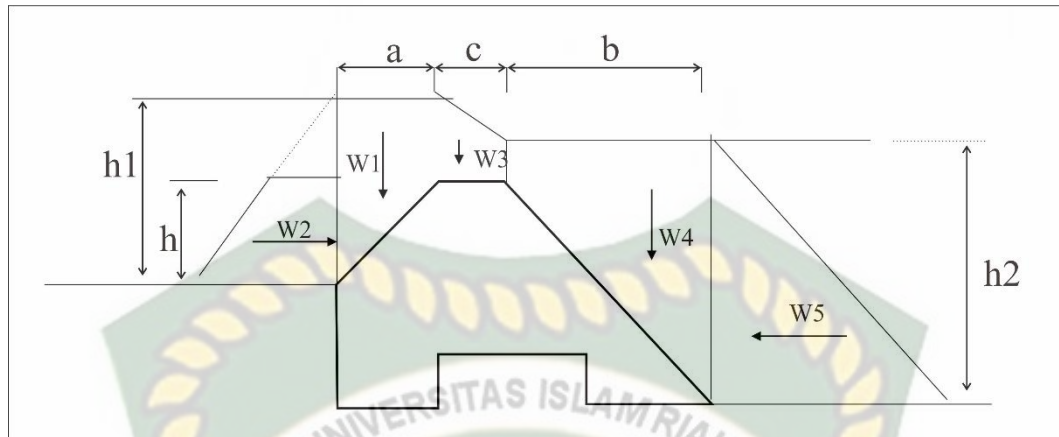


Gambar 3.11 Gaya hidrostatik kondisi air normal dan banjir

Untuk mercu tidak tenggelam pada saat air banjir sebenarnya ada lapisan air yang mengalir di atas mercu, tetapi karena lapisan ini biasanya tidak tebal, dan di samping itu kecepatannya besar, maka untuk keamanan lapisan ini tidak diperhitungkan. Lain halnya untuk mercu tenggelam yang lapisannya lebih tebal.

2) Mercu tenggelam atau kondisi air banjir

Pada saat air banjir keadaannya adalah sebagai berikut (**Gambar 3.12**)



Gambar 3.12 Gaya hidrostatik kondisi air banjir

Berikut merupakan rumus-rumus perhitungan gaya hidrostatik pada kondisi air banjir:

$$W_1 = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot a (2h_1 - h)$$

$$W_2 = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h (2h_1 - h)$$

$$W_3 = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot c (h_1 - h + d)$$

$$W_4 = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot b (h_2 + d)$$

$$W_5 = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h_2^2$$

d. Gaya Akibat Lumpur

Tekanan lumpur adalah endapan lumpur yang dibawa aliran air yang kemudian mengendap di muka bendung menimbulkan tekanan lumpur dari arah horizontal dan dari arah vertikal ke bawah (Ihsan F.A dkk, 2017).

Endapan lumpur yang dibawa aliran air yang kemudian mengendap di muka bendung menimbulkan tekanan lumpur dari arah horizontal dan dari arah vertikal ke bawah. Data yang dibutuhkan berupa berat jenis lumpur, kedalaman lumpur, berat volume butir, sudut gesekan dan berat volume kering tanah (Firnanda A, 2016). Tekanan lumpur yang bekerja terhadap muka hulu bendung atau terhadap pintu dapat dihitung sebagai berikut (Dinas Pekerjaan Umum SDA, 2013).

$$P_s = \frac{\gamma_s \cdot a \cdot t}{2} \cdot \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} (1)$$

dimana:

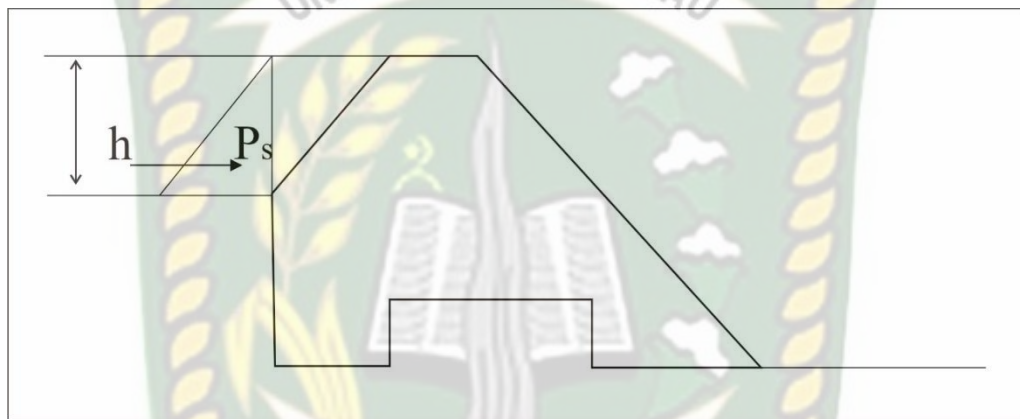
P_s = gaya yang terletak pada 2/3 kedalaman dari atas lumpur yang bekerja secara horizontal.

γ_s = berat lumpur (ton/m³)

h = kedalaman lumpur (m)

θ = sudut gesekan dalam (°)

Apabila bendung sudah bereksplotasi, maka akan tertimbun endapan di depan bendung. Endapan ini di perhitungkan sebagian setinggi mercu.



Gambar 3.13 Tekanan lumpur

$$P_s = 1/2 \cdot \gamma_s \cdot h^2 \left(\frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \right) \dots\dots\dots(3.1)$$

dimana,

γ_s = berat dasar lumpur (biasanya diambil 1,6)

φ = sudut geser dalam dari lanau (*repose angle*)

Untuk lanau diambil $\varphi = 30^\circ$.

$$\left(\frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \right) = \left(\frac{1 - \sin 30}{1 + \sin 30} \right) \left(\frac{1 - 0,5}{1 + 0,5} \right) = \frac{1}{3}$$

sehingga

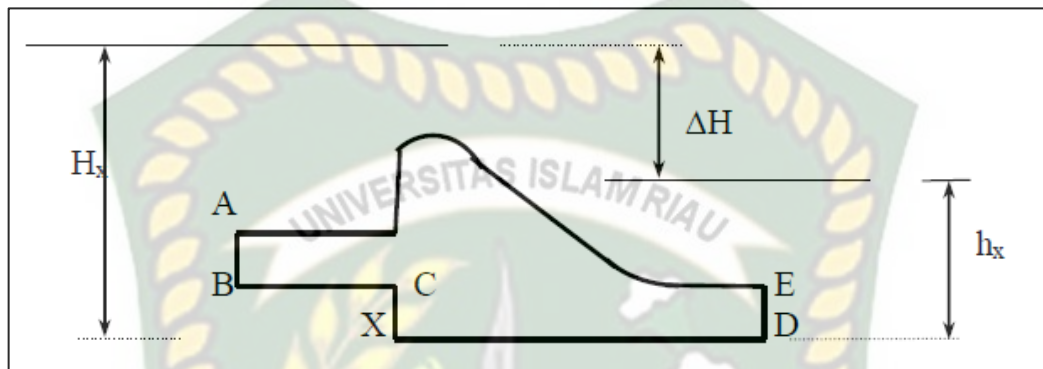
$$P_s = 1/6 \cdot \gamma_s \cdot h^2$$

e. Gaya Akibat Tekan Ke Atas (*Uplift – Pressure*)

Bangunan bendung mendapat tekanan air bukan hanya pada permukaan luarnya, tetapi juga pada dasarnya dan dalam tubuh bangunan itu. Gaya tekan ke

atas, yakni istilah umum untuk tekanan air dalam yang menyebabkan berkurangnya berat efektif bangunan di atasnya.

Untuk ini harus dicari tekanan pada tiap-tiap titik sudut, baru kemudian bisa dicari besarnya gaya yang bekerja pada tiap-tiap bidang.



Gambar 3.14 Tekanan pada setiap titik sudut

Secara umum besarnya tekanan pada titik X adalah:

$$U_x = \Delta H - \frac{l_x}{\sum L} \Delta H + h_x = \Delta H + h_x - \frac{l_x}{\sum L} \Delta H \quad \text{.....(3.2)}$$

$$U_x = H_x - \frac{l_x}{\sum L} \Delta H \quad \text{.....(3.3)}$$

dimana,

U_x = tekanan atas (*uplift pressure*) titik X

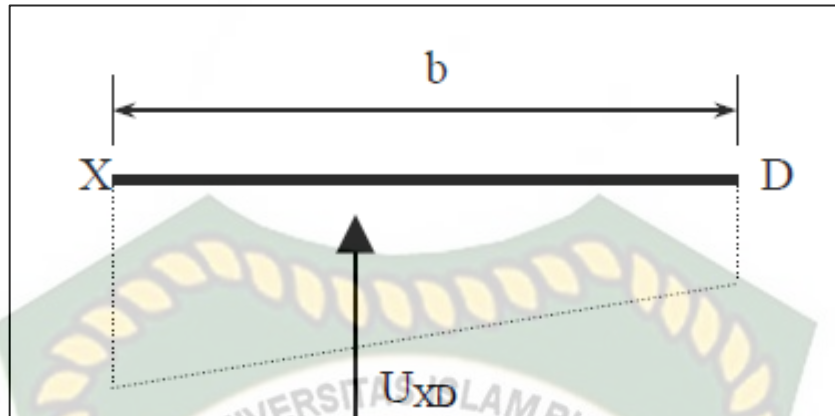
H_x = tingginya titik X terhadap air d muka

X = panjangnya *creep line* samping ke titik X (ABCX)

L = jumlah panjang *creep line* (ABCXDE)

H = beda tekanan

Dengan demikian maka besarnya tekanan tiap-tiap titik akan dapat diketahui. Dilihat dari rumus di atas maka teoritis tekanan ke atas (*uplift pressure*) kemungkinan dapat bernilai positif maupun negatif. Dalam hal ini tekanan negatif kenyataannya tidak akan terjadi oleh karena adanya liang-liak renik diantara butir-butir tanah, sehingga akan berhubungan dengan atmosfir. Jadi untuk tekanan negatif ini besarnya dianggap 0 (nol).



Gambar 3.15 Tekanan ke atas (*uplift pressure*)

Gaya ke atas (*uplift*) di bidang XD adalah

$$U_{XD} = \frac{1}{2} \cdot b(U_X + U_d) \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

dan bekerja pada titik berat trapesium. Untuk tanah dasar yang baik disertai dengan *drain* yang baik pula maka gaya ke atas (*uplift*) dapat dianggap bekerja 67% nya. Jadi bekerja tekanan ke atas (*uplift pressure*) antara 67% – 100%.

Persamaan gaya tekan ke atas (Up Lift - Pressure) untuk bangunan yang didirikan pada pondasi batuan menggunakan persamaan Lane adalah :

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

dimana,

P_x = Gaya angkat pada titik x (Kg/m^2)

ΔH = Beda tinggi energi (m)

H_x = Tinggi titik x terhadap air di muka (m)

L = Panjang total bidang kontak (Creep Line) bendung (m)

L_x = Panjang Creep Line sampai titik x (m)

Dengan rumus di atas maka besarnya tekanan tiap-tiap titik akan dapat diketahui.

Dilihat dari rumus di atas maka secara teoritis up lift-pressure kemungkinan ada yang akan bernilai negatif. ikarenakan tekanan bernilai negatif kenyataannya tidak akan terjadi, maka tekanan negatif ini besarnya dianggap nol.

2. Kontrol Stabilitas

Kontrol stabilitas adalah syarat yang harus dipenuhi agar kondisi bendung stabil dan aman. Kontrol yang dilakukan adalah dengan cara membandingkan dengan faktor keamanan (Firnanda A, 2016). Ada 4 (empat) penyebab runtuhnya bangunan gravitasi yang dilihat dari 2 (dua) kondisi, yaitu kondisi air normal dan kondisi air banjir. Penyebab runtuhnya bangunan gravitasi itu adalah :

a. Kontrol Terhadap Guling

Suatu konstruksi tidak boleh terguling akibat dari gaya-gaya yang bekerja, maka momen tahanan (MT) harus lebih besar dari momen guling (MG) (Firnanda A, 2016). Persamaan yang digunakan, yaitu (Soedibyo, 2003) :

- Keadaan Normal

$$Sf = \frac{\sum MT}{\sum MG} \geq 1,5$$

- Keadaan Gempa

$$Sf = \frac{\sum MT}{\sum MG} \geq 1,3$$

dimana:

Sf = faktor keamanan

$\sum MT$ = besar momen vertikal atau momen tahanan (kN.m)

$\sum MG$ = besar momen horisontal atau momen guling (kN.m)

Bangunan akan aman terhadap guling, apabila semua gaya yang bekerja pada bagian bangunan di atas bidang horisontal, termasuk gaya angkat, harus memotong bidang guling dan tidak boleh ada tarikan pada bidang irisan manapun, tiap bagian bangunan diandaikan berdiri sendiri dan tidak mungkin ada distribusi gaya-gaya melalui momen lentur. Bahaya guling (*overturning*) ini ditinjau di dalam bendung, pada dasar (*base*) dan pada bidang di bawah dasar (Firnanda A, 2016).

b. Kontrol Terhadap Geser

Suatu konstruksi bendung tidak boleh bergeser akibat gaya-gaya yang bekerja, mala jumlah gaya vertikal harus lebih besar dibandingkan dengan jumlah gaya horizontal (Firnanda A, 2016). Persamaan yang digunakan, yaitu (Hinds Creager Justin, 1961) :

- Keadaan Normal

$$Sf = \frac{\sum V}{\sum H} \geq 1,5$$

- Keadaan Gempa

$$Sf = \frac{\sum V}{\sum H} \geq 1,3$$

dimana:

Sf = faktor keamanan

$\sum V$ = besar total gaya vertikal (kN)

$\sum H$ = besar total gaya horisontal (kN)

Bendung dinyatakan stabil terhadap bahaya geser apabila hasil perbandingan antara jumlah gaya vertikal dikalikan sudut geser tanah dengan jumlah gaya-gaya horisontal harus lebih besar dari nilai keamanan yang ditentukan. Bahaya geser/gelincir (*sliding*) ini ditinjau di:

- Sepanjang sendi horisontal atau hampir horisontal di atas pondasi.
- Sepanjang pondasi.
- Sepanjang kampuh horisontal atau hampir horisontal dalam pondasi.

c. Kontrol Terhadap Tarikan (*Eccentricity*)

Tanah tidak dapat menahan gaya Tarik, maka bila dari hitungan secara teoritis akan terjadi tegangan tarik, tegangan tarik tersebut diabaikan. Untuk menghindari perbedaan penurunan yang besar dan agar lebih ekonomis, maka diusahakan agar seluruh dasar dinding hanya menerima tegangan tekan saja. Untuk mencapai hal itu, maka titik tangkap gaya resultan pada dasar pondasi harus selalu

diusahakan agar terletak didalam didalam bidang inti (kern) dengan rumus dapat dituliskan sebagai berikut :

$$e \leq \frac{B}{6}$$

dengan,

$$e = \frac{B}{2} - a$$

nilai a dapat dicari dengan rumus

$$a = \frac{\sum MT - \sum MG}{\sum H}$$

dimana,

e = eksentrisitas (m)

B = lebar dasar (m)

MT = momen tahanan

MG = momen guling

H = gaya horizontal

d. Kontrol Terhadap Daya Dukung Tanah

Besarnya daya dukung tanah dipengaruhi oleh dalamnya pondasi, lebar pondasi, berat isi tanah, sudut geser dalam dan kohesi dari tanah. Sehingga daya dukung tanah dapat diperoleh dengan rumus:

$$\sigma = \frac{\sum V}{B} \times \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) < \sigma_{ijin}$$

dimana,

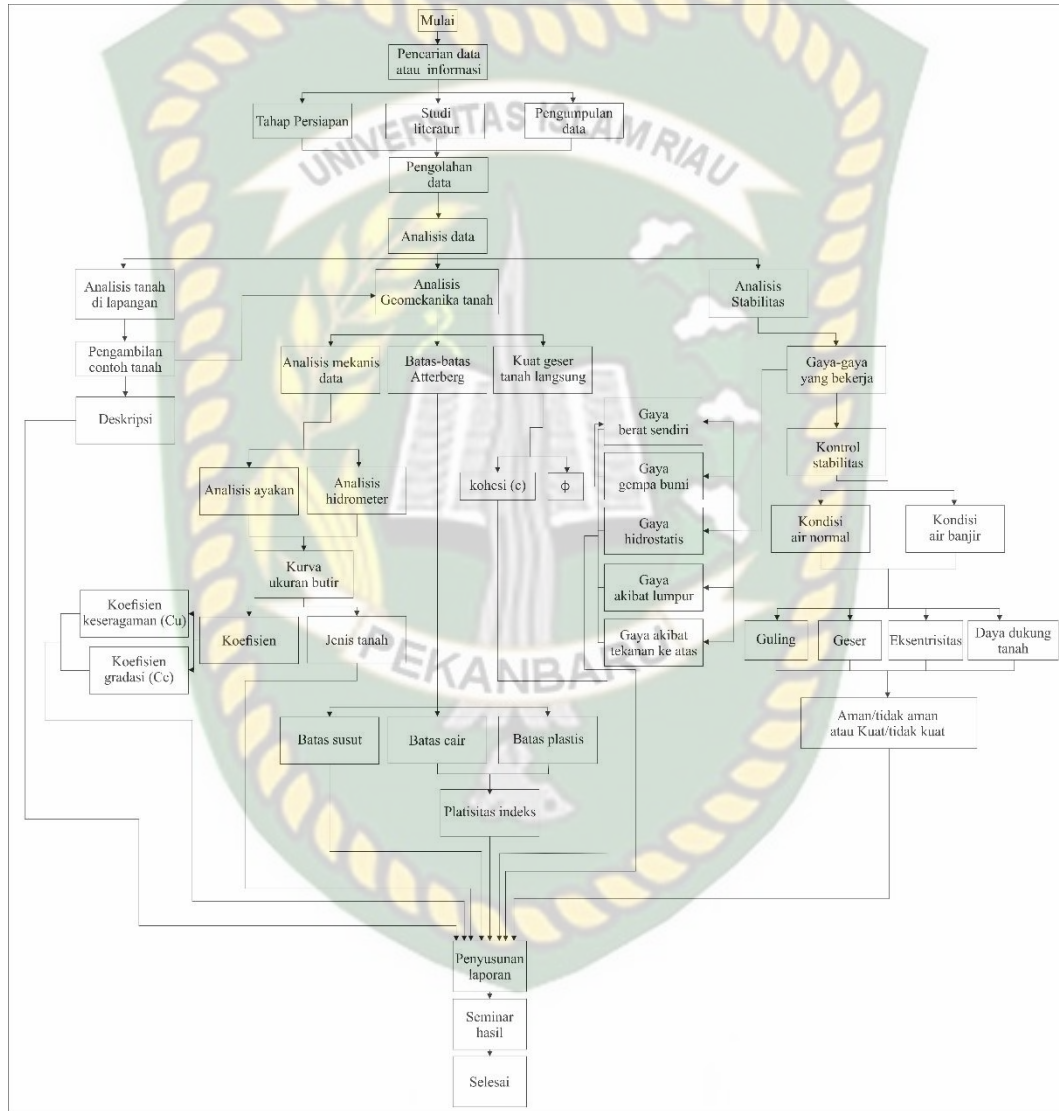
$\sum V$ = jumlah gaya vertikal

e = eksentrisitas

σ = tegangan tanah

3.3.3. Penyusunan Laporan

Seluruh data yang telah terkumpul kemudian diolah atau dianalisis dan disusun untuk mendapatkan hasil akhir dari tinjauan analisis ketahanan tanah terhadap stabilitas bendung.



