



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISIS REMBESAN
PADA PERENCANAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN LOGUNG
KABUPATEN KUDUS, JAWA TENGAH**

EXECUTIVE SUMMARY

HENI SETYAWATI

21100112130028

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI**

**SEMARANG
AGUSTUS 2018**



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISIS REMBESAN
PADA PERENCANAAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN LOGUNG
KABUPATEN KUDUS, JAWA TENGAH**

EXECUTIVE SUMMARY

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Strata-1

HENI SETYAWATI

21100112130028

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**SEMARANG
AGUSTUS 2018**

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
DAFTAR ISI	ii
BAB I PENDAHULUAN	1
Latar belakang.....	1
Tujuan Penelitian	1
Rumusan Masalah.....	1
Batasan Masalah	2
Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
Geologi Regional	3
Tanah.....	5
Bendungan Tipe Urugan	6
Permeabilitas.....	8
Rembesan.....	9
<i>Grouting</i>	10
BAB III METODE PENELITIAN	11
Diagram Alir Penelitian	11
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	12
Litologi Hasil Pemetaan.....	12
Analisis Data Geolistrik.....	15
Pengeboran Inti	15
Korelasi Hasil Pengeboran Inti dan Geolistrik	15
Analisis Rembesan.....	18
Analisis Debit Rembesan.....	18
Penanggulangan Rembesan pada Tubuh Bendungan	20
BAB V PENUTUP	23
Kesimpulan	23
Saran.....	23
DAFTAR PUSTAKA	23

BAB I PENDAHULUAN

Latar Belakang

Bendungan adalah bangunan berupa urugan tanah, urugan batu, beton dan/atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (*tailing*) atau menampung lumpur sehingga membentuk waduk (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37, 2010). Menurut Sidharta (1997), sebuah bendungan berfungsi sebagai penangkap air dan menyimpannya dimusim hujan waktu air sungai mengalir dalam jumlah besar dan yang melebihi kebutuhan baik untuk keperluan irigasi, air minum, industri atau yang lainnya.

Sifat bendungan yang termasuk ke dalam *heavy construction* membuat bendungan menyimpan potensi bahaya yang besar dan memiliki resiko kerusakan fisik serta kegagalan fungsi. Potensi permasalahan pembangunan bendungan dapat dibagi menjadi dua hal utama yaitu dampak dari konstruksi bendungan dan paska konstruksi atau masa pemanfaatan dari bendung. Salah satu kegagalan dan kerusakan pada bendungan adalah erosi akibat mengalirnya air melalui lubang-lubang pada pondasi (*piping*). Apabila air dari waduk merembes melalui tubuh atau pondasi bendungan urugan yang terdiri atas material tanah yang dipadatkan, maka tekanan hidrolisnya akan didistribusikan terhadap tegangan pori yang merupakan pengikat antar butiran material (Azdan dan Samekto, 2008).

Berdasarkan penjabaran di atas diperlukan perhitungan jumlah debit rembesan yang mungkin terjadi pada as bendungan serta perhitungan nilai faktor keamanan *piping* pada bendungan.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan ; mengetahui jenis batuan yang terdapat pada lokasi pembangunan bendungan; mengetahui perkiraan debit air bendungan yang merembes melewati as bendungan pada keadaan muka air normal dan banjir; mengetahui nilai faktor keamanan bendungan dari bahaya *piping*.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan tujuan penelitian yang telah diuraikan dapat diambil beberapa rumusan masalah pada penelitian ini, yaitu; apa saja jenis tanah /

batuan yang ada pada lokasi penelitian?; Berapakah nilai permeabilitas yang dimiliki oleh batuan dasar pada lokasi pembangunan bendungan?; Berapakah jumlah air yang mungkin akan merembes melewati as bendungan?; Seberapa besar nilai faktor keamanan terhadap bahaya *piping* yang dimiliki bendungan Logung?; Rekomendasi apakah yang paling tepat untuk menanggulangi masalah *piping* pada bendungan?

Batasan Masalah

Berdasarkan data yang sudah terkumpul, maka dilanjutkan dengan pengolahan data dan analisis dengan batasan masalah sebagai berikut: data utama merupakan hasil dari pemetaan geologi, uji geolistrik, dan data pengeboran inti di lokasi pembangunan as Bendungan Logung; analisis rembesan dilakukan dengan asumsi tingkat volume maksimum air yang tertampung pada keadaan normal dan banjir; permodelan dilakukan pada lapisan tanah atau batuan yang digunakan sebagai dasar bendungan tersebut; permodelan dilakukan menggunakan software Rockscience Slide V 6.0; permodelan dilakukan tanpa memperhatikan stabilitas lereng.

Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat kepada instansi pemerintahan, masyarakat dan mahasiswa, di antaranya :

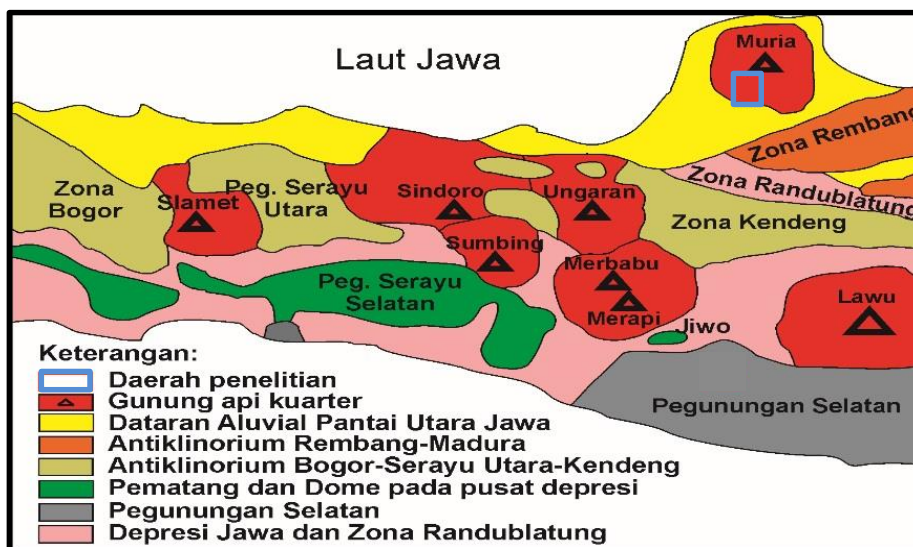
1. Manfaat bagi mahasiswa yaitu sebagai salah satu gambaran penerapan ilmu geoteknik baik secara langsung di lapangan maupun di laboratorium, terutama dalam aspek rembesan bendungan.
2. Manfaat bagi masyarakat umum yaitu sebagai salah satu sumber informasi mengenai perencanaan pembangunan bendungan yang ada pada daerah penelitian.
3. Manfaat bagi pihak pemerintah adalah sebagai sumber informasi mengenai alternatif lain cara perhitungan kemungkinan rembesan pada bendungan. serta dapat sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan solusi apa yang dapat dilakukan untuk menanggulangi apabila terjadi rembesan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Geologi Regional

Fisiografi daerah rencana pembangunan Bendungan Logung berada pada kelompok Semenanjung Muria, bersama-sama dengan kompleks Gunung Genuk, Gunung Muria dan beberapa Maar di sekitar Gunung Muria seperti Maar Gembong dan Maar Gunungrowo (van Bemmelen, 1949). Kompleks Gunung Patiayam terbentuk pada zaman Tersier (Tpp) sehingga berumur lebih tua dari batuan Gunungapi Genuk (lava, breksi gunungapi dan tuf), Lava Muria (lava basal atau andesit, leusit, tefrit, leusitit, trakhit dan sienit) dan Tuf Muria (tuf, lahar dan tuf pasiran) yang berumur Kuartar (Gambar 1).