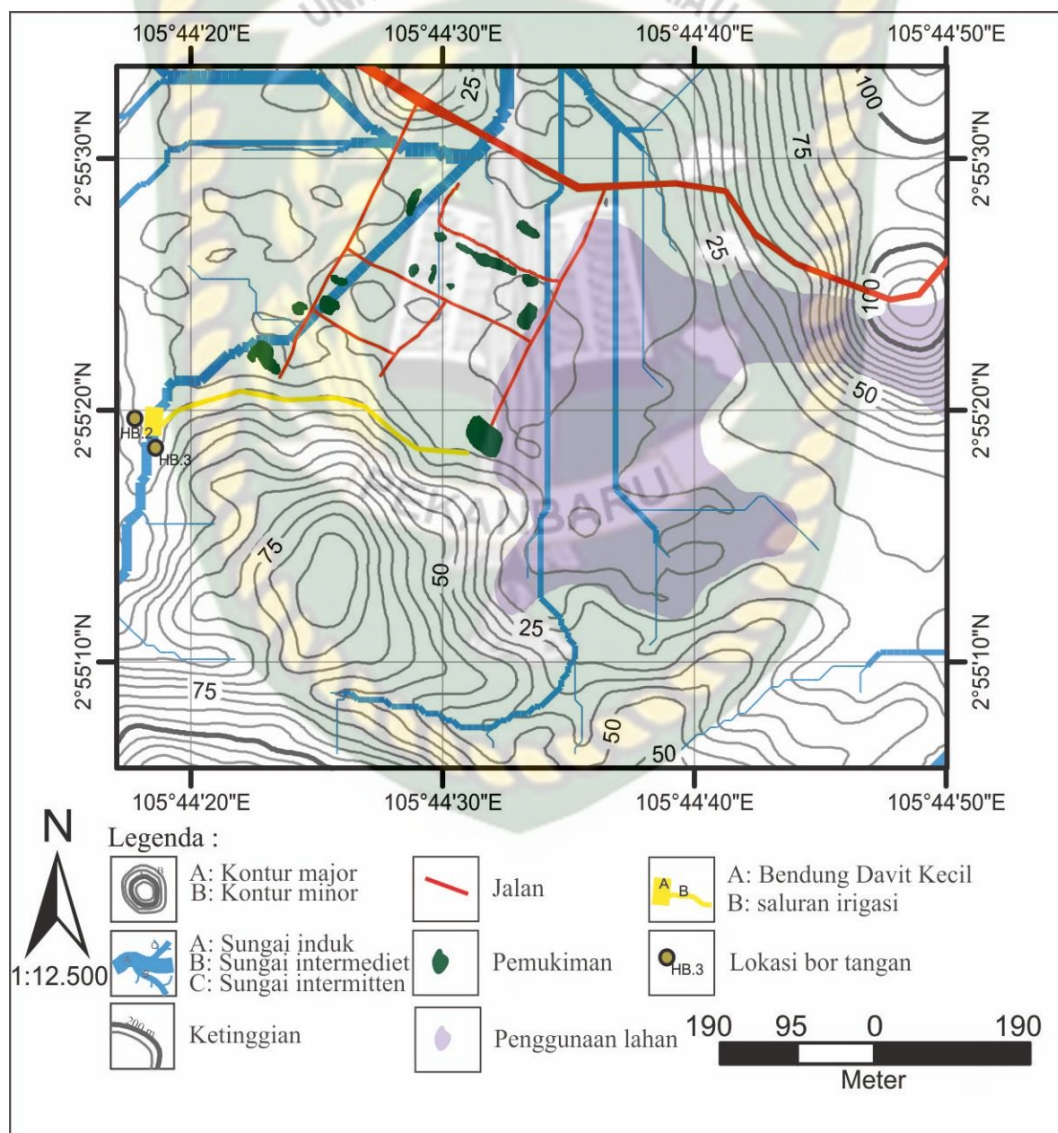
Gambar 3.16 Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Tanah di Lapangan

Awal mula analisis ini menggunakan bor tangan (*hand bore*) yang dilakukan pada 2 (dua) titik. Ini berguna untuk mengambil contoh tanah sehingga bisa mengetahui sifat dan jenis tanah di bawah permukaan. Lokasi titik bor tangan tersebut dapat dilihat pada peta topografi di bawah ini.



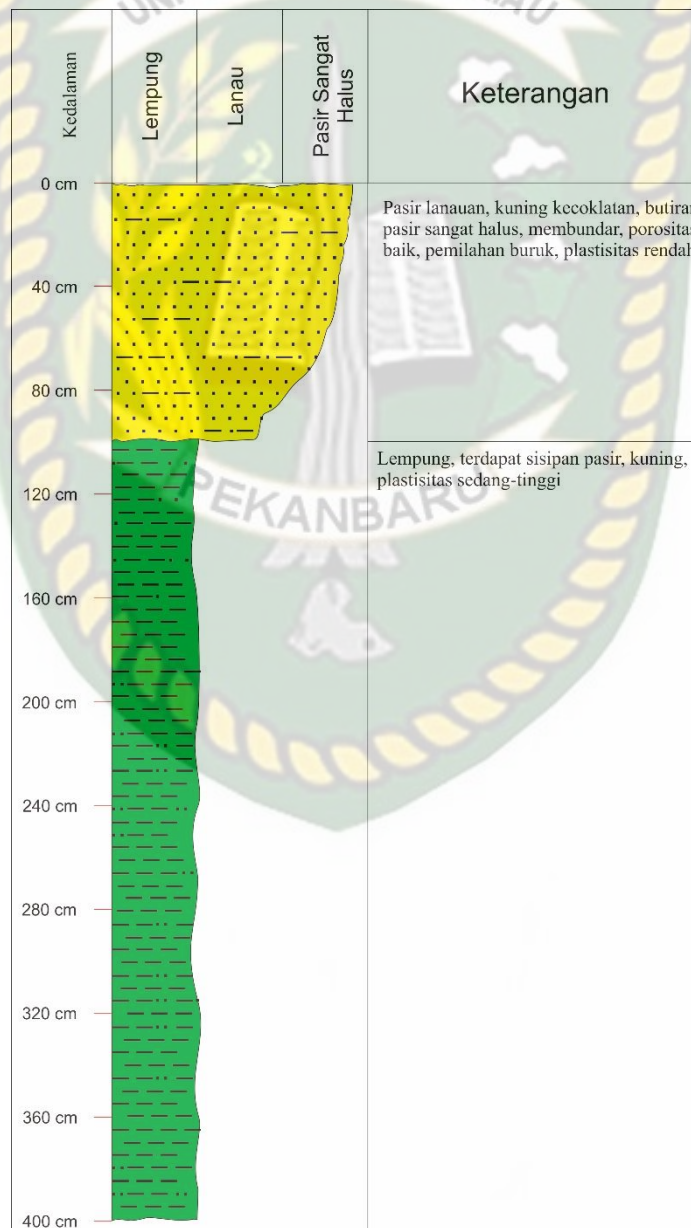
Gambar 4.1 Peta Topografi Lokasi Titik Bor Tangan (*hand bore*)

Setelah itu contoh tanah dideskripsi sesuai dengan kedalamannya dan dilakukan uji laboratorium. Berikut merupakan penjelasan dari masing-masing analisis lokasi bor tangan (*hand bore*).

Berikut merupakan deskripsi tanah dari 2 (dua) titik bor tangan dengan kedalaman 400 cm.

4.1.1. HB – 2

Titik HB-2 terletak pada koordinat N 2°55'19.64"/ E 105°44'17.83" dengan kedalaman 400 cm.



Gambar 4.2 Log Sedimen HB-2

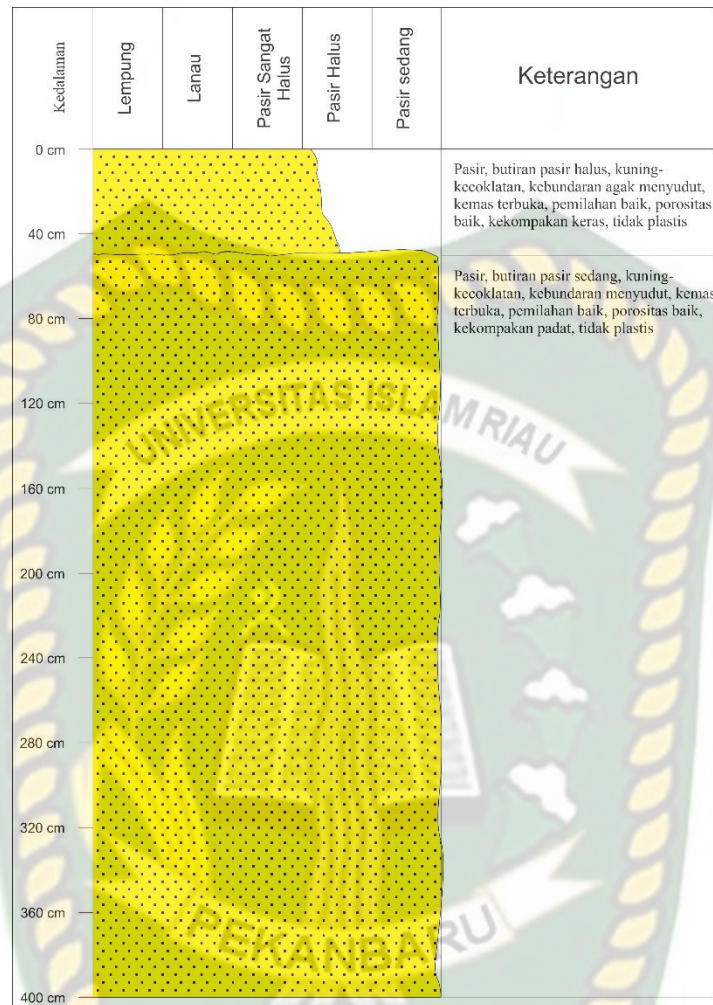
Hasil penyelidikan bor tangan didapatkan profil tanah di bawah permukaan dengan perlapisan sebagai berikut.

- Pada titik kedalaman 0 – 100 cm di bawah permukaan dijumpai lapisan tanah pasir lanauan berwarna kuning kecoklatan dengan butiran pasir sangat halus. Kebundaran butiran ialah membundar dengan porositas baik dan pemilahan yang buruk serta plastisitasnya rendah.
- Pada kedalaman 100 – 400cm di bawah permukaan dijumpai lapisan tanah lempung dengan sisipan pasir, berwarna kuning serta plastisitas sedang-tinggi.

4.1.2. HB - 3

Titik HB-3 terletak pada koordinat N 2°55'18.50"/ E 105°44'18.64" dengan kedalaman 400 cm. Pada hasil penyelidikan bor tangan didapatkan profil tanah di bawah permukaan dengan perlapisan sebagai berikut.

- Pada titik kedalaman 0 – 50 cm di bawah permukaan dijumpai lapisan tanah pasir dengan butiran pasir halus berwarna kuning-kecoklatan. Kebundarannya adalah agak menyudut dengan kemas terbuka. Pemilahan dan porositasnya baik. Kekompakannya keras dengan sifata tidak plastis.
- Pada kedalaman 50 – 400cm di bawah permukaan dijumpai lapisan tanah pasir berbutir pasir sedang, berwarna kuning-kecoklatan dengan kebundaran yang menyudut. Kemas terbuka, pemilihan dan porositas yang baik. Kekompakan pada lapisan ini adalah padat dengan sifat tidak platis.



Gambar 4.3 Log Sedimen HB-3

4.2 Analisis Geomekanika Tanah

Analisis geomekanika tanah yang dilakukan, yaitu analisis mekanis dari tanah, analisis batas-batas atterberg dan analisis kuat geser tanah langsung. Analisis-analisis tersebut adalah sebagai berikut.

4.2.1. Analisis Mekanis dari Tanah

Analisis ini dibagi menjadi 3 (tiga) analisis, yaitu analisis ayakan (*sieve analysis*), analisis hidrometer dan analisis ukuran butir tanah.

4.2.1.1. Analisis Ayakan

Pada analisis ayakan (*sieve analysis*), hidrometer dan ukuran golongan tanah ini menghasilkan data sebagai berikut.

1. HB – 2

Pada contoh tanah HB – 2 dengan berat contoh tanah kering 100 gr, dilakukan perhitungan dengan hasil sebagai berikut (**Tabel 4.1**).

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Contoh Tanah HB – 2

Nomor Ayakan	Diameter ayakan (mm)	W _n (gr)	R _n (%)	ΣR _n (%)	%Finer (%)
4	4,75	3,2	3,2	3,2	96,8
10	2	1,2	1,2	4,4	95,6
20	0,85	0,5	0,5	4,9	95,1
30	0,6	0,9	0,9	5,8	94,2
40	0,425	5,2	5,2	11	89
60	0,3	24,3	24,3	35,3	64,7
100	0,15	35,2	35,2	70,5	29,5
200	0,075	0,5	0,5	71	29

$$\Sigma W_n = 71$$

Nomor ayakan 4 (empat) memiliki diameter ayakan 4,75 mm dengan berat yang tertahan (W_{n4}) adalah 3,2 gr. Persentase tanah (R_{n4}) yang tertahan pada ayakan yaitu 3,2%. Persentase ini didapatkan dari hasil perhitungan berat tertahan (W_{n4}) dibagi dengan berat contoh tanah kering (W_t) dikali 100%. Kemudian dilakukan perhitungan persentase kumulatif (ΣR_{n4}) dan persentase lolos ($\%finer_4$) dengan hasil 3,2% untuk ΣR_{n4} dan 96,8% untuk persentase lolos ($\%finer_4$). Persentase lolos ($\%finer_4$) didapatkan dari hasil pengurangan antara berat contoh tanah kering dengan persentase tertahan (ΣR_{n4}).

Nomor ayakan 10 (sepuluh) memiliki diameter ayakan 2 mm dengan berat yang tertahan (W_{n10}) adalah 1,2 gr. Persentase tanah (R_{n10}) yang tertahan pada ayakan yaitu 1,2%. Persentase ini didapatkan dari hasil perhitungan berat tertahan (W_{n10}) dibagi dengan berat contoh tanah kering (W_t) dikali 100%. Kemudian dilakukan perhitungan persentase kumulatif tertahan (ΣR_{n10}) dan persentase lolos ($\%finer_{10}$) dengan hasil 4,4% untuk ΣR_{n10} dan 95,6% untuk persentase lolos ($\%finer_{10}$). Persentase kumulatif tertahan (ΣR_{n10}) didapatkan dari hasil penjumlahan antara ΣR_{n4} dan W_{n10} , sedangkan persentase lolos ($\%finer_{10}$) didapatkan dari hasil pengurangan antara berat contoh tanah kering dengan persentase kumulatif tertahan (ΣR_{n10}).

Nomor ayakan 20 (dua puluh) memiliki diameter ayakan 0,85 mm dengan berat yang tertahan (W_{n20}) adalah 0,5 gr. Persentase tanah (R_{n20}) yang tertahan pada

ayakan yaitu 0,5%. Persentase ini didapatkan dari hasil perhitungan berat tertahan (W_{n20}) dibagi dengan berat contoh tanah kering (W_t) dikali 100%. Kemudian dilakukan perhitungan persentase kumulatif tertahan (ΣR_{n20}) dan persentase lolos ($\%finer_{20}$) dengan hasil 4,9% untuk ΣR_{n20} dan 93,11% untuk persentase lolos ($\%finer_{20}$). Persentase kumulatif tertahan (ΣR_{n20}) didapatkan dari hasil penjumlahan antara ΣR_{n10} dan W_{n20} , sedangkan persentase lolos ($\%finer_{20}$) didapatkan dari hasil pengurangan antara berat contoh tanah kering dengan persentase kumulatif tertahan (ΣR_{n20}).

Nomor ayakan 30 (tiga puluh) memiliki diameter ayakan 0,6 mm dengan berat yang tertahan (W_{n30}) adalah 0,9 gr. Persentase tanah (R_{n30}) yang tertahan pada ayakan yaitu 0,9%. Persentase ini didapatkan dari hasil perhitungan berat tertahan (W_{n30}) dibagi dengan berat contoh tanah kering (W_t) dikali 100%. Kemudian dilakukan perhitungan persentase kumulatif tertahan (ΣR_{n30}) dan persentase lolos ($\%finer_{30}$) dengan hasil 5,8% untuk ΣR_{n30} dan 94,2% untuk persentase lolos ($\%finer_{30}$). Persentase kumulatif tertahan (ΣR_{n30}) didapatkan dari hasil penjumlahan antara ΣR_{n20} dan W_{n30} , sedangkan persentase lolos ($\%finer_{30}$) didapatkan dari hasil pengurangan antara berat contoh tanah kering dengan persentase kumulatif tertahan (ΣR_{n30}).

Nomor ayakan 40 (empat puluh) memiliki diameter ayakan 0,425 mm dengan berat yang tertahan (W_{n40}) adalah 5,2 gr. Persentase tanah (R_{n40}) yang tertahan pada ayakan yaitu 5,2%. Persentase ini didapatkan dari hasil perhitungan berat tertahan (W_{n40}) dibagi dengan berat contoh tanah kering (W_t) dikali 100%. Kemudian dilakukan perhitungan persentase kumulatif tertahan (ΣR_{n40}) dan persentase lolos ($\%finer_{40}$) dengan hasil 11% untuk ΣR_{n40} dan 89% untuk persentase lolos ($\%finer_{40}$). Persentase kumulatif tertahan (ΣR_{n40}) didapatkan dari hasil penjumlahan antara ΣR_{n30} dan W_{n40} , sedangkan persentase lolos ($\%finer_{40}$) didapatkan dari hasil pengurangan antara berat contoh tanah kering dengan persentase kumulatif tertahan (ΣR_{n40}).

Nomor ayakan 60 (enam puluh) memiliki diameter ayakan 0,3 mm dengan berat yang tertahan (W_{n60}) adalah 24,3 gr. Persentase tanah (R_{n60}) yang tertahan pada ayakan yaitu 24,3%. Persentase ini didapatkan dari hasil perhitungan berat

tertahan (W_{n60}) dibagi dengan berat contoh tanah kering (W_t) dikali 100%. Kemudian dilakukan perhitungan persentase kumulatif tertahan (ΣR_{n60}) dan persentase lolos ($\%finer_{60}$) dengan hasil 35,3% untuk ΣR_{n60} dan 64,7% untuk persentase lolos ($\%finer_{60}$). Persentase kumulatif tertahan (ΣR_{n60}) didapatkan dari hasil penjumlahan antara ΣR_{n40} dan W_{n60} , sedangkan persentase lolos ($\%finer_{100}$) didapatkan dari hasil pengurangan antara berat contoh tanah kering dengan persentase kumulatif tertahan (ΣR_{n60}).

Nomor ayakan 100 (seratus) memiliki diameter ayakan 0,15 mm dengan berat yang tertahan (W_{n100}) adalah 35,2 gr. Persentase tanah (R_{n100}) yang tertahan pada ayakan yaitu 35,2%. Persentase ini didapatkan dari hasil perhitungan berat tertahan (W_{n100}) dibagi dengan total berat tertahan (ΣW_n) dikali 100%. Kemudian dilakukan perhitungan persentase kumulatif tertahan (ΣR_{n100}) dan persentase lolos ($\%finer_{100}$) dengan hasil 70,5% untuk ΣR_{n100} dan 29,5% untuk persentase lolos ($\%finer_{100}$). Persentase kumulatif tertahan (ΣR_{n100}) didapatkan dari hasil penjumlahan antara ΣR_{n60} dan W_{n100} , sedangkan persentase lolos ($\%finer_{100}$) didapatkan dari hasil pengurangan antara berat contoh tanah kering dengan persentase kumulatif tertahan (ΣR_{n100}).

Nomor ayakan 200 (dua ratus) memiliki diameter ayakan 0,075 mm dengan berat yang tertahan (W_{n200}) adalah 0,5 gr. Persentase tanah (R_{n200}) yang tertahan pada ayakan yaitu 0,5%. Persentase ini didapatkan dari hasil perhitungan berat tertahan (W_{n200}) dibagi dengan total berat tertahan (ΣW_n) dikali 100%. Kemudian dilakukan perhitungan persentase kumulatif tertahan (ΣR_{n200}) dan persentase lolos ($\%finer_{200}$) dengan hasil 71% untuk ΣR_{n200} dan 29% untuk persentase lolos ($\%finer_{200}$). Persentase kumulatif tertahan (ΣR_{n200}) didapatkan dari hasil penjumlahan antara ΣR_{n100} dan W_{n200} , sedangkan persentase lolos ($\%finer_{200}$) didapatkan dari hasil pengurangan antara berat contoh tanah kering dengan persentase kumulatif tertahan (ΣR_{n200}).

2. HB – 3

Pada contoh tanah HB – 3 dengan berat contoh tanah kering 100 gr, dilakukan perhitungan dengan hasil sebagai berikut (**Tabel 4.2**).

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Contoh Tanah HB – 3

Nomor ayakan	Diameter ayakan (mm)	W _n (gr)	R _n (%)	ΣR _n (%)	% <i>finer</i> (%)
4	4,75	2,2	2,2	2,2	97,8
10	2	0,6	0,6	2,8	97,2
20	0,85	0,5	0,5	3,3	96,7
30	0,6	1,2	1,2	4,5	95,5
40	0,425	0,9	0,9	5,4	94,6
60	0,3	4,9	4,9	10,3	89,7
100	0,15	24,2	24,2	34,5	65,5
200	0,075	36,6	36,6	71,1	28,9
		ΣW_n = 71,1			

Nomor ayakan 4 (empat) memiliki diameter ayakan 4,75 mm dengan berat yang tertahan (W_{n4}) adalah 2,2 gr. Persentase tanah (R_{n4}) yang tertahan pada ayakan yaitu 2,2%. Persentase ini didapatkan dari hasil perhitungan berat tertahan (W_{n4}) dibagi dengan total berat contoh tanah kering (W_t) dikali 100%. Kemudian dilakukan perhitungan persentase kumulatif (ΣR_{n4}) dan persentase lolos (%*finer*₄) dengan hasil 2,2% untuk ΣR_{n4} dan 97,8% untuk persentase lolos (%*finer*₄). Persentase lolos (%*finer*₄) didapatkan dari hasil pengurangan antara berat contoh tanah kering dengan persentase tertahan (ΣR_{n4}).

Nomor ayakan 10 (empat) memiliki diameter ayakan 2 mm dengan berat yang tertahan (W_{n10}) adalah 0,6 gr. Persentase tanah (R_{n10}) yang tertahan pada ayakan yaitu 0,6%. Persentase ini didapatkan dari hasil perhitungan berat tertahan (W_{n10}) dibagi dengan total berat contoh tanah kering (W_t) dikali 100%. Kemudian dilakukan perhitungan persentase kumulatif (ΣR_{n10}) dan persentase lolos (%*finer*₁₀) dengan hasil 2,8% untuk ΣR_{n10} dan 97,2% untuk persentase lolos (%*finer*₁₀). Persentase lolos (%*finer*₁₀) didapatkan dari hasil pengurangan antara berat contoh tanah kering dengan persentase tertahan (ΣR_{n10}).

Nomor ayakan 20 (dua puluh) memiliki diameter ayakan 0,85 mm dengan berat yang tertahan (W_{n20}) adalah 0,5 gr. Persentase tanah (R_{n20}) yang tertahan pada ayakan yaitu 0,5%. Persentase ini didapatkan dari hasil perhitungan berat tertahan (W_{n20}) dibagi dengan total berat contoh tanah kering (W_t) dikali 100%. Kemudian dilakukan perhitungan persentase kumulatif (ΣR_{n20}) dan persentase lolos (%*finer*₂₀) dengan hasil 3,3% untuk ΣR_{n20} dan 96,7% untuk persentase lolos (%*finer*₂₀).

Persentase lolos ($\%finer_{20}$) didapatkan dari hasil pengurangan antara berat contoh tanah kering dengan persentase tertahan (ΣRn_{20}).

Nomor ayakan 30 (tiga puluh) memiliki diameter ayakan 0,6 mm dengan berat yang tertahan (Wn_{30}) adalah 1,2 gr. Persentase tanah (Rn_{30}) yang tertahan pada ayakan yaitu 1,2%. Persentase ini didapatkan dari hasil perhitungan berat tertahan (Wn_{30}) dibagi dengan total berat contoh tanah kering (Wt) dikali 100%. Kemudian dilakukan perhitungan persentase kumulatif (ΣRn_{30}) dan persentase lolos ($\%finer_{30}$) dengan hasil 4,5% untuk ΣRn_{30} dan 95,5% untuk persentase lolos ($\%finer_{30}$). Persentase lolos ($\%finer_{30}$) didapatkan dari hasil pengurangan antara berat contoh tanah kering dengan persentase tertahan (ΣRn_{30}).

Nomor ayakan 40 (empat puluh) memiliki diameter ayakan 0,425 mm dengan berat yang tertahan (Wn_{40}) adalah 0,9 gr. Persentase tanah (Rn_{40}) yang tertahan pada ayakan yaitu 0,9%. Persentase ini didapatkan dari hasil perhitungan berat tertahan (Wn_{40}) dibagi dengan total berat contoh tanah kering (Wt) dikali 100%. Kemudian dilakukan perhitungan persentase kumulatif (ΣRn_{40}) dan persentase lolos ($\%finer_{40}$) dengan hasil 5,4% untuk ΣRn_{40} dan 94,6% untuk persentase lolos ($\%finer_{40}$). Persentase lolos ($\%finer_{40}$) didapatkan dari hasil pengurangan antara berat contoh tanah kering dengan persentase tertahan (ΣRn_{40}).

Nomor ayakan 60 (enam puluh) memiliki diameter ayakan 0,2 mm dengan berat yang tertahan (Wn_{60}) adalah 4,9 gr. Persentase tanah (Rn_{60}) yang tertahan pada ayakan yaitu 4,9%. Persentase ini didapatkan dari hasil perhitungan berat tertahan (Wn_{60}) dibagi dengan total berat contoh tanah kering (Wt) dikali 100%. Kemudian dilakukan perhitungan persentase kumulatif (ΣRn_{60}) dan persentase lolos ($\%finer_{60}$) dengan hasil 10,3% untuk ΣRn_{60} dan 89,7% untuk persentase lolos ($\%finer_{60}$). Persentase lolos ($\%finer_{60}$) didapatkan dari hasil pengurangan antara berat contoh tanah kering dengan persentase tertahan (ΣRn_{60}).

Nomor ayakan 100 (seratus) memiliki diameter ayakan 0,15 mm dengan berat yang tertahan (Wn_{100}) adalah 24,2 gr. Persentase tanah (Rn_{100}) yang tertahan pada ayakan yaitu 24,2%. Persentase ini didapatkan dari hasil perhitungan berat tertahan (Wn_{100}) dibagi dengan total berat contoh tanah kering (Wt) dikali 100%. Kemudian dilakukan perhitungan persentase kumulatif (ΣRn_{100}) dan persentase

lolos ($\%finer_{100}$) dengan hasil 35,5% untuk ΣRn_{100} dan 65,5% untuk persentase lolos ($\%finer_{100}$). Persentase lolos ($\%finer_{100}$) didapatkan dari hasil pengurangan antara berat contoh tanah kering dengan persentase tertahan (ΣRn_{100}).

Nomor ayakan 200 (dua ratus) memiliki diameter ayakan 0,075 mm dengan berat yang tertahan (Wn_{200}) adalah 36,6 gr. Persentase tanah (Rn_{200}) yang tertahan pada ayakan yaitu 36,6%. Persentase ini didapatkan dari hasil perhitungan berat tertahan (Wn_{200}) dibagi dengan total berat contoh tanah kering (Wt) dikali 100%. Kemudian dilakukan perhitungan persentase kumulatif (ΣRn_{200}) dan persentase lolos ($\%finer_{200}$) dengan hasil 71,1% untuk ΣRn_{200} dan 28,9% untuk persentase lolos ($\%finer_{200}$). Persentase lolos ($\%finer_{200}$) didapatkan dari hasil pengurangan antara berat contoh tanah kering dengan persentase tertahan (ΣRn_{200}).

4.2.1.2. Analisis Hidrometer

Analisis hidrometer ini menggunakan alat hidrometer jenis 151H dan cairan *sodium methaphosphate*. Komponen untuk melakukan perhitungan ini sangat banyak. Perhitungan-perhitungan yang dilakukan disetiap contoh tanah adalah faktor koreksi (a), pembacaan koreksi hidrometer, berat tanah kering, persentase tanah lolos ($\%finer$), harga K, harga R, harga L, L/t dan diameter (D) sebagai berikut.

1. HB – 2

Pada lokasi HB – 2, berat contoh tanah kering (Ws) adalah 50 gr. Jumlah dispersi dari contoh tanah ini adalah 4%. Berat jenis (Gs) yang digunakan adalah 2,679 dengan koreksi terhadap 0 (nol) adalah 3 dan koreksi meniskus yaitu 0,5. Setelah dilakukan perhitungan terhadap semua komponen, maka didapatkan hasil sebagai berikut (**Tabel 4.3**).

Tabel 4.3.Rangkuman Perhitungan Analisis Hidrometer HB-2

Lamanya waktu (min)	Suhu (°C)	Faktor koreksi (Ct)	Berat jenis air (Gw)	Viskositas air (η)	K	Ra	Rc	Persen lolos	R	L	diameter (mm)	Persentase pembacaan yang benar
0.25	25	1.3	0.99708	0.00894	0.01276	31	29.3	93.34	31.5	8.11	0.0726	27.07
0.5	25	1.3	0.99708	0.00894	0.01276	30	28.3	90.15	30.5	8.38	0.0522	26.14
1	25	1.3	0.99708	0.00894	0.01276	29	27.3	86.97	29.5	8.64	0.0375	25.22
2	25	1.3	0.99708	0.00894	0.01276	27	25.3	80.6	27.5	9.18	0.0273	23.37
5	25	1.3	0.99708	0.00894	0.01276	22	20.3	64.67	22.5	10.51	0.0185	18.75
15	25	1.3	0.99708	0.00894	0.01276	18	16.3	51.93	18.5	11.58	0.0112	15.06
30	25	1.3	0.99708	0.00894	0.01276	16	14.3	45.55	16.5	12.11	0.0081	13.21
60	25	1.3	0.99708	0.00894	0.01276	12	10.3	32.81	12.5	13.18	0.006	9.52
250	25	1.3	0.99708	0.00894	0.01276	11	9.3	29.63	11.5	13.45	0.003	8.59
1440	25	1.3	0.99708	0.00894	0.01276	7	5.3	16.88	7.5	14.52	0.0013	4.9

Tabel di atas, suhu saat analisis hidrometer ialah 25°C. Sehingga faktor koreksi (Ct) yang didapatkan adalah 1,3. Selain itu dari suhu tersebut juga dapat ditentukan nilai berat jenis air (Gw), viskositas air (η) dan harga K. Berat jenis air (Gw) dengan nilai 0,99708, viskositas air (η) 0,00894 dan harga K adalah 0,01276. Percobaan dilakukan dengan lama waktu dari 0,25 menit hingga 1440 menit.

Percobaan pertama dilakukan selama 0,25 menit, dengan pembacaan hidrometer sebenarnya (Ra) yaitu 31 dan koreksi pembacaannya (Rc) 29,3. Koreksi pembacaan ini didapatkan dari hasil perhitungan pembacaan sebenarnya dikurang dengan koreksi 0 (nol) ditambah dengan nilai factor koreksi (Ct). Setelah didapatkan hasil perhitungan tersebut, dilakukan perhitungan persentase lolos butir. Persentase ini menggunakan rumus pembacaan sebenarnya (Ra) dikali dengan factor koreksi (a) kemudian dikali dengan berat contoh tanah kering. Sehingga didapatkan hasil persentase lolos, yaitu 93,34%. Nilai factor koreksi (a) didapatkan dari hasil perhitungan berat jenis tanah (Gs) dibagi dengan berat jenis tanah (Gs) dikurang 1 (satu). Selanjutnya dilakukan perhitungan R dengan cara pembacaan sebenarnya ditambah dengan koreksi meniscus, sehingga didapatkan hasil 31,5. Untuk harga L didapatkan dari penjumlahan antara R dan koreksi meniscus. Kemudian hasil penjumlahan tersebut dilihat di dalam table pembacaan untuk mengetahui harga L dari hasil penjumlahan itu. Perhitungan selanjutnya yaitu mencari diameter butir (mm) yang didapatkan dari perhitungan K dikali akar kedalaman efektif (L) dibagi waktu (t). Hasil yang didapatkan yaitu 0,0726 mm. Terakhir dilakukan persentase pembacaan yang benar dengan cara persen lolos

dikali dengan persen ayakan 200 dibagi 100%. Hasil perhitungan ini dimasukkan ke dalam kurva untuk mengetahui jenis ukuran butir tanah.

Untuk percobaan selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama seperti percobaan pertama. Percobaan dilakukan dengan waktu yang berbeda-beda hingga diwaktu 1440 menit.

2. HB-3

Pada lokasi HB-3, berat contoh tanah kering (W_s) adalah 50 gr. Jumlah dispersi dari contoh tanah ini adalah 4%. Berat jenis (G_s) yang digunakan adalah 2,679 dengan koreksi terhadap 0 (nol) adalah 3 dan koreksi meniskus yaitu 0,5. Pada tabel di bawah ini (**Tabel 4.4**), suhu saat analisis hidrometer ialah 25°C. Sehingga faktor koreksi (C_t) yang didapatkan adalah 1,3. Selain itu dari suhu tersebut juga dapat ditentukan nilai berat jenis air (G_w), viskositas air (η) dan harga K. Berat jenis air (G_w) dengan nilai 0,99708, viskositas air (η) 0,00894 dan harga K adalah 0,01278. Percobaan dilakukan dengan lama waktu dari 0,25 menit hingga 1440 menit.

Tabel 4.4. Rangkuman Perhitungan Analisis Hidrometer HB-3

Lamanya waktu (min)	Suhu (°C)	Faktor koreksi (C_t)	Berat jenis air (G_w)	Viskositas air (η)	K	Ra	Rc	Persen lolos	R	L	diameter (mm)	Persentase pembacaan yang benar
0,25	25	1,3	0,99708	0,00894	0,01278	31	29,3	93,48	31,5	8,11	0,0728	27,02
0,5	25	1,3	0,99708	0,00894	0,01278	30	28,3	90,29	30,5	8,38	0,0523	26,09
1	25	1,3	0,99708	0,00894	0,01278	29	27,3	87,1	29,5	8,64	0,0376	25,17
2	25	1,3	0,99708	0,00894	0,01278	25	23,3	74,34	25,5	9,71	0,0282	21,48
5	25	1,3	0,99708	0,00894	0,01278	21	19,3	61,58	21,5	10,78	0,0188	17,8
15	25	1,3	0,99708	0,00894	0,01278	18	16,3	52,01	18,5	11,58	0,0112	15,03
30	25	1,3	0,99708	0,00894	0,01278	15	13,3	42,43	15,5	12,38	0,0082	12,26
60	25	1,3	0,99708	0,00894	0,01278	11	9,3	29,67	11,5	13,45	0,0061	8,58
250	25	1,3	0,99708	0,00894	0,01278	8	6,3	20,1	8,5	14,25	0,0031	5,81
1440	25	1,3	0,99708	0,00894	0,01278	6	4,3	13,72	6,5	14,78	0,0013	3,96

Percobaan pertama dilakukan selama 0,25 menit, dengan pembacaan hidrometer sebenarnya (R_a) yaitu 31 dan koreksi pembacaannya (R_c) 29,3. Koreksi pembacaan ini didapatkan dari hasil perhitungan pembacaan sebenarnya dikurang dengan koreksi 0 (nol) ditambah dengan nilai faktor koreksi (C_t). Setelah didapatkan hasil perhitungan tersebut, dilakukan perhitungan persentase lolos butir. Persentase ini menggunakan rumus pembacaan sebenarnya (R_a) dikali dengan faktor koreksi (a) kemudian dikali dengan berat contoh tanah kering. Sehingga didapatkan hasil

persentase lolos, yaitu 93,48%. Nilai faktor koreksi (a) didapatkan dari hasil perhitungan berat jenis tanah (G_s) dibagi dengan berat jenis tanah (G_s) dikurang 1 (satu). Selanjutnya dilakukan perhitungan R dengan cara pembacaan sebenarnya ditambah dengan koreksi meniscus, sehingga didapatkan hasil 31,5. Untuk harga L, yaitu 8,11 yang didapatkan dari penjumlahan antara R dan koreksi meniscus.

Kemudian hasil penjumlahan tersebut dilihat di dalam table pembacaan untuk mengetahui harga L dari hasil penjumlahan itu. Perhitungan selanjutnya yaitu mencari diameter butir (mm) yang didapatkan dari perhitungan K dikali akar kedalaman efektif (L) dibagi waktu (t). Hasil yang didapatkan yaitu 0,0728 mm. Terakhir dilakukan persentase pembacaan yang benar dengan cara persen lolos dikali dengan persen ayakan 200 dibagi 100%. Hasil perhitungan ini dimasukkan ke dalam kurva untuk mengetahui jenis ukuran butir tanah.

Untuk percobaan selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama seperti percobaan pertama. Percobaan dilakukan dengan waktu yang berbeda-beda hingga di waktu 1440 menit.

4.2.1.3. Analisis Ukuran Butir Tanah

Analisis ini menggunakan hasil perhitungan dari analisis ayakan dan hidrometer. Hasil perhitungan ini dimasukkan ke dalam kurva yang sama, karna ukuran butirnya halus. Ini berguna untuk mengetahui ukuran butir tanah dari kedua titik lokasi ini. Selain itu, analisis ini digunakan untuk mengetahui jenis tanah dan koefisien tanah.