Morfologi daerah rencana Bendungan Logung dan sekitarnya pada area genangan terbagi dua bagian yaitu morfologi punggung yang berarah barat laut - tenggara dengan bentuk lembah bergelombang rendah-tinggi dengan kemiringan lereng medan 50 - 450, pola aliran sungainya adalah paralel pada hulunya dan trellis pada bagian hilirnya. Ciri-ciri morfologi tersebut menempati bagian kiri dari bendungan. Pada bagian kanan dari bendungan dicirikan oleh bentuk perbukitan memanjang dan setempat mempunyai bentuk permukaan bergelombang tinggi sampai menengah dengan kemiringan lereng medan 200 – 450, pola aliran sungainya adalah paralel pada bagian hulu dan dendritik pada bagian hilirnya.



Gambar 1 Peta Fisiografi Jawa Tengah dengan modifikasi dan tanpa skala (Van Bemmellen, 1949)

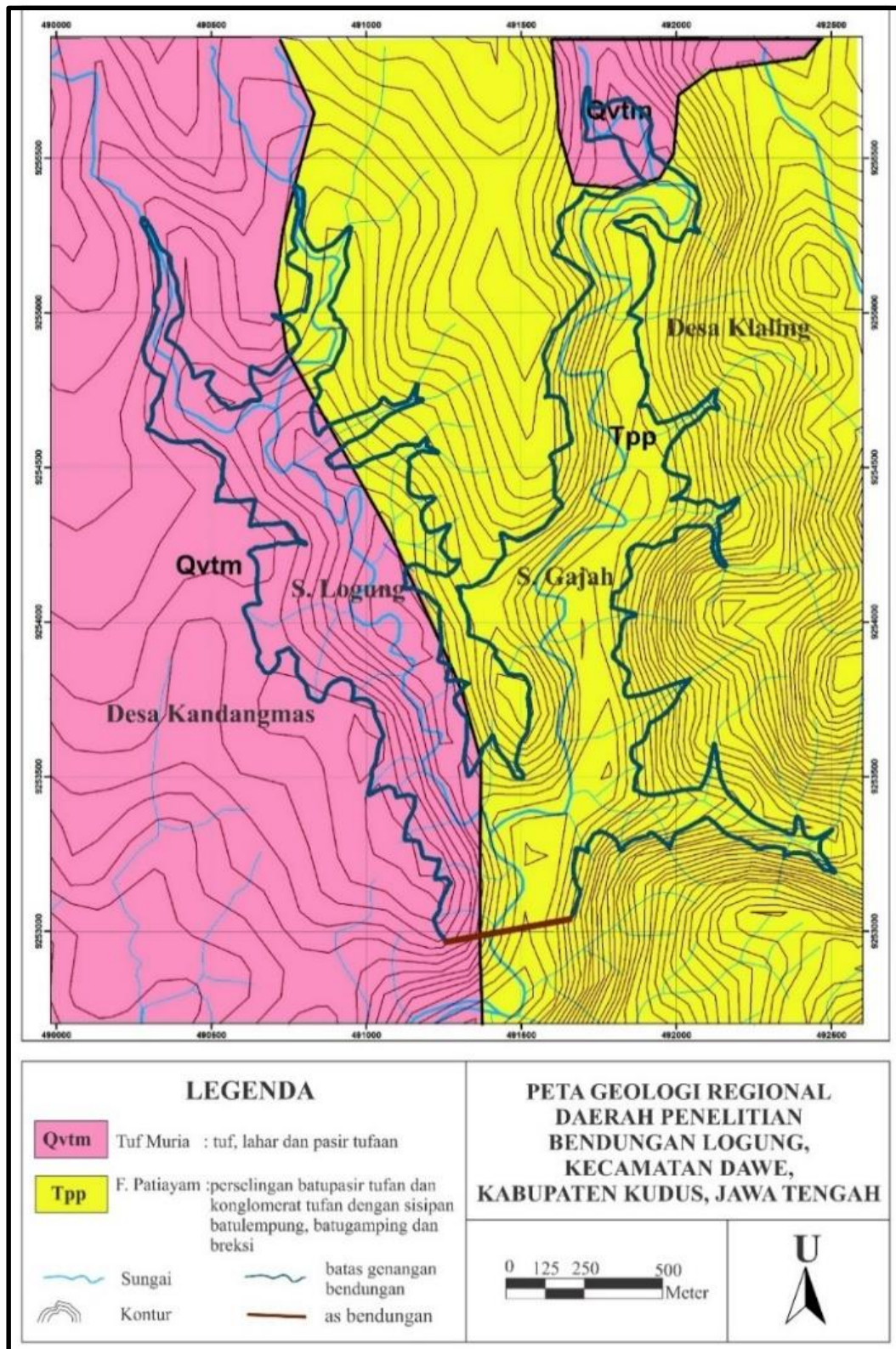
Secara umum perbukitan yang ada mempunyai ketinggian antara 50 - 200 mdpl yang ditempati oleh satuan batuan batupasir tufaan, konglomerat dan breksi lapilli Formasi Patiayam. Sedangkan pada dataran rendah dan sungai ditempati oleh endapan alluvium (pasir, krikil-krakal dan bongkah batuan breksi dan batu andesit/basalt) bermeander dengan stadia sungai dewasa. Bentuk lembah U pada bagian hulu dan V pada bagian hilir bendungan.

Berdasarkan peta Geologi Regional lembar Kudus : 1409-3,6 skala 1 : 100.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, Th. 1992, lokasi rencana bendungan termasuk dalam Formasi Patiayam (Tpp) yang terdiri dari perselingan batupasir tufan dan konglomerat tufan dengan sisipan batulempung, batugamping dan breksi, berumur Pliosen.

Stratigrafi dari daerah penyelidikan dan sekitarnya berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Kudus skala 1 : 100.000 yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung, tahun 1992 dari yang tua sampai muda adalah sebagai berikut :

- Formasi Patiayam (Tpp), berupa perselingan batupasir tufan dan konglomerat tufan dengan sisipan batulempung, batugamping dan breksi, yang diperkirakan berumur Pliosen.
- Tuf Muria (Qvtm), berupa tuf, lahar dan tuf pasiran dan diperkirakan berumur, Plestosen Tengah sampai awal Holosen.
- Aluvium (Qa), terdiri dari bahan kerikil, pasir, lempung, lanau, sisa tumbuhan dan bongkahan gunung api.

Berdasarkan peta geologi regional tidak ada struktur geologi yang dominan pada lokasi penelitian dan hanya merupakan perlapisan yang miring landai (Gambar 2).



Gambar 2 Peta Geologi Regional Bendungan Logung dengan modifikasi (Suwarti dan Wikarno, 1992)

Tanah

Tanah adalah material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan berasal dari bahan-bahan organik yang telah lapuk disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).

Tanah terbentuk sebagai produk pecahan dari batuan yang mengalami pelapukan kimiawi dan mekanis (kecuali tanah organik: gambut). Maka sifat yang dimiliki tanah akan bergantung pada batuan induknya dan pada faktor-faktor seperti iklim, topografi, organisme, dan waktu.

Untuk membedakan serta menunjukkan dengan tepat masing-masing sifat bahan-bahan ini, telah dipakai metode-metode sistematis, sehingga untuk tanah-tanah tertentu dapat diberikan nama yang tepat dan istilah-istilah tentang sifatnya dapat dipilih dengan tepat. Metode sistematis ini pada umumnya disebut sistem klasifikasi. Untuk membedakan dan menentukan berbagai tanah tentunya berbeda dengan metoda-metoda yang dipakai dalam bidang geologi atau ilmu tanah.