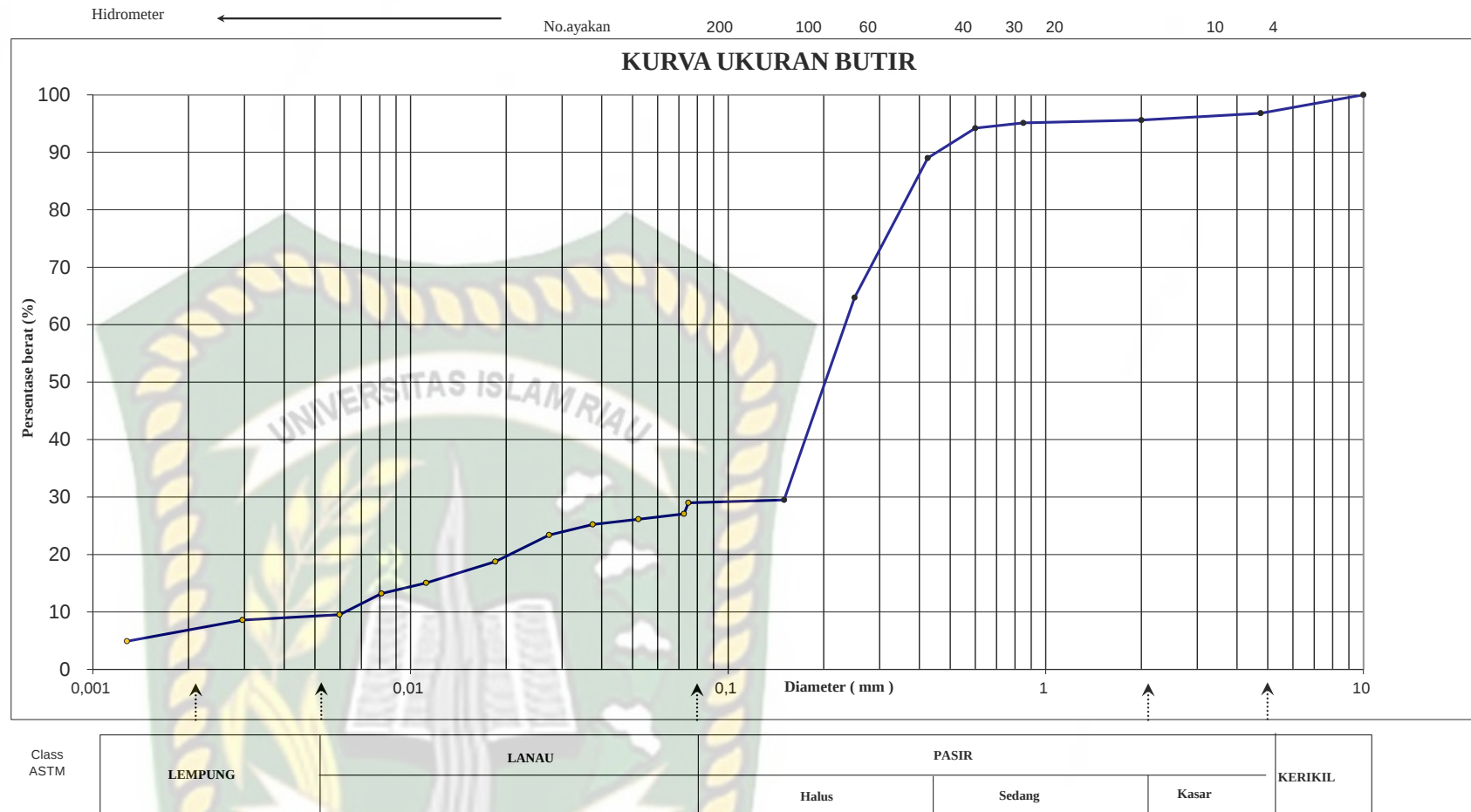
1. HB – 2

Berikut merupakan hasil dari perhitungan analisis ayakan dan analisis hidrometer.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Analisis Ayakan dan Analisis Hidrometer

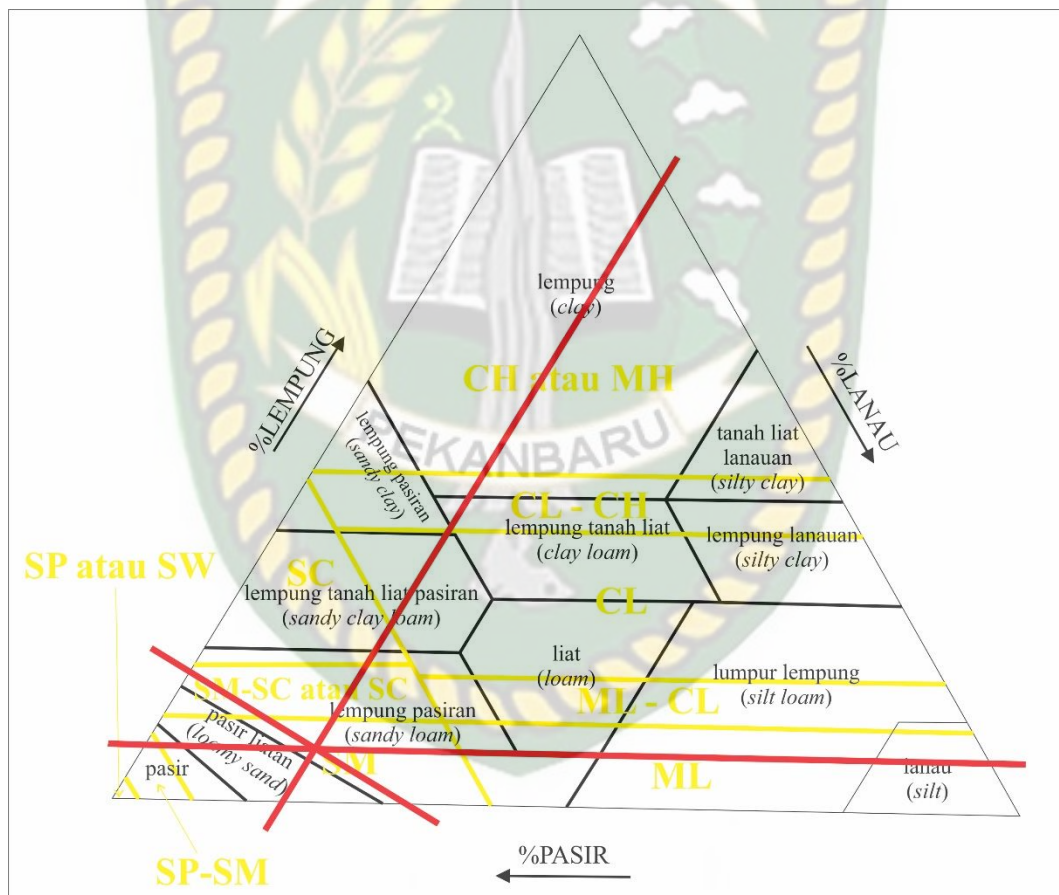
	Nomor Ayakan	diameter (mm)	Persentase (%)
ayakan	0		100
	4	4,75	96,8
	10	2	95,6
	20	0,85	95,1
	30	0,6	94,2
	40	0,425	89
	60	0,25	64,7
	100	0,15	29,5
	200	0,075	29
	H	0,073	27,07
i d r o m e t e r	i	0,052	26,14
	d	0,037	25,22
	r	0,027	23,37
	o	0,018	18,75
	m	0,011	15,06
	e	0,008	13,21
	t	0,006	9,52
	e	0,003	8,59
	r	0,001	4,9

Pada tabel di atas diketahui bahwa pada ayakan nomor 4 memiliki diameter 4,75 mm dengan persentase butir 96,8%, pada ayakan nomor 10 memiliki diameter 2 mm dengan persentase 95,6%. Ayakan nomor 20 berdiameter 0,85 mm dengan persentase butir 95,1%, ayakan nomor 30 berdiameter 0,6 dengan persentase butir 94,2%, ayakan nomor 40 berdiameter 0,425 mm dengan persentase butir 89%, ayakan nomor 60 berdiameter 0,25 mm dengan persentase butir 64,7%, ayakan 100 berdiameter 0,15 mm dengan persentase butir 29,5% dan ayakan 200 berdiameter 0,075 mm dengan persentase butir 29%. Untuk hidrometer dengan diameter 0,073 mm dengan persentase butir 27,07%, diameter 0,052 mm dengan persentase butir 26,14%, diameter 0,037 mm dengan persentase butir 25,22%, diameter 0,027 mm dengan persentase butir 23,37%, diameter 0,018 mm dengan persentase butir 18,75%, diameter 0,011 mm dengan persentase 15,06%, diameter 0,008 mm dengan persentase 13,21%. Untuk diameter 0,006 mm persentasenya adalah 9,52% dan diameter 0,003 mm dengan persentase 8,59% serta diameter 0,001 mm dengan persentase 4,9%.



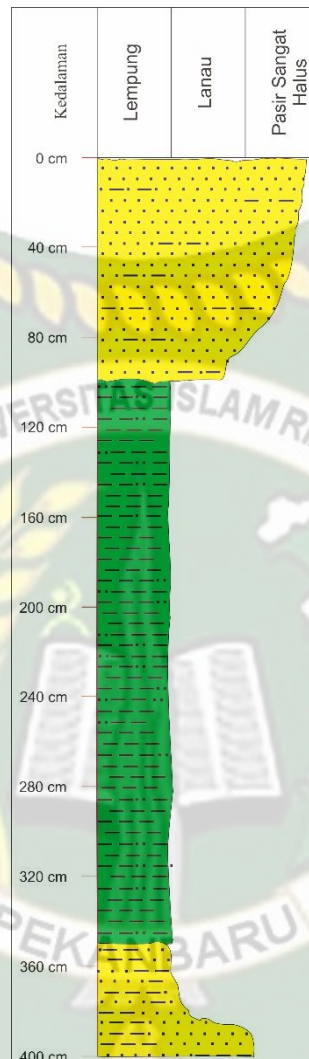
Gambar 4.4 Kurva Ukuran Butir HB-2

Pada kurva diatas, dapat dilihat bahwa kurva tanah yang dihasilkan memiliki kesenjangan (*gap graded*), karna memiliki kombinasi lebih dari 2 (dua) fraksi dengan gradasi yang sama. Jenis ukuran butir pada analisis ayakan dari kurva di atas adalah kerikil – pasir halus. Sedangkan pada analisis hidrometer, jenis ukuran butirannya adalah lanau – lempung. Pada berat contoh tanah kering ini, didapatkan persentase ukuran butir, yaitu kerikil 3,2%, pasir 67,8%, lanau 19,59%, lempung 9,41% dan berat contoh tanah kering yang lolos ayakan 200 atau debu yaitu 29%. Persentase ukuran butir yang telah didapatkan dimasukkan ke dalam segitiga USCS seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4.5 Jenis Tanah Pada HB-2

Dilihat dari segitiga di atas, jenis tanah pada contoh tanah ini adalah lempung pasir yang memiliki tekstur tidak lengket dengan sifat tidak plastis. Maka, log sedimen akan berubah sesuai dengan analisis laboratorium yang telah dilakukan. Log sedimen tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini (**Gambar 4.6**)



Gambar 4.6 Log Sedimen HB-2 Setelah Analisis Laboratorium

Setelah itu, dilakukan analisis koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c). Dimana, diameter yang bersesuaian dengan lolos ayakan yang ditentukan dari kurva distribusi ukuran butiran adalah $D_{10} = 0,006$, $D_{30} = 0,15852$ dan $D_{60} = 0,2723$. Dari diameter tersebut dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 C_u &= \frac{D_{60}}{D_{10}} \\
 &= \frac{0,2723}{0,006} \\
 &= 45,38
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cc &= \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} \\
 &= \frac{0,15852^2}{0,2723 \times 0,006} \\
 &= \frac{0,0251}{0,0016} \\
 &= 15,68
 \end{aligned}$$

Nilai koefisien keseragaman butir (Cu) yang didapatkan dari perhitungan adalah 45,38. Maka tanah terindikasi memiliki keseragaman butir yang sangat baik, karna nilai Cu > 15. Sedangkan untuk nilai koefisien gradasi (Cc) yang didapatkan adalah 15,68. Maka tanah terindikasi memiliki gradasi yang seragam, yaitu kerikil hingga lempung.

3. HB – 3

Pada tabel di atas diketahui bahwa pada ayakan nomor 4 memiliki diameter 4,75 mm dengan persentase butir 97,8%, pada ayakan nomor 10 memiliki diameter 2 mm dengan persentase 97,2%. Ayakan nomor 20 berdiameter 0,85 mm dengan persentase butir 96,7%, ayakan nomor 30 berdiameter 0,6 mm dengan persentase butir 95,5%, ayakan nomor 40 berdiameter 0,425 mm dengan persentase butir 94,6%, ayakan nomor 60 berdiameter 0,25 mm dengan persentase butir 89,7%, ayakan 100 berdiameter 0,15 mm dengan persentase butir 65,5% dan ayakan 200 berdiameter 0,075 mm dengan persentase butir 28,9%. Untuk hidrometer dengan diameter 0,073 mm dengan persentase butir 27,02%, diameter 0,052 mm dengan persentase butir 26,09%, diameter 0,038 mm dengan persentase butir 25,17%, diameter 0,028 mm dengan persentase butir 21,48%, diameter 0,019 mm dengan persentase butir 17,8%, diameter 0,011 mm dengan persentase 15,03%, diameter 0,008 mm dengan persentase 12,26%. Untuk diameter 0,006 mm persentasenya adalah 8,58% dan diameter 0,003 mm dengan persentase 5,81% serta diameter 0,001 dengan persentase 3,96%.

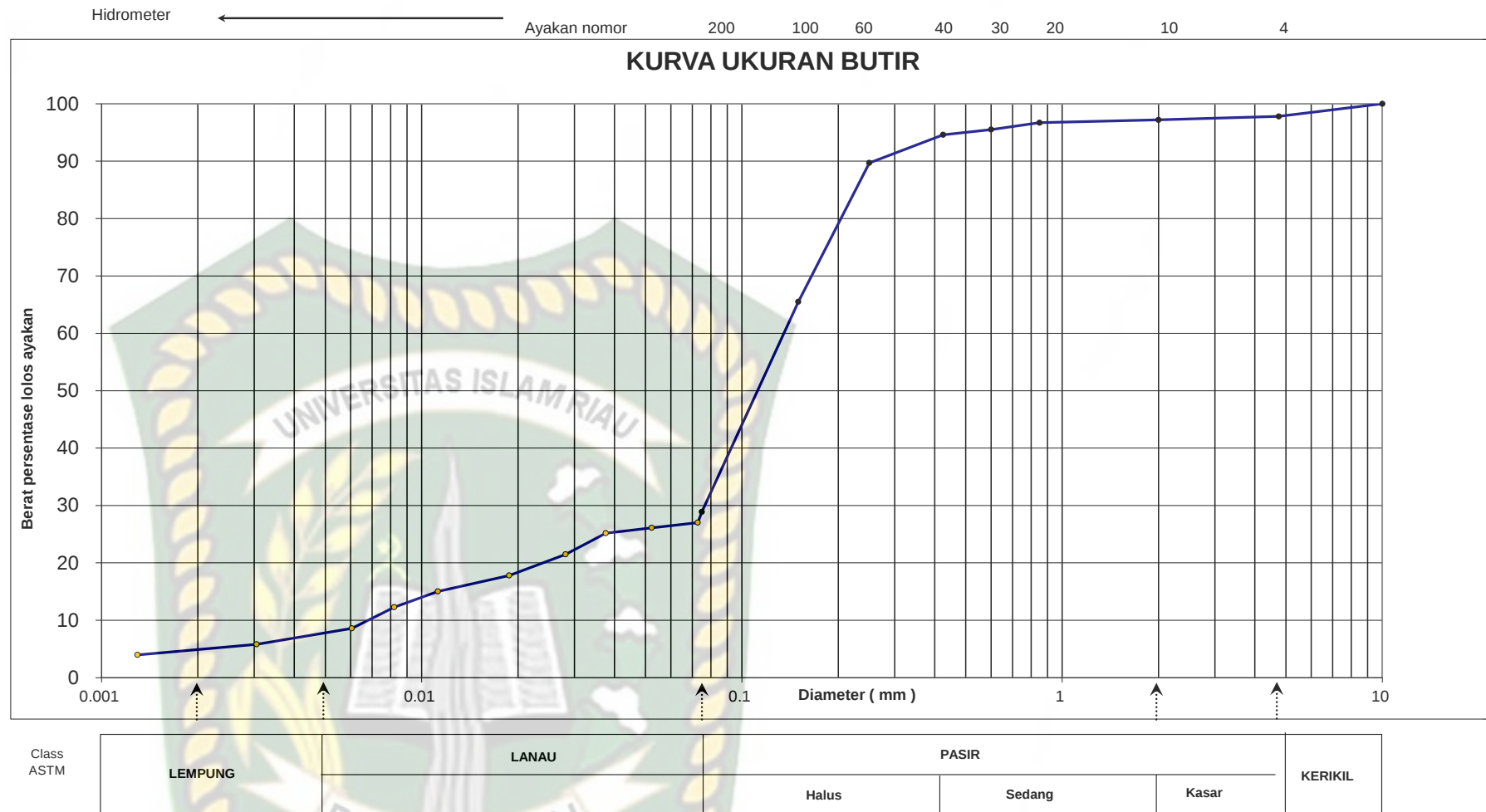
Berikut merupakan hasil dari perhitungan analisis ayakan dan analisis hidrometer (**Tabel 4.6**).

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Analisis Ayakan dan Analisis Hidrometer

ayakan	Nomor Ayakan	diameter (mm)	Persentase (%)
	0		100
	4	4,75	97,8
	10	2	97,2
	20	0,85	96,7
	30	0,6	95,5
	40	0,425	94,6
	60	0,25	89,7
	100	0,15	65,5
	200	0,075	28,9
Hidrometer		0,073	27,02
		0,052	26,09
		0,038	25,17
		0,028	21,48
		0,019	17,8
		0,011	15,03
		0,008	12,26
		0,006	8,58
		0,003	5,81
		0,001	3,96

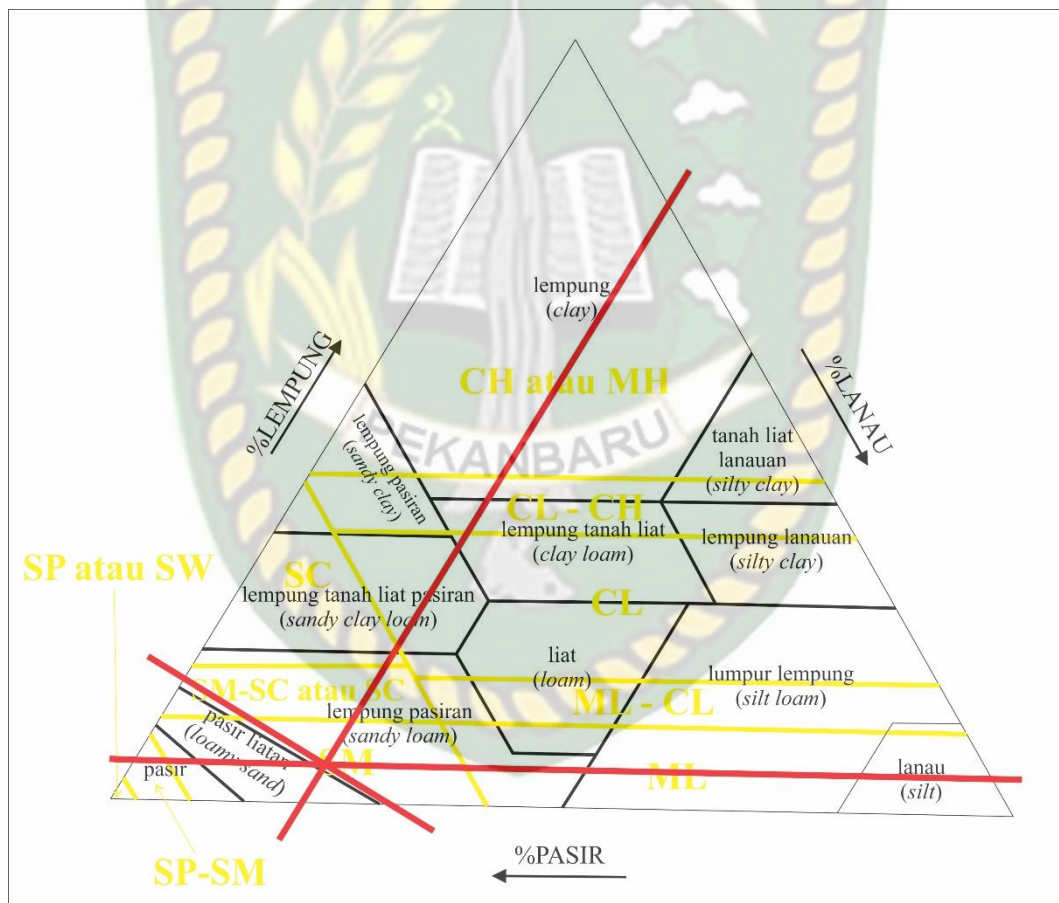
Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau



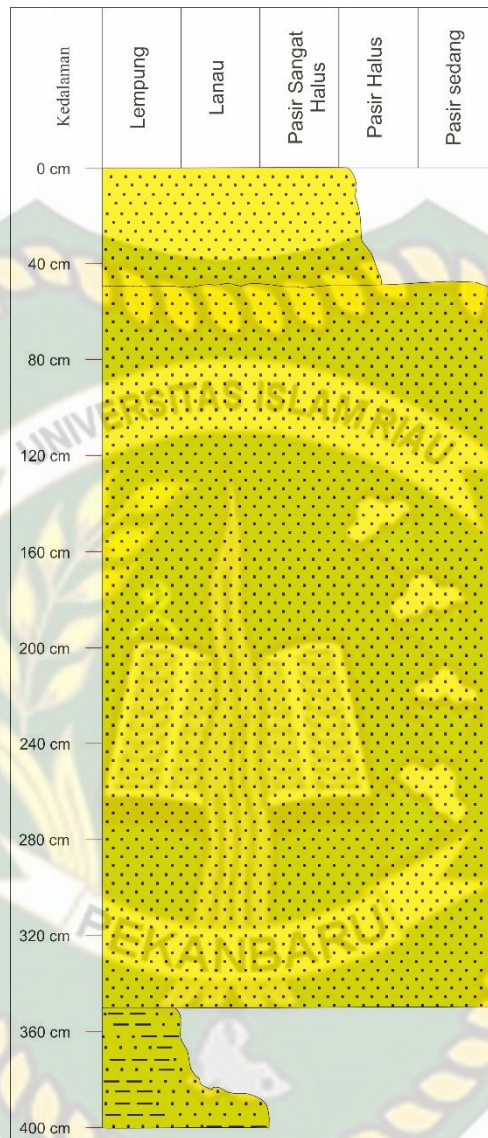
Gambar 4.7 Kurva Ukuran Butir HB-3

Pada kurva diatas, dapat dilihat bahwa kurva tanah yang dihasilkan memiliki kesenjangan (*gap graded*), karna memiliki kombinasi lebih dari 2 (dua) fraksi dengan gradasi yang sama. Jenis ukuran butir pada analisis ayakan dari kurva di atas adalah kerikil – pasir halus. Sedangkan pada analisis hidrometer, jenis ukuran butirannya adalah lanau – lempung. Pada berat contoh tanah kering ini, didapatkan persentase ukuran butir, yaitu kerikil 2,2%, pasir 68,9%, lanau 21,93%, lempung 6,97% dan berat contoh tanah kering yang lolos ayakan 200 atau debu yaitu 28,9%. Persentase ukuran butir yang telah didapatkan dimasukkan ke dalam segitiga USCS pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.8 Jenis Tanah Pada Hb.3

Dilihat dari segitiga di atas, diketahui bahwa jenis tanah pada contoh tanah ini adalah lempung pasir dengan tekstur tidak lengket dan bersifat tidak plastis. Sehingga untuk log butiran sebelumnya akan berubah menjadi seperti gambar di bawah ini (**Gambar 4.9**).



Gambar 4.9 Log sedimen HB-3 Setelah Analisis Laboratorium

Setelah itu, dilakukan analisis koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c). Dimana, diameter yang bersesuaian dengan lolos ayakan yang ditentukan dari kurva distribusi ukuran butiran adalah $D_{10} = 0,00698$, $D_{30} = 0,075892$ dan $D_{60} = 0,146$. Dari diameter tersebut dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 C_u &= \frac{D_{60}}{D_{10}} \\
 &= \frac{0,146}{0,00698} \\
 &= 20,92
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cc &= \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} \\
 &= \frac{0,075892^2}{0,146 \times 0,00698} \\
 &= \frac{0,006}{0,001} \\
 &= 6
 \end{aligned}$$

Nilai koefisien keseragaman butir (C_u) yang didapatkan dari perhitungan adalah 20,92. Maka tanah terindikasi memiliki keseragaman butir yang sangat baik, karna nilai $C_u > 15$. Sedangkan untuk nilai koefisien gradasi (C_c) yang didapatkan adalah 20,92. Maka tanah terindikasi memiliki gradasi yang seragam, yaitu kerikil hingga lempung.

4.2.2 Analisis Batas-batas Atterberg

Analisis batas-batas atterberg yang dilakukan, yaitu batas susut, batas cair, batas plastis dan plastisitas indeks. Untuk mengetahui nilai batas susut pada contoh tanah HB-2 yaitu dengan cara kadar air mula-mula dikurang dengan perubahan kadar air. Dimana, massa tanah basah (m_1) adalah 70,14 gr dengan massa tanah kering (m_2) adalah 54,93 gr. Maka kadar air mula-mula yang dihasilkan yaitu 27,69%. Untuk perubahan air setelah dioven diketahui nilai volume tanah awal (V_i) adalah 3,95 cm³, volume tanah kering adalah 3,1 cm³ dengan massa jenis kerapatan air adalah 1 gr/cm³. Sehingga perubahan kadar air yang didapatkan yaitu 1,55%. Setelah melakukan perhitungan di atas, maka nilai batas susut yang dihasilkan ialah 26,14%. Agar lebih jelas, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel di bawah ini (**Tabel 4.7**)

Tabel 4.7 Perhitungan Batas Susut HB-2

Keterangan	Satuan	Hasil
Diameter	mm	44,4 mm
Tinggi	mm	12,7 mm
Massa tanah basah (m_1)	gr	70,14 gr
Massa tanah kering (m_2)	gr	54,93 gr
Volume tanah awal (V_i)	cm ³	3,95 cm ³
Volume tanah kering (V_f)	cm ³	3,1 cm ³
Massa jenis kerapatan air (ρ_w)	gr/cm ³	1 gr/cm ³
Kadar air mula-mula (w_i)	%	27,69%
Perubahan kadar air setelah dioven	%	1,55 %
Batas susut (SL)	%	26,14%

Selanjutnya pada contoh tanah HB-3 dilakukan perhitungan dengan hasil sebagai berikut (**Tabel 4.8**).

Tabel 4.8 Perhitungan Batas Susut HB-3

Keterangan	Satuan	Hasil
Diameter	mm	44,4 mm
Tinggi	mm	12,7 mm
Massa tanah basah (m_1)	gr	73,02 gr
Massa tanah kering (m_2)	gr	60,85 gr
Volume tanah awal (V_i)	cm ³	4,12 cm ³
Volume tanah kering (V_f)	cm ³	3,44 cm ³
Massa jenis kerapatan air (ρ_w)	gr/cm ³	1 gr/cm ³
Kadar air mula-mula (w_i)	%	20%
Perubahan kadar air setelah dioven	%	1,12%
Batas susut (SL)	%	18,88%

Untuk mengetahui nilai batas susut pada contoh tanah HB-3 yaitu dengan cara kadar air mula-mula dikurang dengan perubahan kadar air. Dimana, massa tanah basah (m_1) adalah 73,02 gr dengan massa tanah kering (m_2) adalah 60,85 gr. Maka kadar air mula-mula yang dihasilkan yaitu 20%. Untuk perubahan air setelah dioven diketahui nilai volume tanah awal (V_i) adalah 4,12 cm³, volume tanah kering adalah 3,44 cm³ dengan massa jenis kerapatan air adalah 1 gr/cm³. Sehingga perubahan kadar air yang didapatkan yaitu 1,12%. Setelah melakukan perhitungan di atas, maka nilai batas susut yang dihasilkan ialah 18,88%.

Pada percobaan batas cair dan batas plastis tidak dapat dilakukan. Karena contoh tanah pada kedua titik ini adalah tanah pasir lempung kerikilan dan pasir lanau kerikilan. Sehingga untuk perhitungan plastisitas indeks pun tidak dapat

dilakukan. Oleh sebab itu, maka contoh tanah pada kedua titik ini tergolong tidak plastis.

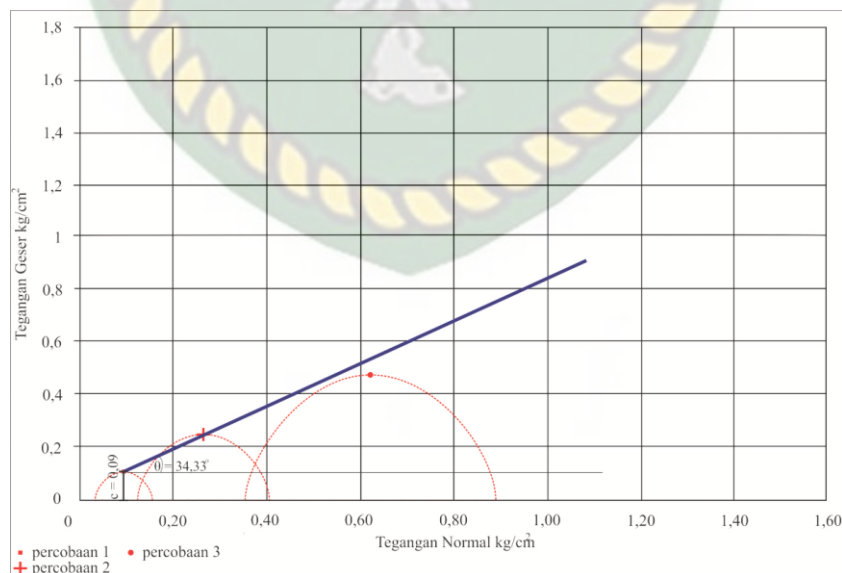
4.2.3 Analisis Kuat Geser Langsung

Analisis kuat geser langsung dilakukan untuk mengetahui material yang digunakan pada bendung. Penentuan jenis material yang digunakan dilihat dari besarnya sudut gesek dalam yang dihasilkan pada analisis ini. Percobaan analisis pada contoh tanah Hb.2 didapatkan nilai sebagai berikut (**Tabel 4.9**).

Tabel 4.9 Kuat Geser Langsung HB-2

Percobaan tanah	1	2	3
Berat jenis (gr/cm^3)	1,934		
Kadar air awal (%)	26,28		
Kadar air akhir (%)	26,16		
Tegangan normal (kg/cm^2)	0,09	0,269	0,627
Tegangan geser (kg/cm^2)	0,119	0,253	0,488

Berat jenis yang didapat adalah $1,934 \text{ gr}/\text{cm}^3$, kadar air awal 26,28% dan kadar air akhir 26,16%. Percobaan ini dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali dengan beban yang berbeda-beda. Pada percobaan pertama, didapatkan nilai tegangan normal $0,09 \text{ kg}/\text{cm}^2$ dan tegangan geser $0,119 \text{ kg}/\text{cm}^2$. Kemudian pada percobaan kedua didapatkan nilai tegangan normal $0,269 \text{ kg}/\text{cm}^2$ dan tegangan geser $0,253 \text{ kg}/\text{cm}^2$.



Gambar 4.10 Kurva Tegangan Geser HB-2

Selanjutnya percobaan ketiga didapatkan nilai tegangan normal $0,627 \text{ kg}/\text{cm}^2$ dan tegangan geser $0,488 \text{ kg}/\text{cm}^2$. Ketiga percobaan tersebut dimasukkan ke dalam

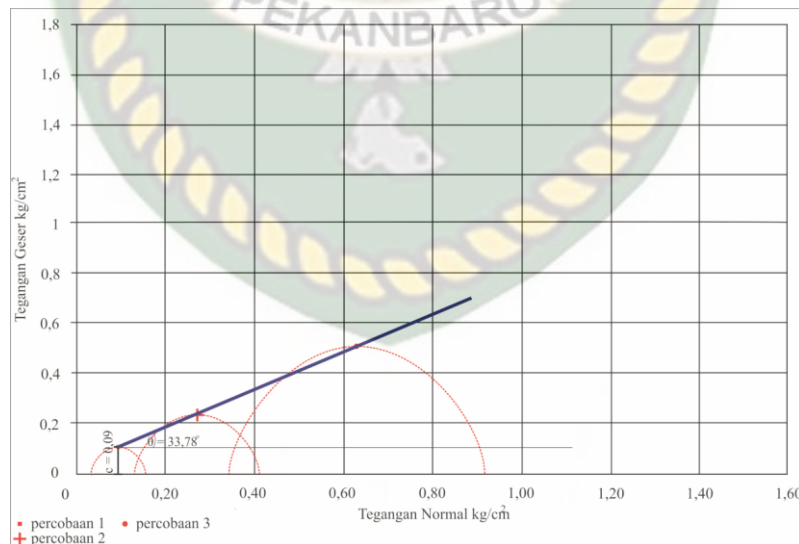
kurva kuat geser langsung. Pada kurva di bawah ini, dapat dilihat bahwa nilai kohesi yang dihasilkan adalah $0,09 \text{ kg/cm}^2$ dan sudut gesekannya adalah $34,33^\circ$.

Selanjutnya percobaan analisis pada contoh tanah Hb.3 didapatkan nilai sebagai berikut.

Tabel 4.10 Kuat Geser Langsung HB-3

Percobaan tanah	1	2	3
Berat jenis (gr/cm^3)	2,029		
Kadar air awal (%)	21,69		
Kadar air akhir (%)	21,47		
Tegangan normal (kg/cm^2)	0,09	0,269	0,627
Tegangan geser (kg/cm^2)	0,114	0,238	0,474

Berat jenis yang didapat adalah $2,029 \text{ gr/cm}^3$, kadar air awal 21,69% dan kadar air akhir 21,47%. Percobaan ini dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali dengan beban yang berbeda-beda. Pada percobaan pertama, didapatkan nilai tegangan normal $0,09 \text{ kg/cm}^2$ dan tegangan geser $0,114 \text{ kg/cm}^2$. Kemudian pada percobaan kedua didapatkan nilai tegangan normal $0,269 \text{ kg/cm}^2$ dan tegangan geser $0,238 \text{ kg/cm}^2$. Selanjutnya percobaan ketiga didapatkan nilai tegangan normal $0,627 \text{ kg/cm}^2$ dan tegangan geser $0,474 \text{ kg/cm}^2$. Ketiga percobaan tersebut dimasukkan ke dalam kurva di bawah ini.



Gambar 4.11 Kurva Tegangan Geser HB-3

Pada kurva di atas, dapat dilihat bahwa nilai kohesi yang dihasilkan adalah $0,06 \text{ kg/cm}^2$ dan sudut gesekannya adalah $33,78^\circ$.

Hasil dari kuat geser langsung ini dapat menentukan jenis bahan material yang digunakan pada bendung. Bahan material yang digunakan tergantung pada nilai sudut dalam dari uji kuat geser langsung (*direct shear stress*). Dimana nilai $\theta_2 = 34,33^\circ$ atau 0,68 dan $\theta_3 = 33,78^\circ$ atau 0,67 jika nilai sudut dicari dengan menggunakan $\tan^{-1}$. Sehingga pada Bendung Davit Kecil, bahan material yang digunakan untuk bendung adalah pasangan batu. Karena nilai koefisien gesekan dari bahan material ini adalah 0,6 – 0,75 dan berat volume 22 kN/m³.

4.3. Rangkuman Hasil Analisis Geomekanika Tanah

Setelah dilakukan analisis-analisis di atas, maka didapatkan rangkuman (**Tabel 4.11**), yaitu pada nomor bor 2 (dua) di kedalaman 3,5 – 4 meter didapatkan persentase butirannya yaitu kerikil 3,2%, pasir 67,8%, lanau 19,59% dan lempung 9,41% dengan jenis tanah tergolong lempung berpasir (SM). Selanjutnya dari butiran tersebut didapatkan nilai Cu dan Cc, dimana Cu 45,38 (keseragaman baik) dan Cc 15,68 (gradasi sangat baik). Batas-batas atterberg yang dihasilkan untuk batas susut (SL) adalah 26,14 dengan batas cair, batas plastis dan plastisitas indeks tergolong tidak plastis. Hasil perhitungan kuat geser langsung yang didapatkan yaitu, kohesi 0,09 dan θ adalah $34,33^\circ$.

Pada nomor bor 3 (tiga) di kedalaman 3,5 – 4 meter didapatkan persentase butirannya yaitu kerikil 2,2%, pasir 68,9%, lanau 21,93% dan lempung 6,97% dengan jenis tanah tergolong lempung berpasir (SM). Selanjutnya dari butiran tersebut didapatkan nilai Cu dan Cc, dimana Cu 20,92 (keseragaman baik) dan Cc 6 (gradasi sangat baik). Batas-batas atterberg yang dihasilkan untuk batas susut (SL) adalah 18,88% dengan batas cair, batas plastis dan plastisitas indeks tergolong tidak plastis. Hasil perhitungan kuat geser langsung yang didapatkan yaitu, kohesi 0,06 dan θ adalah $33,78^\circ$.