Tanah dapat dibagi dalam tiga kelompok (Verhoef, 1994) :

1. Tanah berbutir kasar (pasir, kerikil)
2. Tanah berbutir halus (lanau, lempung)
3. Tanah campuran

Perbedaan antara pasir/kerikil dan lanau/lempung dapat diketahui dari sifat-sifat material tersebut : lanau/lempung seringkali terbukti kohesif (saling mengikat), sedangkan yang berbutir (pasir, kerikil) adalah tidak kohesif (tidak saling mengikat). Selain klasifikasi tanah di atas, terdapat juga beberapa klasifikasi tanah yang lebih spesifik sesuai dengan karakter tanah itu sendiri.

Bendungan Tipe Urugan

Bendungan adalah bangunan yang berupa urugan tanah, urugan batu, beton dan/atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (*tailing*), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk.

Suatu bendungan yang dibangun dengan cara menimbunkan bahan-bahan seperti : batu, kerikil, pasir, dan tanah pada komposisi tertentu dengan fungsi

sebagai pengangkat permukaan air yang terdapat di dalam waduk disebut bendungan tipe urugan.

Sehubungan dengan fungsinya sebagai pengempang air atau pengangkat permukaan air di dalam suatu waduk, maka secara garis besarnya tubuh bendungan merupakan penahan rembesan air kearah hilir serta penyangga tandonan air tersebut.

Ditinjau dari penempatan serta susunan bahan yang membentuk tubuh bendungan untuk dapat memenuhi fungsinya dengan baik, penggolongan bendungan dapat dilihat pada Gambar 3.

Berdasarkan Sosrodarsono dan Takeda (2002), maka tipe-tipe bendungan dapat dijelaskan lagi sebagai berikut :

1. Bendungan Homogen

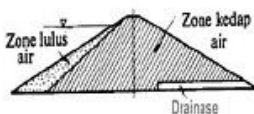
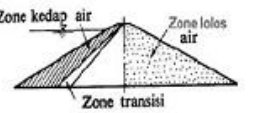
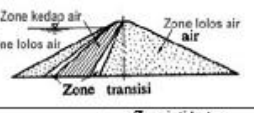
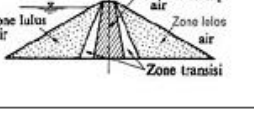
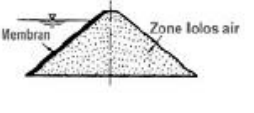
Suatu bendungan urugan digolongkan dalam tipe homogen, apabila bahan yang membentuk tubuh bendungan tersebut terdiri dari tanah yang hampir sejenis dan gradasi (susunan ukuran butirannya) hampir seragam. Tubuh bendungan secara keseluruhannya berfungsi ganda, yaitu sebagai bangunan penyangga dan sekaligus sebagai penahan rembesan air.

2. Bendungan Zonal

Bendungan urugan digolongkan dalam tipe zonal, apabila timbunan yang membentuk tubuh bendungan terdiri dari batuan dengan gradasi (susunan ukuran butiran) yang berbeda-beda dalam urutan-urutan pelapisan tertentu. Pada bendungan dengan tipe ini sebagai penyangga terutama dibebankan kepada timbunan yang lulus air (zona lulus air), sedangkan penahan rembesan dibebankan kepada timbunan yang kedap air (zona kedap air).

3. Bendungan Sekat

Bendungan urugan digolongkan dalam tipe sekat (*facing*) apabila di lereng udik tubuh bendungan dilapisi dengan sekat tidak lulus air (dengan kekedapan yang tinggi) seperti lembaran baja tahan karat, beton aspal, lembaran beton bertulang, hamparan plastik, susunan beton blok, dan lain-lain.

Tipe	Skema umum	Keterangan
Bendungan urugan homogen		Apabila 80% dari seluruh bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang bergradasi sama dan bersifat kedap air.
Bendungan urugan Zonal	Tirai 	Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, dilengkapi dengan tirai kedap air di udiknya.
	Inti miring 	Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan miring ke hilir.
	Inti vertikal 	Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan vertikal.
Bendungan urugan batu dengan membran		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, dilengkapi dengan membran kedap air di lereng udiknya, yang biasanya terbuat dari lembaran baja tahan karat, lembaran beton bertulang, aspal beton, lembaran plastik, dan lain-lainnya.

Gambar 3 Tipe-tipe Bendungan Urugan (Sosrodarsono dan Takeda, 2002)

Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berongga yang memungkinkan air atau cairan lainnya untuk menembus atau merembes melalui hubungan antar pori. Bahan yang mempunyai pori-pori kontinu disebut dapat tembus (*permeable*) (Soedarmo, 1993). Di dalam tanah, sifat aliran mungkin laminar atau turbulen. Tahanan terhadap aliran bergantung pada jenis tanah, ukuran butiran, bentuk butiran, rapat massa, serta bentuk geometri rongga pori. Temperatur juga sangat mempengaruhi tahanan aliran atau kekentalan dan tegangan permukaan.

1. Uji permeabilitas dengan *Packer test*

Packer test atau uji kelulusan air bertekanan adalah salah satu uji permeabilitas yang dilakukan pada lubang bor. Pengujian ini dilakukan dengan menyuntikkan air bertekanan ke dalam batuan melalui dinding lubang bor dengan menggunakan alat *packer* (Camilo, 2010).

2. Uji permeabilitas dengan *Open End Test*

Uji ini merupakan uji permeabilitas yang dilakukan secara langsung pada lubang bor yang ada di lapangan.

3. Uji Permeabilitas di laboratorium

Uji permeabilitas di laboratorium umumnya dilakukan dengan dua metode yaitu metode tinggi energi tetap (*constant head*) dan metode tinggi energi turun (*falling head*).

Constant head permeability test atau uji permeabilitas metode tinggi energi tetap adalah pengujian permeabilitas yang dilakukan di laboratorium dan merupakan uji permeabilitas yang paling mudah untuk dilakukan. *Falling head permeability test* atau uji permeabilitas tinggi energi turun adalah uji permeabilitas yang digunakan untuk menguji tanah dengan tingkat permeabilitas yang sedang hingga rendah, yaitu seperti lanau, pasir kelepungan, lanau lempung dan lempung.

Rembesan

Rembesan yang akan dipelajari disini didasarkan pada analisis dua dimensi. Bila tanah dianggap homogen dan isotropis (Wesley, 2012), maka dalam bidang x - z hukum darcy dapat dinyatakan pada Persamaan 2.8 dan 2.9. sebagai berikut:

$$v_x = ki_x = -k \frac{\partial h}{\partial x} \dots\dots\dots 2.8$$

$$v_z = ki_z = -k \frac{\partial h}{\partial z} \dots\dots\dots 2.9$$

Hukum Darcy dapat digunakan untuk menghitung debit rembesan yang melalui struktur bendungan. Dalam perencanaan sebuah bendungan, perlu diperhatikan stabilitasnya terhadap bahaya longsor, erosi lereng dan kehilangan air akibat rembesan yang melalui tubuh bendungan (Hardiyatmo, 2010).

Jika bentuk dan posisi garis rembesan paling atas pada potongan melintang bendungan diketahui, besarnya rembesan dapat dihitung. Bentuk garis rembesan, kecuali dapat ditentukan secara analistis, dapat juga ditentukan secara grafis atau dari pengamatan laboratorium dari sebuah model bendungan sebagai *prototype*, ataupun juga secara analogi listrik (Wesley, 2012).

Pengamatan menunjukkan bahwa garis rembesan yang melalui yang melalui bendungan berbentuk kurva parabolis, akan tetapi penyimpangan kurva terjadi pada

daerah hulu dan hilirnya. Pengamatan secara grafis didasarkan pada sifat khusus dari kurva parabola.

Grouting

Grouting merupakan salah satu metode yang biasa digunakan sebagai metode untuk perbaikan tanah, dimana metode ini diterapkan dengan cara menyuntikkan semen ke dalam tanah di bawah tekanan untuk mengubah karakteristik atau perilaku tanah (Nicholson, 2015). *Grouting* bisa juga digunakan dalam beberapa aplikasi umum seperti konstruksi pondasi bendungan dan *abutment*.

Metode *grouting* telah menjadi metode yang paling sering digunakan dalam desain proyek karena metode ini merupakan salah satu metode yang cukup efektif untuk mencegah atau mengurangi masalah konstruksi dalam waktu yang cukup lama. *Grouting* digunakan juga karena metode ini lebih menghemat biaya dibandingkan dengan metode lain

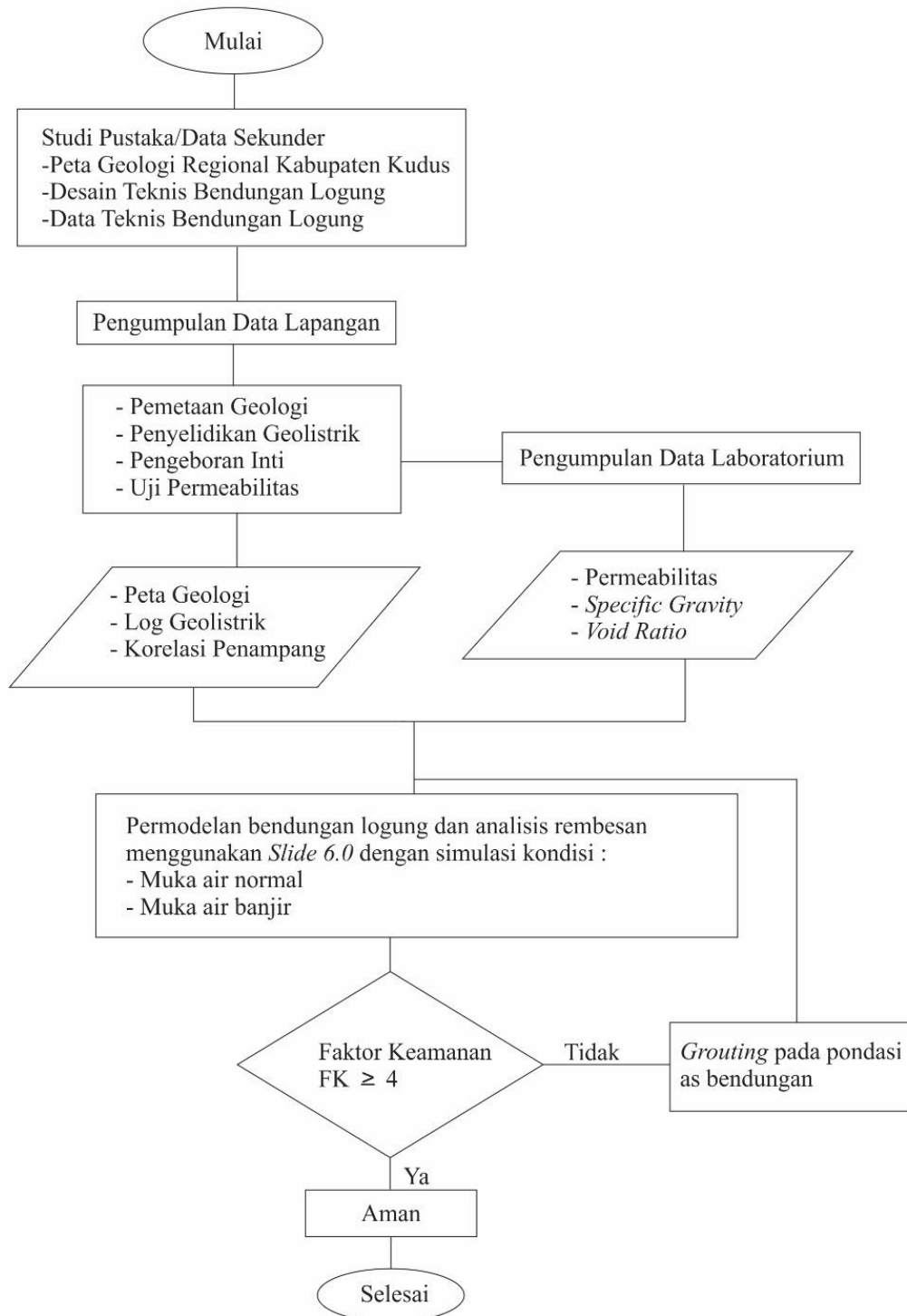
Ketika terdapat kebocoran pada suatu bendungan, metode yang cukup baik untuk digunakan adalah *grouting*. Pada metode ini semen yang diinjeksikan akan mengisi celah-celah rembesan atau bocoran yang terdapat di bawah permukaan, sehingga kecepatan air mengalami penurunan yang cukup signifikan. Dengan berkurangnya penurunan kecepatan air di bawah tanah, maka erosi tidak lagi dipertahankan. *Grouting* mempengaruhi kecepatan air dibawah permukaan karena melindungi celah-celah rembesan sehingga air tidak dapat lolos (Kalkani, 1997). Manfaat lain dari dilakukannya *grouting* menurut Suprpto dan Rachwibowo (2009) yaitu :

- a. Memperkuat tanah dan batuan,
- b. Memperbaiki kerusakan struktur,
- c. Meningkatkan kemampuan anchor dan tiang pancang.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian

Adapaun diagram alir penelitian disajikan pada gambar 4, berikut:



Gambar 4 Diagram alir penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan kegiatan lapangan untuk mendapatkan data yang dibutuhkan. Kegiatan lapangan tersebut di antaranya adalah penyelidikan permukaan dan penyelidikan bawah permukaan. Pada penyelidikan permukaan. Pekerjaan yang dilaksanakan adalah pemetaan geologi dan pemetaan geoteknik. Pekerjaan yang dilakukan untuk penyelidikan bawah permukaan yaitu berupa uji geolistrik dan pengeboran inti.

Litologi Hasil Pemetaan

Terdapat beberapa jenis batuan di daerah penelitian ini dengan kondisi yang berbeda. Berdasarkan kondisi lapangan yang ditemukan, batuan di daerah ini terbagi menjadi 2 satuan batuan yaitu satuan Tufa perselingan Batupasir Tufan dan satuan breksi vulkanik seperti pada Gambar 5.