Tabel 4.11 Rangkuman hasil analisis-analisis laboratorium yang telah dilakukan

Nomor bor	Kedalaman (m)	Butiran				Jenis Tanah	Cu	Cc	Batas-batas atterberg				Kuat geser langsung	
		Kerikil (%)	Pasir (%)	Lanau (%)	Lempung (%)				SL	Wl	Wp	Ip	c	θ
2	3,5 - 4	3,2	67,8	19,59	9,41	SM	45,38	15,68	26,14	NP	NP	NP	0,09	34,33
3	3,5 - 4	2,2	68,9	21,93	6,97	SM	20,92	6	18,88	NP	NP	NP	0,09	33,78
Keterangan : Cu = koefisien keseragaman; Cc = koefisien gradasi; SL = batas susut; Wl = batas cair; Wp = batas plastis; NP = tidak plastis; Ip = indeks plastis; SM= lempung berpasir; c = kohesi														

4.3 Analisis Stabilitas

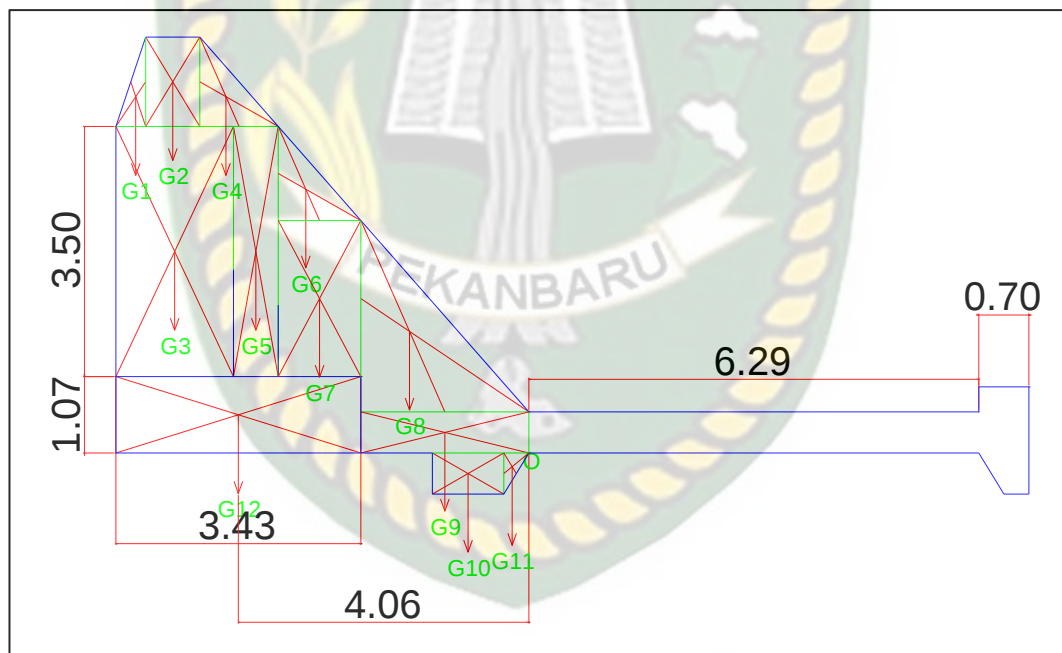
Untuk mengetahui stabilitas bendung, maka perlu dilakukan pengujian terhadap gaya-gaya yang bekerja dan kontrol stabilitas terhadap bendung tersebut.

4.3.1. Gaya-gaya yang Bekerja

Gaya-gaya yang bekerja pada bendung ini dianalisis berdasarkan, gaya berat sendiri, gaya gempa bumi, gaya gaya hidrostatik atau tekanan air, gaya tekanan lumpur dan gaya tekanan ke atas (*uplift – pressure*).

4.3.1.1. Gaya Berat Sendiri

Pada analisis kuat geser langsung telah ditentukan material yang digunakan ialah pasang batu dengan berat volume adalah 22 kN/m^3 atau $2,2 \text{ ton/m}^3$ ($1 \text{ kN/m}^3 = 0,1 \text{ ton/m}^3$). Berikut adalah gambar dan perhitungan gaya berat sendiri bendung untuk Bendung Davit Kecil.



Gambar 4.12 Berat Sendiri Bendung Davit Kecil

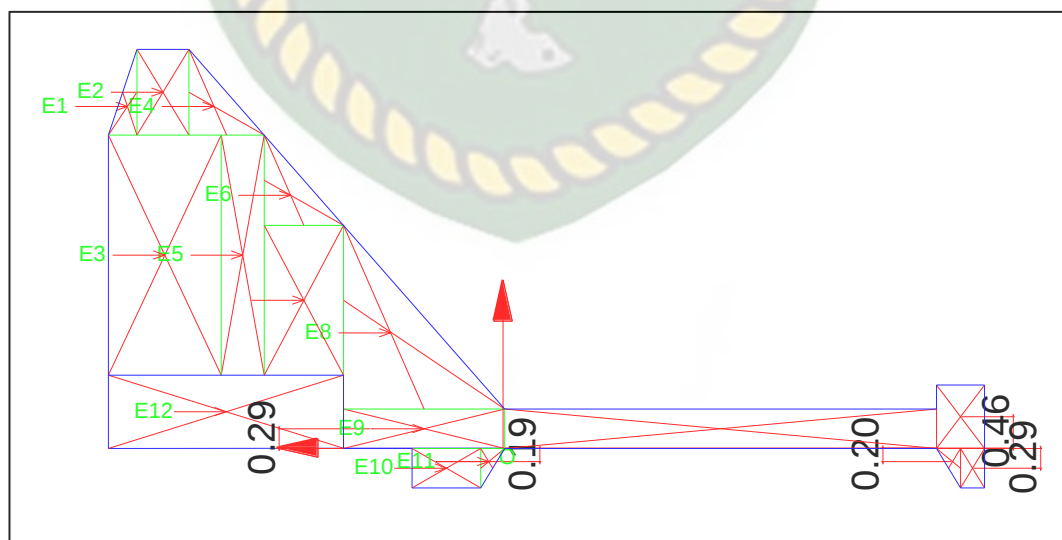
Berdasarkan gambar di atas, maka perhitungan gaya berat sendiri didapatkan dengan hasil sebagai berikut (**Tabel 4.12**).

Tabel 4.12 Perhitungan Gaya Berat Sendiri Bendung Davit Kecil

No.	Gaya	Luas (m ²)	Berat (ton/m)	Jarak ke Titik 0 (m)	M.T Terhadap Titik 0 (ton)
1.	G1	0,26	-0,57	5,50	-3,14
2.	G2	0,95	-2,09	4,98	-10,41
3.	G3	5,74	-12,63	4,95	-62,52
4.	G4	0,69	-1,52	4,24	-6,45
5.	G5	5,53	-12,17	3,82	-46,49
6.	G6	1,89	-4,16	3,12	-12,98
7.	G7	2,53	-5,57	2,93	-16,32
8.	G8	1,60	-3,52	1,67	-5,88
9.	G9	1,25	-2,75	1,18	-3,25
10.	G10	0,58	-1,28	0,85	-1,09
11.	G11	0,10	-0,23	0,23	-0,05
12.	G12	3,67	-8,07	4,06	-32,76
Jumlah			-54,56		-201.34

4.3.1.2. Gaya Gempa Bumi

Gaya gempa yang sangat mempengaruhi stabilitas adalah gaya arah horisontal terhadap guling. Pada bendung ini menggunakan rumus $E = Wbs \cdot \alpha$, dimana koefisien gempa (α) yang digunakan setara dengan daerah Kalimantan, yaitu 0,15. Gaya gempa pada tubuh bendung dan perhitungan gaya gempa dapat dilihat pada gambar dan tabel berikut ini.

**Gambar 4.13** Gaya akibat gempa tubuh Bendung Davit Kecil

Tabel 4.13 Perhitungan Gaya Akibat Gempa Bendung Davit Kecil

No.	Gaya	Gv (ton)	α	Berat (ton)	Jarak (m) ke titik 0	M.T terhadap titik 0 (ton)
1.	E1	0,57	0,15	0,08	4,990	0,4
2.	E2	2,11	0,15	0,32	5,190	1,67
3.	E3	12,63	0,15	1,89	2,820	5,33
4.	E4	1,52	0,15	0,23	4,990	1,15
5.	E5	12,17	0,15	1,83	2,820	5,16
6.	E6	4,17	0,15	0,63	3,690	2,32
7.	E7	5,57	0,15	0,84	2,160	1,81
8.	E8	3,52	0,15	0,53	1,690	0,9
9.	E9	2,75	0,15	0,41	0,290	0,12
10.	E10	1,28	0,15	0,19	0,290	0,06
11.	E11	0,22	0,15	0,03	0,190	0,006
12.	E12	8,07	0,15	1,21	0,540	0,65
Jumlah				8,19		19.576

Dari gambar di atas, didapatkan perhitungan dari masing-masing gaya yaitu pada gaya 1 (E1) memiliki berat gaya vertikal 0,591 ton dengan berat 0,089 ton. Jarak G1 ke titik 0 adalah 4,99 m, sehingga nilai momen tahanan antara G1 dengan titik 0 itu adalah 0,442 ton. Kemudian G2 memiliki berat gaya vertikal 2,138 ton. Jarak dari G2 ke titik 0 adalah 5,19 m, maka nilai momen tahanan G2 terhadap titik 0 adalah 1,664 ton. Berat gaya vertikal G3 adalah 12,915 ton dengan berat 1,937 ton. Jarak G3 ke titik 0 adalah 2,82 m yang menghasilkan nilai momen tahanan dari G3 ke titik 0 adalah 5,463 ton. Selanjutnya G4 memiliki berat gaya vertikal 1,547 ton dengan berat 0,232 ton. Momen tahanan terhadap titik 0 yang dihasilkan dari jarak 4,99 m adalah 1,158 ton.m. Berat yang dihasilkan untuk gaya vertikal 3,544 ton pada E5 adalah 0,532 ton. Jarak E5 ke titik 0 yaitu 2,82 m yang menghasilkan momen tahanan sebesar 1,499 ton.m. Untuk E6 dengan gaya vertikal 4,961 ton menghasilkan momen tahanan sebesar 2,746 ton.m dari jarak 3,69 m dan berat 0,744 ton. Pada E7 dengan gaya vertikal 5,69 ton dan berat 0,853 ton menghasilkan momen tahanan sebesar 1,843 ton dari jarak 2,16 m dengan titik 0. Kemudian E8 memiliki gaya vertikal 7,085 ton dengan berat 1,063 ton. Gaya ini menghasilkan momen tahanan sebesar 1,796 ton dari jarak 1,69 dari titik 0. Selanjutnya E9 menghasilkan momen tahanan sebesar 0,133 ton dari jarak 0,29 m dari titik 0 yang memiliki berat 0,46 ton serta gaya vertikal 3,067 ton. Jarak dari E10 dari titik 0 adalah -0,29 m dengan gaya vertikal 1,305 ton, dari jarak dan gaya vertikal tersebut

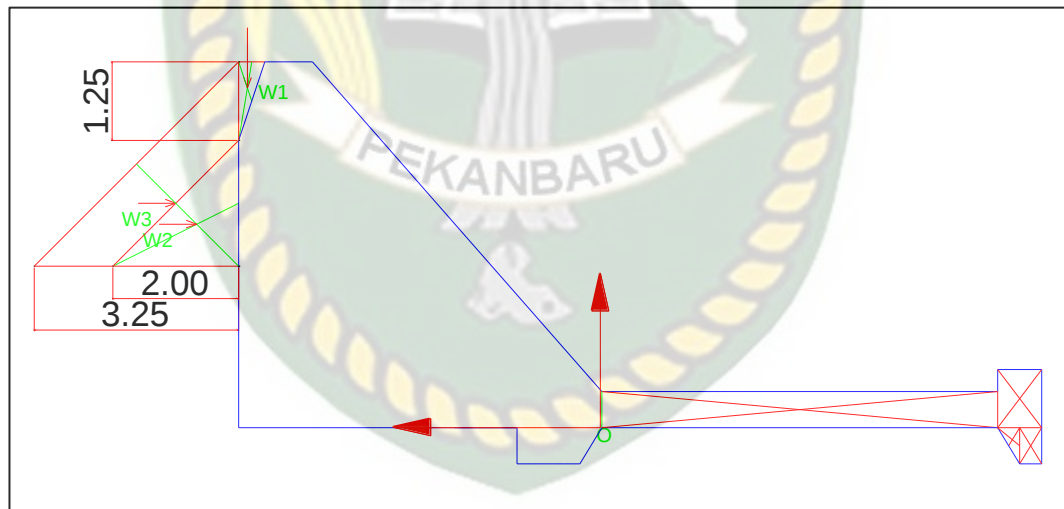
menghasilkan momen tahanan sebesar -0,057 ton dengan berat 0,196 ton. Kemudian E11 memiliki gaya vertikal 0,228 ton yang beratnya 0,034 ton/m. Sehingga dari jarak -0,19 m dari titik 0 menghasilkan momen tahanan sebesar -0,007 ton. Untuk E12 menghasilkan momen tahanan sebesar 0,669 ton dari jarak 0,54 m dari titik 0 yang memiliki gaya vertikal 8,258 ton dan berat 1,239 ton. Maka dari itu, jumlah dari berat gaya ini adalah 7,699 ton dan momen tahanan 17,351 ton.

4.3.1.3. Gaya Hidrostatik

Gaya hidrostatik harus ditinjau pada dua kondisi, yaitu pada kondisi air normal dan pada kondisi air banjir. Dimana berat jenis air (γ_w) adalah 10 kN/m^3 atau 1 ton/m^3 ($1 \text{ kN/m}^3 = 0,1 \text{ ton/m}^3$).

1. Kondisi Air Normal

Gaya hidrostatik pada keadaan air normal dapat dilihat pada gambar dan perhitungan di bawah ini.



Gambar 4.14 Gaya Hidrostatik Pada Keadaan Air Normal di Bendung Davit Kecil

Berdasarkan gambar di atas, dilakukan perhitungan gaya hidrostatik sebagai berikut (**Tabel 4.14**). Pada kondisi air normal dibagi menjadi 3 (tiga) gaya yang bekerja di atas mercu yang telah dibagi menjadi potongan-potongan kecil di bagian terlemah bendung. Gaya W_1 dengan luas $0,26 \text{ m}^2$ dengan berat jenis air adalah 1 ton/m^3 yang bekerja secara vertikal dengan hasil -0,26 ton/m. Jarak ke titik 0 menghasilkan momen tahanan sebesar -1,47 ton. Gaya W_2 dari jarak 3,24 m menghasilkan momen guling sebesar 6,48 ton, dimana luasnya adalah 2 m dan besar gaya yang

bekerja secara horizontal adalah 2 ton/m dengan berat jenis air adalah 1 ton/m³. Untuk gaya W3 gaya yang bekerja secara horizontal yaitu 5,28 ton/m dengan luas 5,28 m² dan berat jenis airnya ialah 1 ton/m³. Pada jarak 3,57 m menghasilkan momen guling sebesar 18,85 ton.

Tabel 4.14 Perhitungan Gaya Hidrostatik Akibat Air Normal

Gaya	Luas (m ²)	γ_w (ton/m ³)	Besar Gaya (ton/m)		Jarak ke titik 0 (m)	Momen Terhadap Titik 0	
			H	V		MT (ton)	MG (ton)
W1	0,26	1		-0,26	5,64	-1,47	
W2	2	1	2		3,24		6,48
W3	5,28	1	5,28		3,57		18,85
Jumlah =			7,28	-0,26		-1,47	25,33

Berdasarkan gaya-gaya yang bekerja tersebut, maka dihitung jumlah total dari besar gaya dan momen terhadap titik 0 (nol). Besar gaya dibagi menjadi 2 (dua), yaitu besar gaya horizontal dan besar gaya vertikal. Jumlah besar gaya horizontal didapatkan dari penjumlahan antara gaya W₁ ditambah dengan gaya W₂ didapatkan nilai 7,28 ton/m. Kemudian jumlah besar gaya vertikal adalah -0,26 ton/m yang didapatkan dari hasil perhitungan gaya W₂. Jumlah dari nilai momen terhadap titik 0 juga dibagi menjadi 2 (dua), yaitu momen tahanan dan momen guling. Momen tahanan dengan jumlah -1,47 ton, yang didapatkan dari perhitungan besar gaya vertikal dan jarak ke titik 0. Sedangkan jumlah momen guling didapatkan dari perhitungan antara gaya W₂ dan W₃ yang didapatkan dari perhitungan besar gaya horizontal dengan jarak ke titik 0. Sehingga jumlah momen guling yang dihasilkan adalah 25,33 ton.

2. Kondisi Air Banjir

Gaya hidrostatik pada keadaan air banjir dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini. Dimana ketentuan nilai berat jenis air (γ_w) adalah 10 kN/m³ atau 1 ton/m³.

Tabel 4.15 Perhitungan Gaya Hidrostatik Bendung Akibat Air Banjir

Gaya	Luas (m ²)	γ_w (ton/m ³)	Besar Gaya (ton/m)		Jarak ke titik 0 (m)	Momen Terhadap Titik 0	
			H	V		MT (ton)	MG (ton)
W1	0,26	1		-0,26	5,64	-1,47	
W2	2	1	2		3,24		6,48
W3	5,28	1	5,28		3,57		18,85
W4	8	1	8		4,19		33,52
W5	0,89	1		-0,89	5,19	-4,62	
W6	1,76	1		-1,76	4,19	-7,37	
Jumlah =			13,54	-2,91		-13,46	58,85

Pada kondisi air banjir dibagi menjadi 6 (enam) gaya yang bekerja di mercu yang telah dibagi menjadi potongan-potongan kecil di bagian terlemah bendung. Potongan-potongan ini memiliki bentuk yang berbeda-beda. Gaya W₁ memiliki luas 0,26 m² dengan berat jenis air (γ_w) adalah 1 ton/m³. Kemudian dilakukan perhitungan perkalian luas dikali dengan berat jenis gaya (γ_w). Sehingga didapatkan nilai besar gaya vertikal adalah -0,26 ton/m. Selanjutnya dilakukan perhitungan momen tahanan dengan cara besar gaya vertikal dikali dengan nilai jarak ke titik 0, dimana nilai jarak ke titik 0 ialah 5,64 m. Sehingga nilai momen tahanan adalah -1,47 ton.

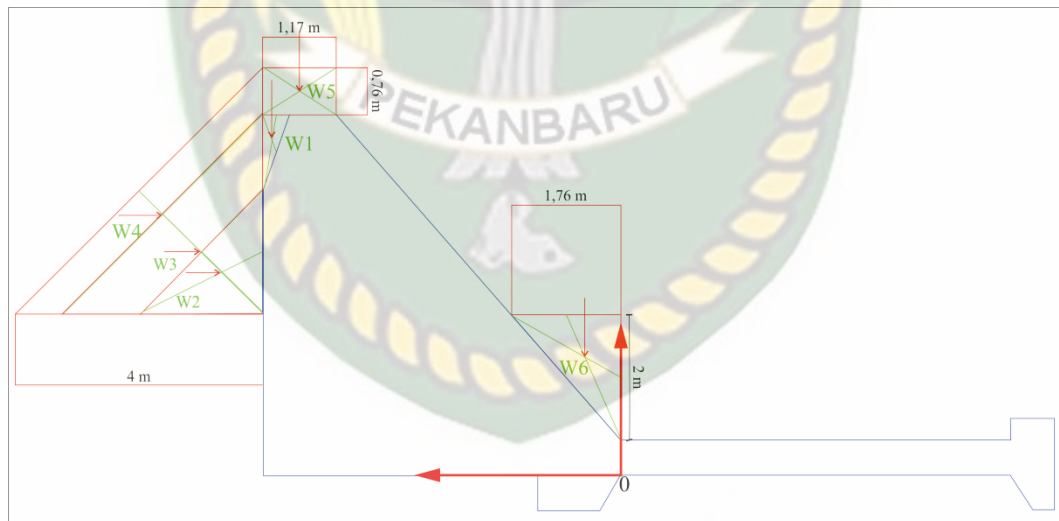
Gaya W₂ memiliki luas 2 m dengan berat jenis air (γ_w) 1 ton/m³. Kemudian didapatkan nilai besar gaya horizontal adalah 2 ton/m. Selanjutnya dilakukan perhitungan momen guling dengan cara nilai besar gaya horizontal dikali dengan nilai jarak ke titik 0, dimana nilai jarak ke titik 0 adalah 3,24 m. Sehingga nilai momen guling adalah 6,48 ton.