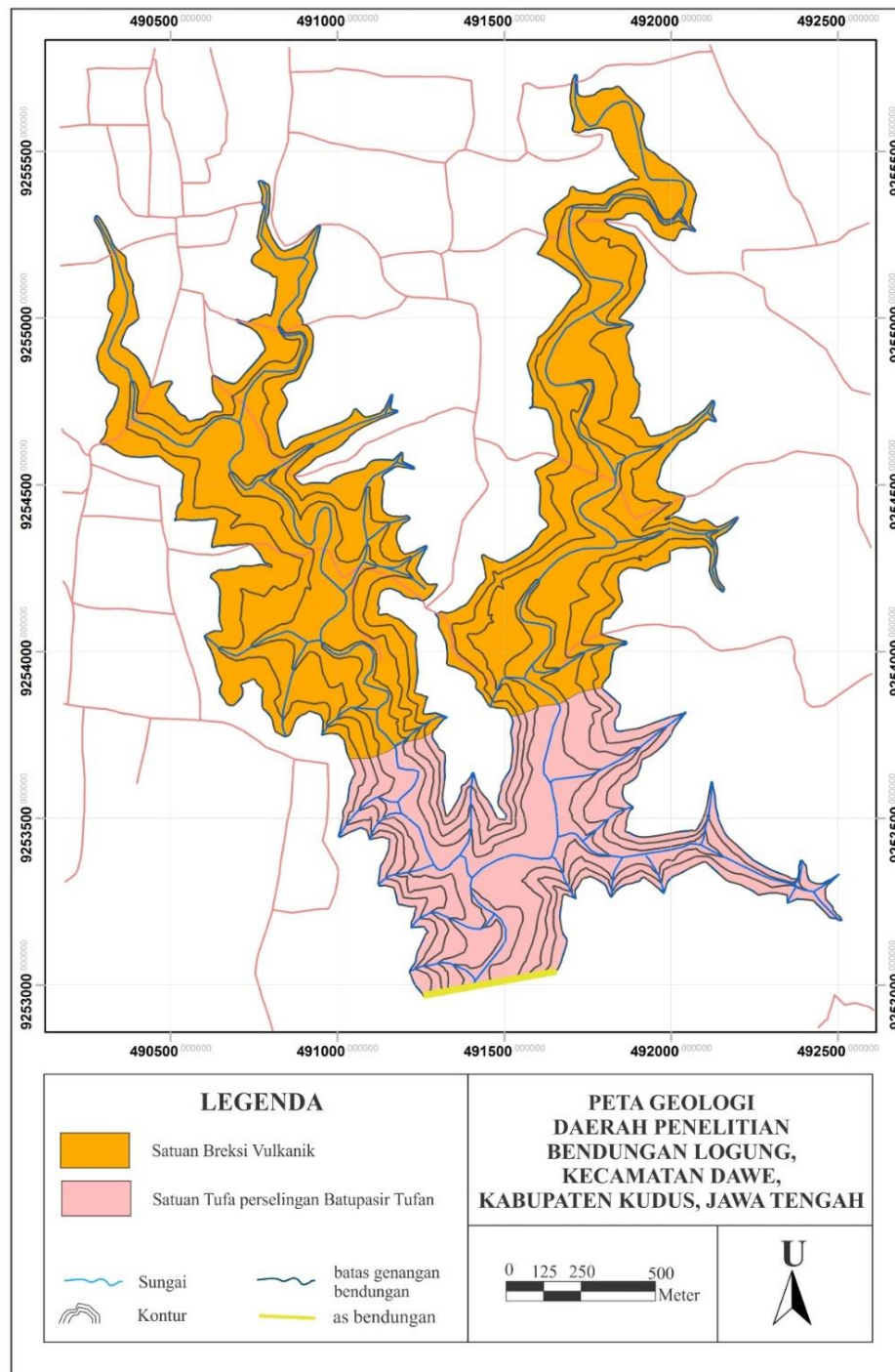
a. Satuan Tufa perlapisan Batupasir Tufan

Satuan batuan ini terdiri dari perlapisan tufa dengan perlapisan batupasir tufan. Secara keseluruhan, tufa pada satuan ini berwarna abu-abu terang hingga sedikit kecoklatan. Batuan ini memiliki struktur yang kompak, tekstur fragmental, sedikit lapuk seperti yang terlihat pada Gambar 6. Memiliki ukuran berkisar ash ($< 2\text{mm}$) hingga lapilli (2-64 mm). Batupasir tufan yang ditemukan memiliki warna putih kecoklatan. Batupasir tufan memiliki ukuran butir bervariasi dari ukuran butir pasir sedang ($1/4 - 1/2\text{ mm}$) hingga pasir sangat halus ($1/16 - 1/8\text{ mm}$), tingkat kompaksi kompak, memiliki komposisi penyusun berupa material tuf (Gambar 7). Pada lapisan batupasir tufan ini dijumpai struktur sedimen seperti *lamination*. Warna terang pada batuan ini adalah akibat adanya material tuf sebagai komposisi penyusunnya. Semakin melimpah komposisi tufnya maka akan semakin terang.

b. Satuan Breksi Vulkanik.

Breksi ini memiliki warna hitam keabuan saat basah dan abu-abu saat kering (Gambar 8). Dibeberapa bagian singkapan, terlihat jika fragmen dari breksi ini berukuran tak seragam yaitu dari ukuran pasir kasar (1-2mm) hingga berukuran bongkah (25-64mm). Sementara dibagian lainnya terlihat fragmen yang cukup seragam dengan kisaran ukuran butir kerakal (4-64 mm) hingga berangkal (64-

256 mm). Fragmen tersebut berupa pecahan batu andesit dengan bentuk meruncing hingga membulat. Batuan ini memiliki pemilahan yang buruk hingga sangat baik. Satuan batuan ini terdapat pada bagian utara dari bakal genangan waduk. Singkapan dari batuan ini dapat ditemukan di pinggir aliran sungai.



Gambar 5 Peta geologi lokasi penelitian



Gambar 6 Kenampakan batuan tufa di daerah genangan Bendungan Logung



Gambar 7 Kenampakan batupasir tufan di bagian utara daerah bangunan Bendungan Logung



Gambar 8 Kenampakan breksi di bagian utara daerah genangan Bendungan Logung

Geolistrik

Pengukuran geolistrik dilakukan sebanyak sepuluh titik. Masing-masing titik memiliki bentangan yang berbeda tergantung dengan kondisi dari lokasi pengamatan. Keseluruhan titik pengamatan berada pada daerah dekat as bendungan. Hasil pengolahan data geolistrik yang diperoleh, dari kesepuluh titik pengamatan tersebut, ditemui kesamaan litologi yaitu tuff pada daerah yang dekat permukaan dan batupasir tuffan yang mendominasi di bagian bawah lapisan batuan. Akan tetapi, terdapat beberapa lokasi geolistrik yang menunjukkan adanya lapisan batupasir tuffan di permukaan atau tuff yang ada pada pertengahan lapisan.

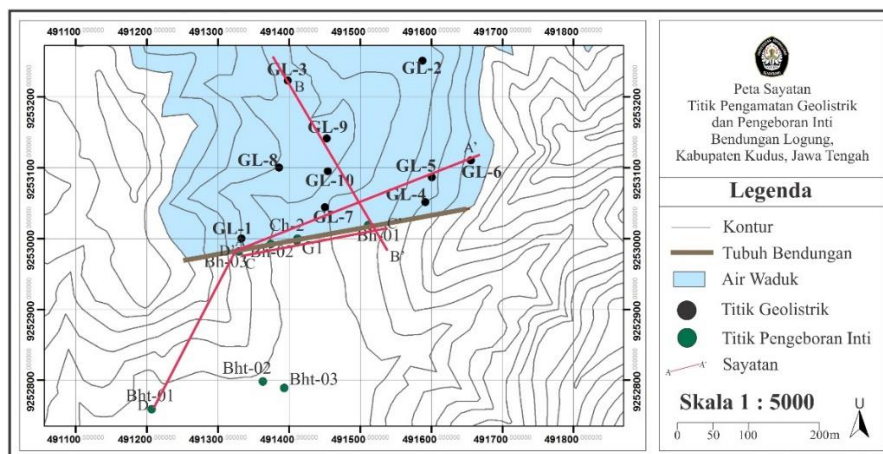
Pengeboran Inti

Proses pengeboran inti dilakukan pada delapan lokasi dengan total delapan titik pengamatan. Pengeboran inti yang dilakukan pada bagian yang akan dibangun as bendungan berjumlah lima titik pengeboran, sedangkan tiga titik lainnya berada pada bagian hilir dari bendungan.

Data yang didapatkan dari titik pengeboran ini yaitu, kondisi bawah permukaan pada lokasi pembangunan as menunjukkan adanya perlapisan antara batupasir tuffan dengan tuff. Batupasir tuffan mendominasi pada bagian atas hingga tengah *core* dan tuff bisa di temukan menyebar dari atas hingga bawah *core*.

Korelasi Hasil Pengeboran Inti dan Geolistrik

Dari data geolistrik dan data pengeboran yang sudah didapatkan, selanjutnya dilakukan korelasi pada masing-masing pengamatan, yaitu korelasi log gelistrik dan korelasi log bor. Arah sayatan dan korelasi batuan dapat di lihat pada Gambar 9.

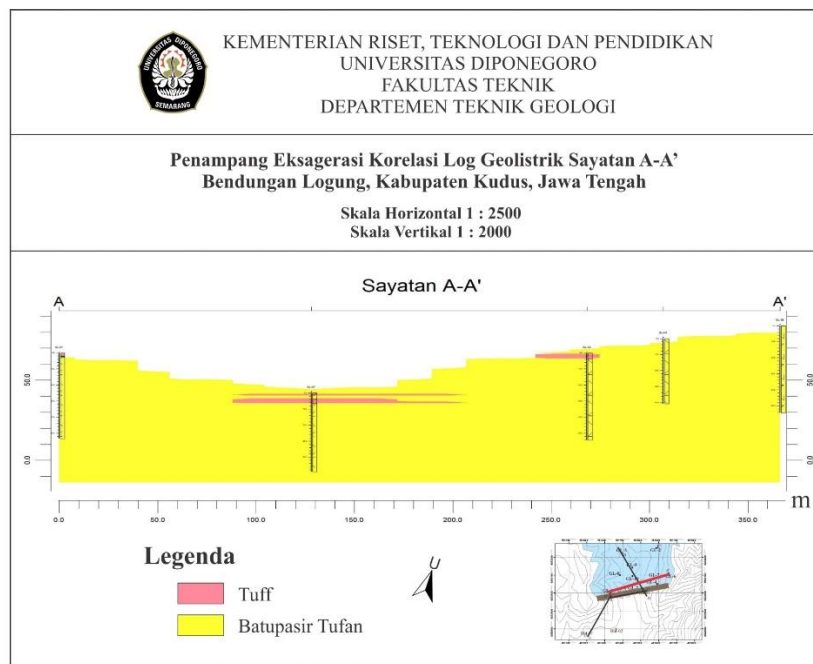


Gambar. 9. Peta sayatan penampang korelasi titik geolistrik dan titik pengeboran

Korelasi yang dilakukan pada hasil log geolistrik ini dimaksudkan untuk mengetahui persebaran litologi di bawah permukaan. Terdapat 2 sayatan yang dibuat untuk titik pengeboran inti ini, yaitu sayatan A-A' dan sayatan B-B'.

a. Sayatan A-A'

Garis sayatan A-A' berarah barat daya – timur laut. Panjang sayatan sebenarnya di lapangan adalah sekitar 360 m dan berada pada bagian bangunan as bendungan. Sayatan ini melewati titik pengeboran inti GL-1, GL-7, GL-5, GL-4 dan GL-6. Pada penampang sayatan A-A' (Gambar 10.) terdapat dua jenis batuan atau tanah yaitu batupasir tufan dan tufa. Urutan lapisan batuan yang terdapat pada sayatan A-A' dari bawah ke atas adalah sebagai berikut, batupasir tufan, tufa dengan ketebalan 1-3 m berselingan dengan batupasir tufan yang memiliki ketebalan 2-25 m.



Gambar 10. Sayatan titik geolistrik A-A'

b. Sayatan B-B'

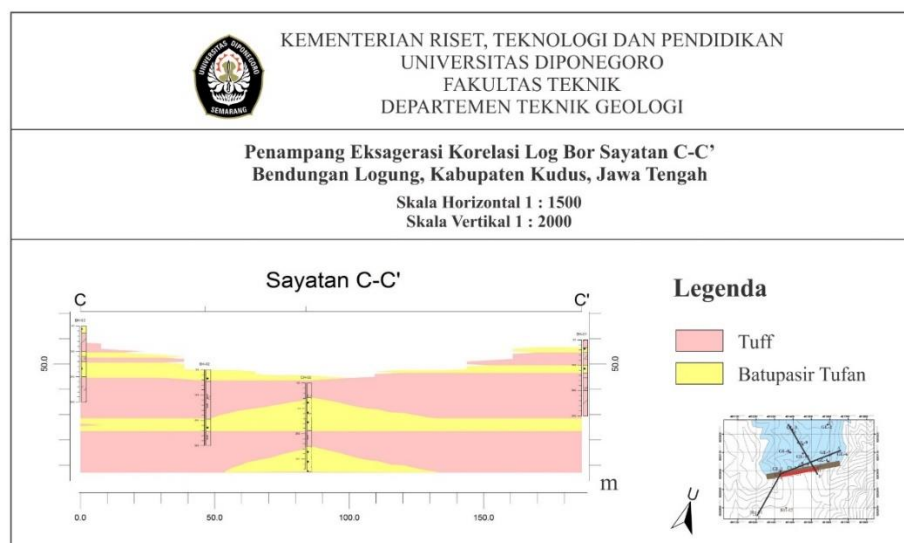
Garis sayatan B-B' berarah bara laut - tenggara. Panjang sayatan sebenarnya di lapangan adalah sekitar 187 m dan berada pada bagian utara bangunan as bendungan. Sayatan ini melewati titik geolistrik GL-3, GL-9, GL-10 dan GL-7. Pada penampang sayatan B-B' terdapat dua jenis batuan atau tanah yaitu batupasir tufan dan tufa. Urutan lapisan batuan yang terdapat pada sayatan C-

C' dari bawah ke atas adalah sebagai berikut batupasir tufan, tufa dengan ketebalan 1-15 m berselingan dengan batupasir tufan yang memiliki ketebalan 2-25 m.

Korelasi yang dilakukan pada pengeboran inti ini dimaksudkan untuk mengetahui persebaran litologi di bawah permukaan. Terdapat 2 sayatan yang dibuat untuk titik pengeboran inti ini, yaitu sayatan C-C' dan sayatan D-D'.

a. Sayatan C-C'

Garis sayatan C-C' berarah barat daya – timur laut. Panjang sayatan sebenarnya di lapangan adalah sekitar 187 m dan berada pada bagian bangunan as bendungan. Sayatan ini melewati titik pengeboran inti BH-02, BH-03, CH-02 dan BH-01. Pada penampang sayatan C-C' (Gambar 4.11.) terdapat dua jenis batuan atau tanah yaitu batupasir tufan dan tufa. Urutan lapisan batuan yang terdapat pada sayatan C-C' dari bawah ke atas adalah sebagai berikut batupasir tufan dengan ketebalan 1-8 m, tufa dengan ketebalan 1-12 m, perselingan tufa dengan batupasir tufan yang memiliki ketebalan 1-6 m.