Selanjutnya, gaya W₃ bekerja secara horizontal dengan besar gaya 5,28 ton/m dimana berat jenis air (γ_w) 1 ton/m³ dan luas 5,28 m². Setelah didapatkan nilai besar gaya horizontal, dilakukan perhitungan momen guling. Cara mencari nilai momen guling yaitu besar gaya horizontal dikali dengan jarak ke titik 0, dimana nilai jarak ke titik 0 ialah 3,24 m. Maka, nilai momen guling yang dihasilkan adalah 17,11 ton.

Kemudian gaya W₄ didapatkan luas 8 m dengan besar gaya yang bekerja secara horizontal adalah 8 ton/m. Momen guling yang dihasilkan pada jarak 4,19 m adalah 33,52 ton. Untuk gaya W₅ didapatkan momen guling tahanan sebesar -4,62 ton

dari jarak 5,19 m. Besar gaya yang dihasilkan adalah $-0,89 \text{ ton/m}$ dengan luas $0,89 \text{ m}^2$. Selanjutnya dari jarak 4,19 m menghasilkan momen guling sebesar $-7,37 \text{ ton}$ dengan besar gaya horizontal $-1,76 \text{ ton/m}$ serta luas $1,76 \text{ m}$.

Berdasarkan gaya-gaya yang bekerja tersebut, maka dihitung jumlah total dari besar gaya dan momen terhadap titik 0 (nol). Besar gaya dibagi menjadi 2 (dua), yaitu besar gaya horizontal dan besar gaya vertikal. Jumlah besar gaya horizontal adalah $13,54 \text{ ton/m}$ dan jumlah besar gaya vertikal adalah $-2,91 \text{ ton/m}$. Jumlah dari nilai momen terhadap titik 0 juga dibagi menjadi 2 (dua), yaitu momen tahanan dan momen guling. Momen tahanan dengan jumlah $-13,46 \text{ ton}$, yang didapatkan dari perhitungan besar gaya vertikal dan jarak ke titik 0. Sedangkan jumlah momen guling didapatkan dari perhitungan antara gaya W_2 dan W_3 yang didapatkan dari perhitungan besar gaya horizontal dengan jarak ke titik 0. Sehingga jumlah momen guling yang dihasilkan adalah $58,85 \text{ ton}$. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini (**Gambar 4.15**).



Gambar 4.15 Gaya Hidrostatik Bendung Davit Kecil Pada Kondisi Air Banjir

4.3.1.4. Gaya Akibat Lumpur

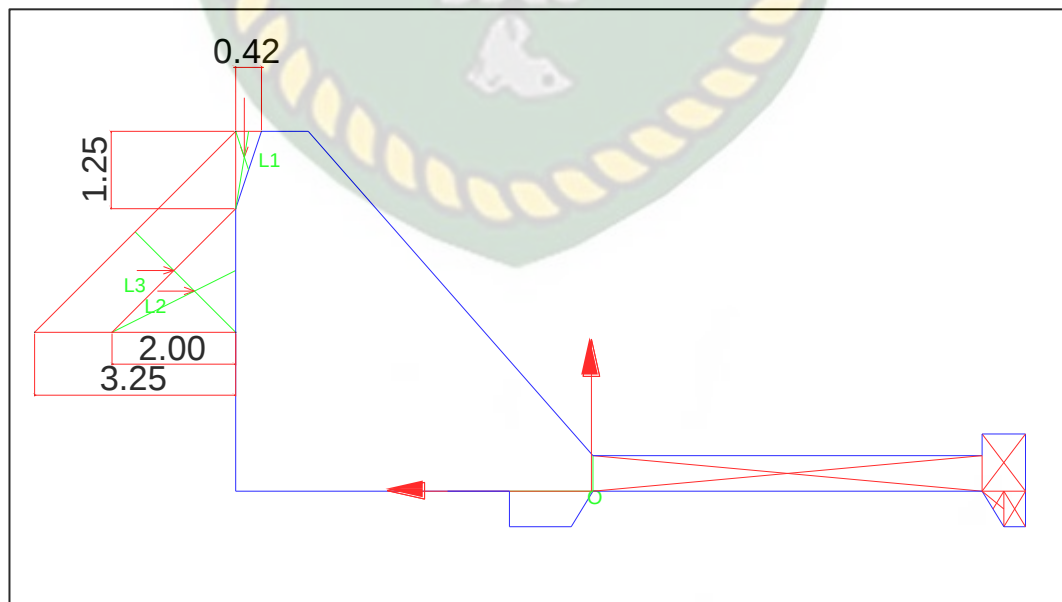
Apabila bendung sudah bekerja, maka akan terjadi penimbunan endapan lumpur di depan bendung. Endapan lumpur ini diperhitungkan setinggi mercu. Tekanan lumpur yang bekerja dihitung dengan menggunakan persamaan $L =$

$\frac{\gamma_s \cdot a \cdot t}{2} \left(\frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} \right)$, dimana $\theta = 20^\circ$ dan $\gamma_s = 1,63 \text{ ton/m}^3$. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.16 Perhitungan Gaya Akibat Tekanan Lumpur

Gaya	Besar Gaya (ton/m)		Lengan Momen (m)		Momen (ton)	
	V	H	(x-x)	(y-y)	MG	MT
L ₁	-0,21		5,64			-1.18
L ₂		1,61		3,24	5,22	
L ₃		4,21		3,57	15,03	
Jumlah	-0,21	5,81			20,25	-1,18

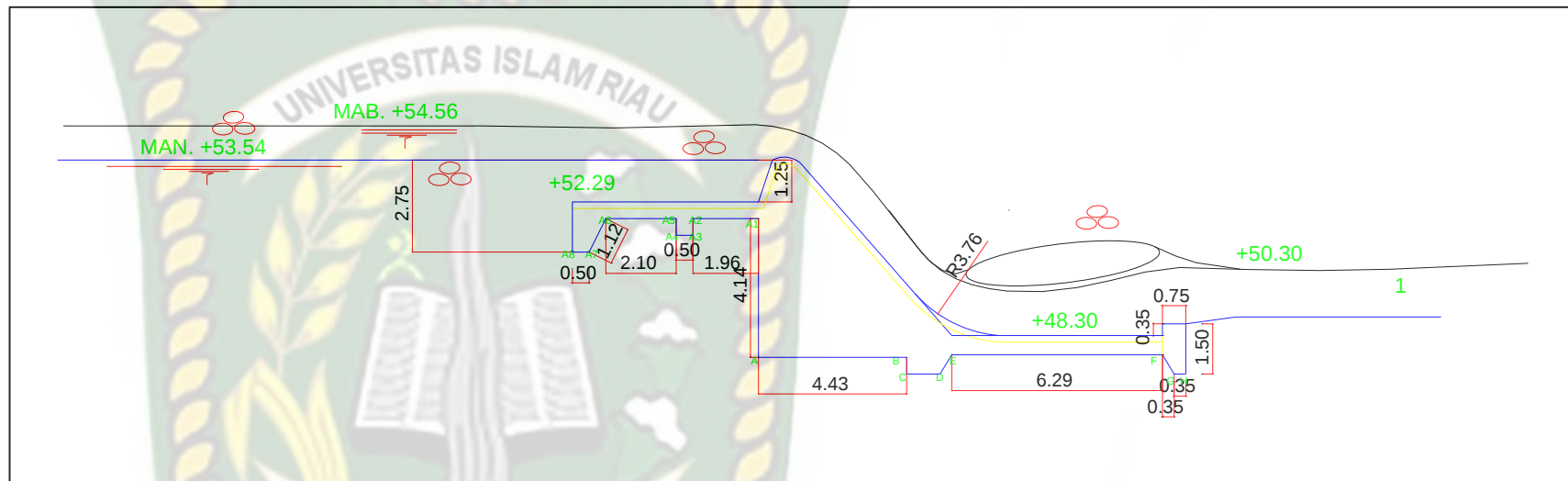
Gaya-gaya akibat tekanan lumpur dibagi menjadi 3 (tiga) titik yang diperkirakan memiliki kumpulan dari endapan sedimen. Gaya L₁ dengan besar gaya vertikal -0,21 ton/m dimana jaraknya adalah 5,64 m yang menghasilkan momen tahanan sebesar -1,18 ton. Untuk besar gaya L₂ bekerja secara horizontal yaitu 1,61 ton/m dengan jarak 3,24 m yang menghasilkan momen guling sebesar 5,22 ton. Kemudian pada gaya L₃ yang bekerja secara horizontal ialah sebesar 4,21 ton/m dengan jarak 3,57 m yang menghasilkan momen guling sebesar 15,03 ton. Berdasarkan gaya-gaya yang bekerja pada tekanan lumpur ini, maka total besar gaya vertikal adalah -0,21 ton/m dan gaya horizontal adalah 5,81 ton/m. Untuk jumlah momen guling yang dihasilkan adalah 20,25 ton dan momen tahanan adalah -1,18 ton. Lebih jelasnya dapat dilihat dari gambar di bawah ini (**Gambar 4.16**).



Gambar 4.16 Gaya Akibat Tekanan Lumpur di Bendung Davit Kecil

4.3.1.5. Gaya Akibat Tekan ke Atas (*Uplift – Pressure*)

Persamaan gaya tekan ke atas (*up lift – pressure*) untuk bangunan yang didirikan pada pondasi batuan menggunakan persamaan Lane adalah $P_x = H_x - \frac{L_x}{L} \cdot \Delta H$. Dari persamaan Lane tersebut maka besarnya tekanan tiap-tiap titik akan dapat diketahui. Dilihat dari rumus tersebut, maka secara teoritis gaya tekan ke atas (*up lift – pressure*) kemungkinan ada yang akan bernilai negatif. Namun tekanan bernilai negatif tidak akan terjadi, maka tekanan negatif ini besarnya dianggap nol. Gambar titik – titik untuk perhitungan gaya tekan ke atas (*up lift – pressure*) dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.17 Gaya Tekan Ke Atas (*up lift – pressure*) Bendung Davit Kecil

Pada gambar di atas diketahui bahwa panjang dari setiap segmen, yaitu A8-A7 adalah 0,5 m, panjang segmen A7-A6 adalah 1,12 m, A6-A5 adalah 2,1 m, A5-A4 adalah 0,5 m, A4-A3 adalah 0,5 m, A3-A2 adalah 0,5 m, A2-A1 adalah 1,96, A1-A adalah 4,14, A-B adalah 4,43 m, B-C adalah 0,58 m, C-D adalah 1 m, D-E adalah 0,67 m, E-F adalah 6,29 m, F-G adalah 0,67 m dan G-H adalah 0,35 m. Sehingga dari segmen-segmen tersebut panjang totalnya adalah 25,3 m.

Tekanan ke atas kemungkinan ada yang akan bernilai negatif. Dikarenakan tekanan bernilai negatif kenyataannya tidak akan terjadi, maka tekanan negatif ini dianggap nol. Gambar titik-titik untuk perhitungan tekanan ke atas ini dapat dilihat pada gambar di atas (**Gambar 4.17**). Untuk Perhitungan gaya tekan ke atas (*up lift – pressure*) dapat dilihat pada tabel di bawah ini (**Tabel 4.17**).

Tabel 4.17 Perhitungan gaya tekan ke atas (*up lift – pressure*) bendung Davit Kecil pada kondisi air normal dan air banjir

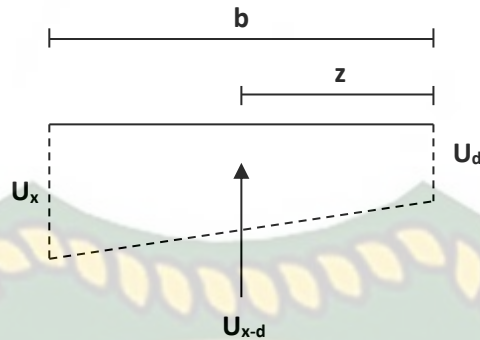
Titik	H _x (m)	L _x (m)	$\frac{L_x}{L} \cdot \Delta H$ (m)	P _x (ton)	Keterangan
Kondisi air normal					
A1	1,75	18,12	2,97	0	L = 25,3 m ΔH= 4,15
A	5,82	13,99	2,30	3,52	
B	5,82	9,56	1,57	4,25	
C	6,4	8,98	1,48	4,92	
D	6,4	7,98	1,31	5,09	
E	6,98	7,31	1,20	5,78	
Kondisi air banjir					
A1	2,77	18,06	3,05	0	L = 25,3 m ΔH= 4,26
A	6,84	13,99	2,37	4,48	
B	6,84	9,56	1,62	5,22	
C	7,42	8,98	1,52	5,90	
D	7,42	7,98	1,35	6,07	
E	8	7,31	1,24	6,77	

Pada kondisi air normal, titik A1 dengan nilai H_x adalah 1,75 m, L_x 18,06 m dan $\frac{L_x}{L} \cdot \Delta H$ 2,97 m² menghasilkan gaya angkat pada titik x dianggap 0. Karena nilai yang dihasilkan yaitu -1,22 kg/m². Untuk titik A nilai H_x adalah 5,82 m, L_x 13,99 m dan $\frac{L_x}{L} \cdot \Delta H$ 2,3 m. Sehingga menghasilkan besarnya gaya angkat yaitu 3,519 kg/m². Gaya angkat yang dihasilkan pada titik B adalah 4,25 kg/m² dimana nilai H_x 5,82 m, L_x 9,56 m dan $\frac{L_x}{L} \cdot \Delta H$ 1,57 m². Titik C menghasilkan gaya angkat

sebesar $4,92 \text{ kg/m}^2$ dengan H_x 6,4 m, L_x 8,98 m dan $\frac{L_x}{L} \cdot \Delta H$ 1,48 m^2 . Kemudian pada titik D dengan nilai H_x 6,4 m, L_x 7,98 m dan $\frac{L_x}{L} \cdot \Delta H$ 1,31 m^2 menghasilkan gaya angkat sebesar $5,09 \text{ kg/m}^2$. Selanjutnya titik E memiliki nilai H_x 6,98 m, L_x 7,31 m dan $\frac{L_x}{L} \cdot \Delta H$ 1,20 m^2 . Besarnya gaya yang dihasilkan dari nilai-nilai tersebut adalah $5,78 \text{ kg/m}^2$.

Pada kondisi air banjir, titik A1 dengan nilai H_x adalah 2,77 m, L_x 18,06 m dan $\frac{L_x}{L} \cdot \Delta H$ 3,05 m^2 menghasilkan gaya angkat pada titik x dianggap 0. Karena nilai yang dihasilkan yaitu $-0,283 \text{ kg/m}^2$. Untuk titik A nilai H_x adalah 6,84 m, L_x 13,09 m dan $\frac{L_x}{L} \cdot \Delta H$ 2,37 m^2 . Sehingga menghasilkan besarnya gaya angkat yaitu $4,48 \text{ kg/m}^2$. Gaya angkat yang dihasilkan pada titik B adalah $5,22 \text{ kg/m}^2$ dimana nilai H_x 6,84 m, L_x 9,56 m dan $\frac{L_x}{L} \cdot \Delta H$ 1,616 m^2 . Titik C menghasilkan gaya angkat sebesar $5,90 \text{ kg/m}^2$ dengan H_x 7,42 m, L_x 8,98 m dan $\frac{L_x}{L} \cdot \Delta H$ 1,52 m^2 . Kemudian pada titik D dengan nilai H_x 7,42 m, L_x 7,98 m dan $\frac{L_x}{L} \cdot \Delta H$ 1,349 m^2 menghasilkan gaya angkat sebesar $6,07 \text{ kg/m}^2$. Selanjutnya titik E memiliki nilai H_x 8 m, L_x 7,31 m dan $\frac{L_x}{L} \cdot \Delta H$ 1,24 m^2 . Besarnya gaya yang dihasilkan dari nilai-nilai tersebut adalah $6,77 \text{ kg/m}^2$.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan gaya tekan ke atas (*up lift – pressure*) pada bidang kontak dengan menggunakan rumus $U_{x-d} = 1/2 \cdot b \cdot (U_x + U_d)$. Gaya tekan ke atas (*uplift – pressure*) ini bekerja pada titik berat bidang trapesium sejauh z dari titik d, dan dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut $z = \frac{2 \cdot U_x + U_d}{3(U_x + U_d)} \times b$. Maksud dari persamaan tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 4.18 Gaya tekan ke atas (*uplift – pressure*) pada bidang kontak yang bekerja pada bidang trapesium

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat dari tabel di bawah ini (**Tabel 4.18**).

Tabel 4.18 Perhitungan Gaya Tekan ke Atas (*uplift – pressure*) Pada Bidang Kontak Bendung Davit Kecil Saat Kondisi Air Normal

Segmen	U_x (ton)	U_d (ton)	b (m)	H (ton)	V (ton)	Z (m)	Lengan momen (m)	MG (ton.m)	MT (ton.m)
A1 – A	0	3,52	3		5,28	1	3,07		16,2
A – B	3,52	4,25	3,43	13,32		1,66	4,1	54,61	
B – C	4,25	4,92	1,07		4,91	0,52	0,55		2,69
C – D	4,92	5,09	1	5,01		0,5	1,83	9,17	
D – E	5,09	5,78	0,58		3,15	0,28	-0,28		-0,89
JUMLAH				18,33	13,34			63,78	18
Gaya tekan ke atas (<i>uplift – pressure</i>) yang bekerja dianggap 60%				10,99	8			38,27	10,8

Pada segmen A1-A diketahui nilai U_x adalah 0 dan U_d adalah 3,52 ton dengan nilai b yaitu 3 m. Besar gaya vertikal yang dihasilkan pada segmen ini adalah 5,28 ton dan gaya yang bekerja pada titik z adalah 1 m. Momen tahanan yang didapatkan adalah 16,2 dimana jarak lengan momennya adalah 3,07 m. Untuk segmen A-B, nilai U_x adalah 3,52 ton dan U_d adalah 4,25 ton dengan b bernilai 3,43 m. besar gaya horizontal yang dihasilkan adalah 13,32 m dan z adalah 1,66 m. panjang lengan momen pada segmen ini adalah 4,1 m dengan momen guling sebesar 54,61 ton.m. Selanjutnya segmen B-C diketahui nilai U_x adalah 4,25 ton, U_d 4,92 ton dan b 1,07 m. Besarnya gaya vertikal yang dihasilkan pada segmen ini adalah 4,91 ton dengan gaya yang bekerja pada titik z bernilai 0,52 m. Momen tahanan yang dihasilkan adalah 2,69 ton.m dari jarak 0,55 m. Kemudian di segmen C-D menghasilkan gaya horizontal sebesar 5,01 ton dengan nilai U_x adalah 4,92 ton,

Ud 5,09 ton dan b adalah 1 m. Gaya yang bekerja pada titik z adalah 0,5 m serta jarak yang dihasilkan untuk momen guling 9,17 ton adalah 1,83 m. Momen tahanan yang dihasilkan pada segmen D-E adalah -0,89 dimana jarak lengan momennya adalah -0,28 m. Besar gaya vertikal yang dihasilkan adalah 3,15 ton dengan nilai z adalah 0,28.