Gambar 11. Sayatan C-C' titik pengeboran inti.

b. Sayatan D-D'

Garis sayatan D-D' berarah barat daya – timur laut. Panjang sayatan sebenarnya di lapangan adalah sekitar 250 m dan berada pada bagian selatan bangunan as bendungan. Sayatan ini melewati titik pengeboran inti BHT-01 dan BH-03. Pada penampang sayatan D-D' terdapat dua jenis batuan atau tanah yaitu batupasir tufan dan tufa. Urutan lapisan batuan yang terdapat pada sayatan D-D' dari

bawah ke atas adalah sebagai berikut tufa dengan ketebalan 1-10m, batupasir tufan berselingan dengan tufa yang memiliki ketebalan 1-6 m.

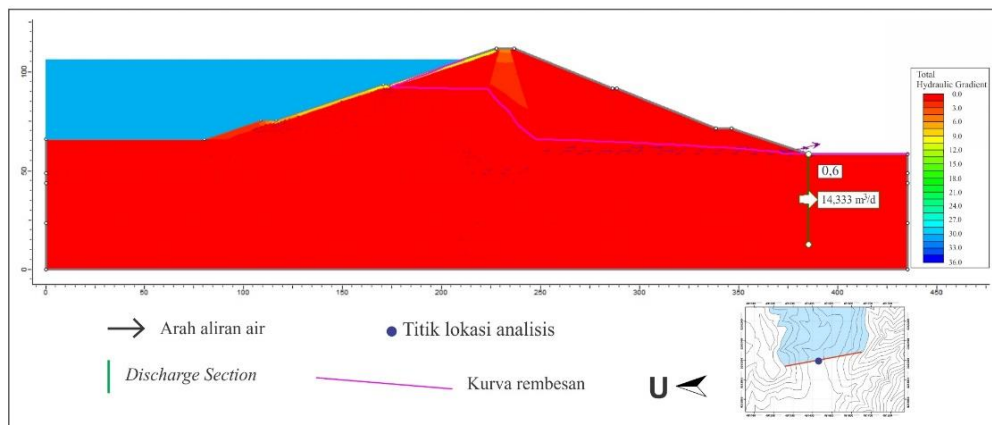
Analisis Rembesan

Analisa rembesan dilakukan menggunakan program *Slide 6.0* dengan dua kondisi yaitu muka air waduk kondisi normal (el. +90,454 m) dan kondisi banjir (el. +93,541 m). Analisis dilakukan dengan memasukkan nilai permeabilitas dari material penyusun bendungan berupa lempung, pasir dan tanah random.

Analisis Debit Rembesan

a. Analisis Debit Rembesan pada Muka Air Normal

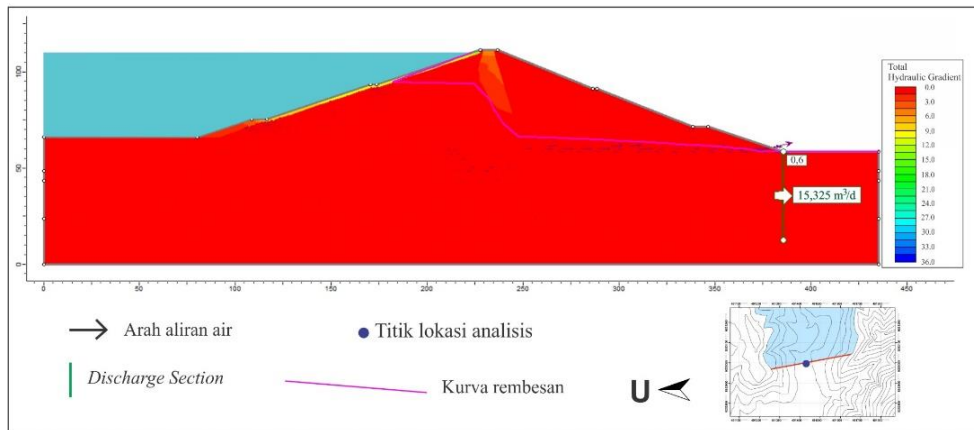
Dari hasil analisis dengan *Software Slide 6.0* pada Gambar 12. terlihat bahwa pada kondisi muka air normal debit rembesan yang terjadi adalah 14,333 m³/hari atau $1,66 \times 10^{-4}$ m³/dtk dengan nilai gradien hidrolik berkisar 0,6.



Gambar 12. Permodelan rembesan pada kondisi muka air normal sebelum *grouting*

b. Analisis Debit Rembesan pada Kondisi Muka air Banjir

Dari hasil analisis dengan *Software Slide 6.0* pada Gambar 13. terlihat bahwa pada kondisi muka air banjir debit rembesan yang terjadi adalah 15,325 m³/hari atau $1,77 \times 10^{-4}$ m³/dtk dengan nilai gradien hidrolik berkisar 0,6.



Gambar 13. Permodelan rembesan pada kondisi muka air banjir sebelum *grouting*.

Rata-rata debit rembesan pada bendungan Logung yaitu :

$$Q \text{ Muka Air Normal} = 1,66 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$Q \text{ Muka Air Banjir} = 1,77 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$\Delta Q = \mathbf{1,715 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dtk}}$$

Besarnya angka kebocoran yang melewati pondasi dan tubuh bendungan tidak boleh lebih dari 1% rata – rata debit sungai yang masuk ke waduk. (Departemen Pekerjaan Umum, Pedoman Grouting untuk Bendungan, 2005: 21).

Diketahui :

$$\text{- } Q \text{ sungai rata-rata} = 1,33 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$\text{- } 1 \% \text{ dari } Q \text{ rata-rata sungai} = 0,013 \text{ m}^3/\text{dt.}$$

$$\text{- Rata-rata kapasitas rembesan} = 8,5808 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt}$$

Rata-rata kapasitas rembesan < 1 % dari Q rata-rata sungai (0,013 m³/dt). Sehingga, dapat diketahui kapasitas rembesan yang terjadi pada pondasi dan tubuh Bendungan Logung masih memenuhi dari syarat yang ditetapkan.

Rembesan merupakan salah satu permasalahan yang terjadi pada tubuh bendungan. Aliran rembesan yang terjadi pada tubuh bendungan dapat menyebabkan ikut terangkutnya butiran-buiran halus material penyusun bendungan. Jika proses pengangkutan meterial halus tersebut berlangsung secara terus menerus, maka akan menyebabkan terjadinya erosi pada pondasi bendungan (*piping*). Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan faktor keamanan untuk mengetahui apakah suatu bendungan aman dari bahaya *piping* atau tidak. Faktor keamanan dari *piping* dapat dihitung dengan persamaan (2.12), sebagai berikut:

$$FK_{piping} = \frac{lc}{le}$$

Keterangan:

FK_{piping} min = 4, aman (Badan Standarisasi Nasional, Metode analisis dan cara pengendalian rembesan air untuk bendungan tipe urugan, 2016).

I_e = gradien hidrolik debit

I_c = gradien hidrolik dari material

Untuk menentukan harga I_c menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_c = \frac{SG-1}{1+e}$$

SG = spesifik gravity

e = void ratio / angka pori

Dari rumus di atas dapat diketahui nilai faktor keamanan dari *piping* pada tubuh

Bendungan Logung adalah sebagai berikut:

$$I_c = \frac{2,689-1}{1+1,0289} = 0,832 \text{ cm/det}$$

$$FK_{piping} = \frac{0,832}{0,6}$$

$$= 1,38 < 4 \text{ (tidak aman)}$$

Berdasarkan hasil perhitungan faktor keamanan *piping* di atas, diketahui bahwa faktor keamanan *piping* tubuh Bendungan Logung secara keseluruhan adalah rendah atau kurang dari faktor keamanan minimum. Hal tersebut menunjukkan bahwa tubuh bendungan tidak aman dari bahaya *piping*.