Berdasarkan gaya-gaya yang bekerja pada setiap segmen di atas, maka total yang dihasilkan untuk besar gaya horizontal adalah 18,33 ton dan gaya vertikal adalah 13,34 ton. Kemudian untuk momen guling dengan jumlah 63,78 ton dan momen tahanan adalah 18 ton. Gaya tekanan ke atas yang bekerja dianggap 60% dari jumlah total yang besar gaya dan momen. Dimana, besar gaya horizontal menjadi 10,99 ton dan gaya vertikal menjadi 8 ton. Untuk momen tahanan menjadi 10,8 ton dan momen guling menjadi 38,27 ton.

Saat kondisi air banjir, gaya tekanan ke atas yang didapatkan adalah sebagai berikut (**Tabel 4.19**).

Tabel 4.19 Perhitungan Gaya Tekan Ke Atas (*uplift – pressure*) Pada Bidang Kontak Bendung Davit Kecil Saat Kondisi Air Banjir

Segmen	U _x (ton)	U _d (ton)	b (m)	H (ton)	V (ton)	Z (m)	Lengan momen (m)	MG (ton.m)	MT (ton.m)
A1 – A	0	4,48	3		6,71	1	3,07		20,61
A – B	4,48	5,22	3,43	16,64		1,67	4,1	68,03	
B – C	5,22	5,9	1,07		5,95	0,52	0,55		3,25
C – D	5,9	6,07	1	5,99		0,5	1,83	10,97	
D – E	6,07	6,76	0,58		3,72	0,28	-0,28		-1,06
JUMLAH				22,63	16,38			79	22,8
Gaya tekan ke atas (<i>uplift – pressure</i>) yang bekerja dianggap 60%				13,58	9,83			47,4	13,68

Pada segmen A1-A diketahui nilai U_x adalah 0 dan U_d adalah 4,48 ton dengan nilai b yaitu 3 m. Besar gaya vertikal yang dihasilkan pada segmen ini adalah 6,71 ton dan gaya yang bekerja pada titik z adalah 1 m. Momen tahanan yang didapatkan adalah 20,61 ton dimana jarak lengan momennya adalah 3,07 m. Untuk segmen A-B, nilai U_x adalah 4,48 ton dan U_d adalah 5,22 ton dengan b bernilai 3,43 m. besar gaya horizontal yang dihasilkan adalah 16,64 m dan z adalah 1,67 m. panjang lengan momen pada segmen ini adalah 4,1 m dengan momen guling sebesar 68,03

ton.m. Selanjutnya segmen B-C diketahui nilai U_x adalah 5,22 ton, U_d 5,9 ton dan b 1,07 m. Besarnya gaya vertikal yang dihasilkan pada segmen ini adalah 5,95 ton dengan gaya yang bekerja pada titik z bernilai 0,52 m. Momen tahanan yang dihasilkan adalah 3,25 ton.m dari jarak 0,55 m. Kemudian di segmen C-D menghasilkan gaya horizontal sebesar 5,99 ton dengan nilai U_x adalah 5,9 ton, U_d 6,07 ton dan b adalah 1 m. Gaya yang bekerja pada titik z adalah 0,5 m serta jarak yang dihasilkan untuk momen guling 10,97 ton adalah 1,83 m. Momen tahanan yang dihasilkan pada segmen D-E adalah -1,06 ton.m dimana jarak lengan momennya adalah -0,28 m. Besar gaya vertikal yang dihasilkan adalah 3,72 ton dengan nilai z adalah 0,28.

Berdasarkan gaya-gaya yang bekerja pada setiap segmen di atas, maka total yang dihasilkan untuk besar gaya horizontal adalah 22,63 ton dan gaya vertikal adalah 16,38 ton. Kemudian untuk momen guling dengan jumlah 79 ton dan momen tahanan adalah 22,8 ton. Gaya tekanan ke atas yang bekerja dianggap 60% dari jumlah total yang besar gaya dan momen. Dimana, besar gaya horizontal menjadi 13,58 ton dan gaya vertikal menjadi 9,83 ton. Untuk momen tahanan menjadi 47,4 ton dan momen guling menjadi 13,68 ton.

Berikut ini merupakan rangkuman gaya-gaya yang terjadi pada Bendung Davit Kecil pada kondisi air normal dan kondisi air banjir.

Tabel 4.20 Rangkuman Gaya-gaya yang Bekerja Pada Kondisi Air Normal

No	Jenis Pembebanan	Gaya Vertikal		Gaya Horizontal		Momen			
		V	Arah	H	Arah	MT	Arah	MG	Arah
1	Berat Sendiri	-54.56	↓			-201.34	↺		
2	Gaya Gempa			8.19	→			19.576	↺
3	Tekanan Hidrostatik	-0.26	↓	7.28	→	-1.47	↺	25.33	↺
4	Tekanan Lumpur	-0.21	↓	5.81	→	-1.18	↺	20.25	↺
5	Tekanan Ke atas	8	↑	-10.99	←	10.8	↺	-38.27	↻
Jumlah		-47.03		10.29		-193.19		26.886	

Berdasarkan gaya-gaya yang bekerja pada kondisi air normal, maka jumlah besar gaya vertikalnya adalah -47,03 dan gaya horizontalnya adalah 10,29. Untuk jumlah momen tahanan yang dihasilkan adalah -193,19 dan momen guling adalah 26,886.

Tabel 4.21 Rangkuman Gaya-gaya yang Bekerja Pada Kondisi Air Banjir

No	Jenis Pembebanan	Gaya Vertikal		Gaya Horizontal		Momen			
		V	Arah	H	Arah	MT	Arah	MG	Arah
1	Berat Sendiri	-54.56	↓			-201.34	↺		
2	Gaya Gempa			8.19	→			19.576	↺
3	Tekanan Hidrostatik	-2.91	↓	13.54	→	-13.46	↺	58,185	↺
4	Tekanan Lumpur	-0.21	↓	5.81	→	-1.18	↺	20.25	↺
5	Tekanan Ke atas	9.83	↑	-13.58	←	13.68	↺	-47.14	↻
Jumlah		-47.85		14.02		-202.29		50.871	

Keterangan:
 ↓ = gaya vertikal ke bawah; ↑ = gaya vertikal ke atas; → = gaya horizontal ke kanan;
 ← = gaya horizontal ke kiri; ↺ = gaya memutar ke atas; ↻ = gaya memutar ke bawah

Berdasarkan gaya-gaya yang bekerja pada kondisi air banjir, maka jumlah besar gaya vertikalnya adalah -47,85 dan gaya horizontalnya adalah 14,02. Untuk jumlah momen tahanan yang dihasilkan adalah -202,29 dan momen guling adalah 50,871.

4.3.2. Kontrol Stabilitas

Perhitungan stabilitas bendung dikontrol terhadap guling, geser eksentrisitas atau retak dan daya dukung tanah. Kontrol stabilitas ini dilihat berdasarkan 2 (dua) kondisi muka air, yaitu kondisi muka air normal dan kondisi muka air banjir. Pada tegangan tanah (σ) yang diijinkan adalah 3,75 kg/cm².

4.3.2.1. Kontrol Terhadap Guling

Kontrol terhadap guling saat kondisi air normal didapatkan sebagai berikut.

$$\frac{\sum MT}{\sum MG} \geq 1,5$$

$$\frac{193,19}{26,886} \geq 1,5$$

$$7,19 \geq 1,5$$

Kontrol terhadap guling saat kondisi air normal yaitu 7,19. Hasil perhitungan ini memenuhi syarat karna sesuai dengan gaya guling, dimana $\sigma \geq 1,5$. Sehingga bendung kuat terhadap kontrol guling.

Untuk kondisi air banjir pada kontrol terhadap guling, didapatkan perhitungan sebagai berikut.

$$\frac{\sum MT}{\sum MG} \geq 1,5$$

$$\frac{202,29}{50,871} \geq 1,5$$

$$3,97 \geq 1,5$$

Kontrol terhadap guling saat kondisi air banjir yaitu 3,97 dimana hasil perhitungan dianggap bernilai positif. Hasil perhitungan ini memenuhi syarat karna sesuai dengan ijin gaya guling, dimana $\sigma \geq 3,75$. Sehingga bendung kuat terhadap kontrol guling.

4.3.2.2. Kontrol Terhadap Geser

Kontrol terhadap geser saat kondisi air normal didapatkan perhitungan sebagai berikut.

$$\frac{\sum V \cdot \tan \theta}{\sum H} \geq 1,5$$

$$\frac{47,03 \cdot \tan 34,05}{10,29} \geq 1,5$$

$$3,11 \geq 1,5$$

Kontrol terhadap geser saat kondisi air normal yaitu 3,11 dimana hasil perhitungan dianggap bernilai positif. Hasil perhitungan ini memenuhi syarat karna sesuai dengan ijin gaya geser, dimana $\sigma \geq 1,5$. Sehingga bendung kuat terhadap kontrol geser.

Saat kondisi air banjir, kontrol terhadap geser yang dihasilkan adalah sebagai berikut.

$$\frac{\sum V \cdot \tan \theta}{\sum H} \geq 1,00$$

$$\frac{47,85 \cdot \tan 34,05}{14,02} \geq 1,00$$

$$2,32 \geq 1,00$$

Kontrol terhadap geser saat kondisi air banjir yaitu 2,32. Hasil perhitungan ini memenuhi syarat karna sesuai dengan ijin gaya geser saat banjir, dimana $\sigma \geq 1$. Sehingga bendung kuat terhadap kontrol geser saat air banjir.

4.3.2.3. Kontrol Terhadap Eksentrisitas

Kondisi air normal untuk kontrol terhadap eksentrisitas didapatkan sebagai berikut.

$$a = \frac{\sum MT - \sum MG}{\sum V}$$

$$a = \frac{220,616}{47,03}$$

$$a = 4,69 \text{ m}$$

dan,

$$e = \frac{B}{2} - a \leq \frac{B}{6}$$

$$e = \frac{8}{2} - 4,69 \leq \frac{8}{6}$$

$$e = -0,69 \leq 1,333$$

Kontrol terhadap eksentrisitas saat kondisi air normal yaitu 0,69 dimana hasil perhitungan dianggap bernilai positif. Hasil perhitungan ini memenuhi syarat, dimana $\sigma \leq 1,33$. Sehingga bendung aman terhadap kontrol eksentrisitas.

Saat kondisi air banjir, besarnya nilai kontrol terhadap eksentrisitas adalah sebagai berikut.

$$a = \frac{\sum MT - \sum MG}{\sum V}$$

$$a = \frac{253,161}{47,85}$$

$$a = 5,29 \text{ m}$$

dan,

$$e = \frac{B}{2} - a \leq \frac{B}{6}$$

$$e = \frac{8}{2} - 5,29 \leq \frac{8}{6}$$

$$e = 1,29 \leq 1,333$$

Kontrol terhadap eksentrisitas saat kondisi air banjir yaitu 1,29. Hasil perhitungan ini memenuhi syarat, dimana $\sigma \leq 1,33$. Sehingga bendung aman terhadap kontrol eksentrisitas saat kondisi air banjir.

4.3.2.4. Kontrol Terhadap Daya Dukung Tanah

Berikut merupakan perhitungan daya dukung tanah pada kondisi air normal.

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{\sum V}{B} \times \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) \\ &= \frac{-47,03}{8} \times \left(1 - \frac{6 \cdot 1,29}{8}\right) \\ &= 0,19\end{aligned}$$

Kontrol terhadap daya dukung tanah saat kondisi air normal yaitu 0,19. Hasil perhitungan ini memenuhi syarat karna sesuai dengan ijin daya dukung tanah, dimana $\sigma \leq 3,75$. Sehingga bendung kuat terhadap kontrol daya dukung tanah.

Besarnya kontrol daya dukung tanah pada kondisi air banjir didapatkan dengan cara berikut.

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{\sum V}{B} \times \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) \\ &= \frac{-47,85}{8} \times \left(1 - \frac{6 \cdot 0,391}{8}\right) \\ &= 1,232\end{aligned}$$

Saat kondisi air banjir, besarnya daya dukung tanah yang dihasilkan adalah 1,232. Nilai ini telah memenuhi syarat karna sesuai dengan nilai ijin daya dukung tanah, dimana $\sigma \leq 3,75$. Sehingga bendung kuat terhadap kontrol daya dukung tanah.

4.3.3. Keamanan Stabilitas Bendung

Setelah dilakukan perhitungan terhadap gaya-gaya yang bekerja dan kontrol stabilitas bending, maka didapatkan hasil keamanan stabilitas bendung sebagai berikut.

Tabel 4.22 Rangkuman Kontrol Stabilitas Pada Kondisi Air Normal dan Kondisi Air Banjir

No.	Kontrol Stabilitas	Kondisi		Keterangan	
		Air Normal	Air Banjir	Air Normal	Air Banjir
1.	Guling	7,19	3,97	Kuat	Kuat
2.	Geser	3,11	2,32	Kuat	Kuat
3.	Eksentrisitas	0,69	1,29	Aman	Aman
4.	Daya dukung tanah	0,19	1,232	Kuat	Kuat

Tabel di atas dapat disimpulkan bahwa bendung pada dua kondisi, aman terhadap kontrol eksentrisitas dan kuat terhadap kontrol guling, geser dan daya dukung tanah.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pada hasil penelitian di perencanaan Bendung Davit Kecil ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada HB-2 terdapat lapisan tanah pasir lanauan di kedalaman 0-100 cm dan lempung di kedalaman 100-400 cm. Pada HB-3 terdapat lapisan tanah pasir berbutir halus di kedalaman 0-50 cm dan pasir berbutir sedang di kedalaman 50-400 cm.
2. Hasil analisis geomekanika tanah diketahui dari kedua titik ini, yaitu
 - Pada HB-2 memiliki keseragaman butir yang baik dan gradasi yang baik. Namun, tanah ini tidak plastis dengan batas susut sebesar 26,14%. Tanah pada titik ini tergolong jenis lempung berpasir di kedalaman 3,5 m – 4 m.
 - Pada HB-3 keseragaman butir dan gradasi hampir sama dengan HB-2 yaitu keseragaman baik dengan gradasi yang baik. Tanah pada titik ini juga tergolong tidak plastis yang memiliki batas susut sebesar 18,88%. Jenis tanah pada titik ini termasuk ke jenis lempung berpasir di kedalaman 3,5 m – 4 m.
3. Ketahanan tanah dari hasil geomekanika tanah terhadap stabilitas bendung saat terjadinya gaya geser, gaya guling, gaya eksentrisitas dan daya dukung tanah adalah aman dan kuat, karna telah memenuhi standar faktor keamanan yang telah ditentukan.

5.2 Saran

Pada penelitian ini disarankan agar tetap dilanjutkan untuk mempertahankan kestabilan bendung dari daya dukung tanah, eksentrisitas, rembesan dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, I.M (2014). Tinjauan Kestabilan Bendung Alopohu di Kabupaten Gorontalo. Universitas Negeri Gorontalo (Thesis).
- Asiyanto. 2011. Metode Konstruksi Bendung. UI Press. ISBN 9789794564523.
- ASTM. 1982. ASTM Standard parts 17 dan 18. American Society of Testing and Materials. Philadelphia, Pennsylvania.
- ASTM C 136. Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. ASTM International, West Conshohocken, 2014. DOI: 10.1520/C0136_C0136M-14.
- ASTM D 422-63. Standard Test Method for Particle Size Analysis of Soil. American Society for Testing of Concretes 2007.
- ASTM D 422-66. Standard Test Method for Liquid Limit of Soils. American Society for Testing of Concretes 1972.
- ASTM D 424-54. Standard Test Method for Plastic Limit. American Society for Testing of Concretes 1971.
- ASTM D 422-74. Standard Test Method for Plastic Limit and Plastic Index of Soils. American Society for Testing of Concretes 1954.
- ASTM D 2850-15. Standard Test Method of Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils. ASTM International. West Conshohocken, PA. 2015.DOI: 10.1520/D2850-15.
- ASTM D 3080-79. Direct Shear Test on Soils under Consolidated Drained Conditions. American Society for Testing of Concretes 1972.
- Athani, S.S., Shivamant., C.H. Solanki., G.R. Dodagoudar. (2015). Seepage and Stability Analysis of Earth Dam Using Finite Element Method. International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering (ICWRCOE 2015). Aquatic Procedia 4 (2015) 876-883.
- Atterberg, A. 1911. Uber die Physikalise Bodenuntersuchung und uber die plastizitatder tone. Int. Mitt. Boden, Vol.1.

- BPS Kepulauan Anambas. (2016). Kabupaten Kepulauan Anambas dalam Angka (*Kepulauan Anambas Regency in Figures 2016*). BPS Kepulauan Anambas. Katalog 11112.452.22.
- Damastuti, A.P. (1997). Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. WACANA No. 8/Mei – Juni 1997.
- Das, B., M. 1995. Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis). Erlangga Jakarta.
- Dinas Pekerjaan Umum. (2003). Pedoman Perencanaan Komponen Arsitektural, Mekanikal dan Elektrikal Terhadap Beban Gempa. Bandung. Departemen Pekerjaan Umum.
- Dinas Pekerjaan Umum. (2004). Perencanaan Bendung Karet Isi Udara. Bandung. Departemen Pekerjaan Umum.
- Erman, M. Memed, M. 2010. Desain Bendung Tetap Untuk Irigasi. Bandung: Alfabeta.
- Firnanda, A. Manyuk, F. Siswanto, S. 2016. Analisis Stabilitas Bendung (Studi Kasus: Bendung Tamiang). Jurnal Online Fakultas Teknik Universitas Islam Riau Vol 3 No.2 ISSN 2335-6870.
- Hardiyatmo, H., C. 2010. Mekanika Tanah I Edisi 5. Gajah Mada University Press. ISBN 9794206318.
- Hardiyatmo, H., C. 2010. Mekanika Tanah II Edisi 5. Gajah Mada University Press. ISBN 9794207365.
- Harseno. E., Edi, D. (2008). Tinjauan Tinggi Tekanan Air di Bawah Bendung dengan Turap dan Tanpa Turap Pada Tanah Berbutir Halus. Majalah Ilmiah Ukrim Edisi 2/th XIII/2008.
- Kurniawan, Z., Noor, S., Amri, G. (2016). Kajian Teknik Dam Sembah Patrang Kabupaten Jember. Universitas Muhammadiyah Jember. Jurnal Rekayasa Infrastruktur.
- Sadono, K.W., Goji, P., Rachdian, E.S., Tommy, S. (2017). Analisis Geoteknik Pada Kegagalan Bendung Cipamingkis, Bogor, Provinsi Jawa Barat. Proceeding Seminar Nasional Kebumihan ke 10, Peran Penelitian Ilmu

Kebumian dalam Pembangunan Infrastruktur Indonesia 13-14 September 2017; Grha Sabha Pramana.

Samodra, H. 1995. Peta Geologi Lembar Tarempa dan Jemaja. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Soedibyo. 2003. Teknik Bendungan. Pradnya Paramita. Jakarta.

Sompie, O.B.A., David S., T. Ilyas. (2015). Pengaruh Proses Konsolidasi Terhadap Deformasi dan Faktor Keamanan Lereng Embankment (Studi Kasus Bendungan Kosinggolan). Prosiding Seminar Teknik Sipil 1 (SeNaTS 1). Sanur-Bali 25 April 2015.

Susanto., H. A., W. (2014). Analisis Tegangan Regangan Pada Pondasi Berhimpit. Universitas Negeri Gorontalo (Thesis).