Penanggulangan Rembesan pada Tubuh Bendungan

Berdasarkan dari analisis debit rembesan, nilai rembesan pada bendungan Logung masih aman, nilai debit rembesan di bawah nilai rata-rata kapasitas rembesan yang diijinkan. Namun demikian, analisis faktor keamanan bendungan dari bahaya *piping* menunjukkan jika bendungan Logung tidak aman, maka perlu dilakukan suatu tindakan untuk menanggulangi masalah tersebut. Metode yang direkomendasikan untuk mengatasi permasalahan rembesan tersebut adalah *grouting*. Perhitungan kedalaman *grouting* pada tubuh bendungan dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$D = 1/3 H + C ,$$

dimana, D = kedalaman lobang bor (m)

H = ketinggian air Pseudostatis waduk (m)

C = konstanta (8-20)

Sehingga,

$$D = 1/3H + C$$

$$= 1/3 (46) \text{ m} + 8 \text{ m}$$

$$= 15,3 \text{ m} + 8 \text{ m}$$

$$= 23,3 \text{ meter}$$

$$D = 1/3H + C$$

$$= 1/3 (46) \text{ m} + 20 \text{ m}$$

$$= 15,3 \text{ m} + 20 \text{ m}$$

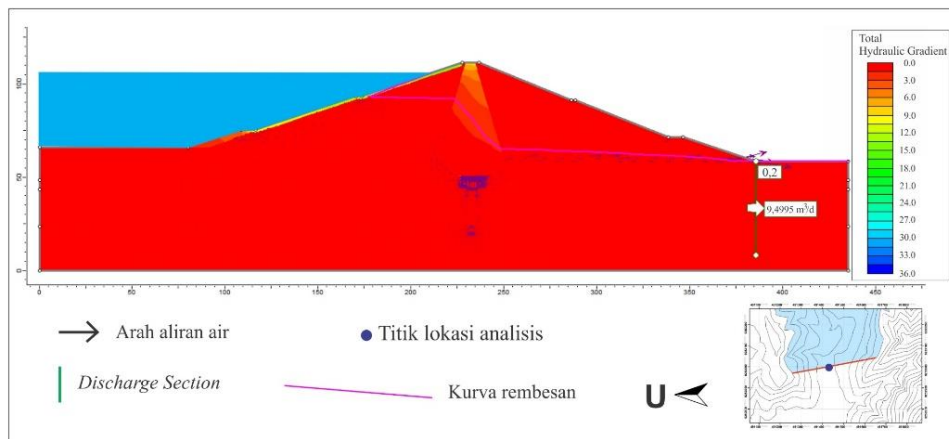
$$= 35,3 \text{ m}$$

Kedalaman *grouting* yang dilakukan pada tubuh Bendungan Logung adalah 30 meter dari dasar bangunan bendungan.

Analisa debit rembesan dan faktor keamanan *piping* dilakukan lagi untuk melihat perubahan setelah dilakukan *grouting*. Nilai debit rembesan dan gradien hidrolis mengalami perubahan setelah dilakukan *grouting* pada pondasi bangunan. Berikut perubahan nilai debit rembesan pada Bendungan Logung :

a. Debit Rembesan pada Kondisi Muka Air Normal

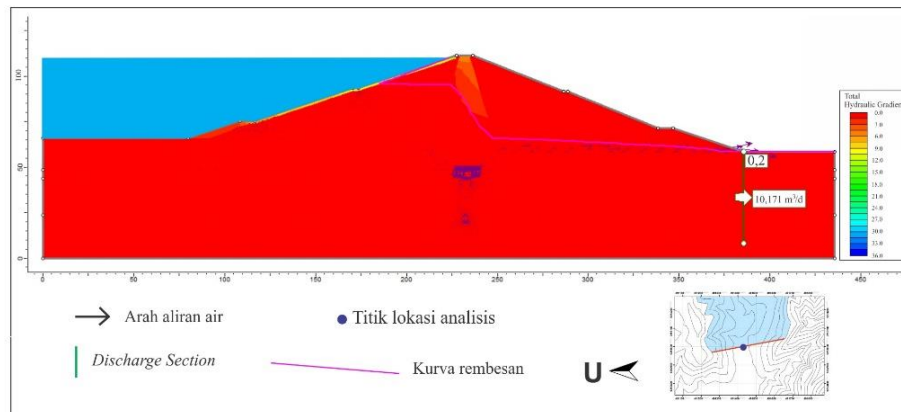
Dari hasil analisis dengan *Software Slide 6.0* pada Gambar 14. terlihat bahwa pada kondisi muka air normal debit rembesan yang terjadi adalah $9,4995 \text{ m}^3/\text{hari}$ atau $1,099 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dtk}$ dengan nilai gradien hidrolis berkisar 0,20.



Gambar 14. Permodelan rembesan pada kondisi muka air normal setelah *grouting*.

b. Debit Rembesan pada Kondisi Muka Air Banjir

Dari hasil analisis dengan *Software Slide 6.0* pada Gambar 15. terlihat bahwa pada kondisi muka air banjir debit rembesan yang terjadi adalah $10,171 \text{ m}^3/\text{hari}$ atau $1,177 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dtk}$ dengan nilai gradien hidrolis berkisar 0,20.



Gambar 15. Permodelan rembesan pada kondisi muka air banjir setelah *grouting*.

Rata-rata debit rembesan pada bendungan Logung yaitu :

$$Q \text{ Muka Air Normal} = 1,099 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$Q \text{ Muka Air Banjir} = 1,177 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$\Delta Q = \mathbf{1,138 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dtk}}$$

Selanjutnya dilakukan analisis faktor keamanan *piping* setelah *grouting* pada bendungan Logung. Perhitungan tersebut adalah sebagai berikut:

$$I_c = \frac{2,69-1}{1+0,77} = 0,954 \text{ cm/det} \quad FK_{piping} = \frac{0,954}{0,20}$$

$$= 4,77 > 4 \text{ (aman)}$$

Berdasarkan hasil perhitungan faktor keamanan *piping* di atas, diketahui bahwa faktor keamanan *piping* tubuh Bendungan Logung meningkat setelah *grouting* (Tabel 4.9). Hal tersebut menunjukkan bahwa tubuh bendungan aman dari *piping*.

Tabel 4.9. Perbandingan hasil analisis rembesan

Keterangan	Sebelum Grouting	Sesudah Grouting
Nilai SG	2,689	2,69
Nilai e	1,0289	0,77
Debit rembesan pada muka air normal	$1,66 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dtk}$	$1,099 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dtk}$
Debit Rembesan pada muka air banjir	$1,77 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dtk}$	$1,177 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dtk}$
Gradien hidrolik debit	0,6	0,2
gradien hidrolik dari material	0,832	0,954
FK	1,38	4,77

BAB V PENUTUP

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian mengenai rembesan pada Bendungan Logung ini adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil pengeboran inti, litologi bawah permukaan daerah penelitian tersusun atas batupasir tufan dan tuff.
2. Debit rembesan sebelum *grouting* pada keadaan muka air normal adalah sebesar 14,333 m³/hari atau 1,66 x 10⁻⁴ m³/dtk dan berubah menjadi 9,4995 m³/hari atau 1,099 x 10⁻⁴ m³/dtk
3. Debit rembesan sebelum *grouting* pada kondisi muka air banjir sebesar 15,325 m³/hari atau 1,77 x 10⁻⁴ m³/dtk dan berubah menjadi 10,171 m³/hari atau 1,177 x 10⁻⁴ m³/dtk
4. Nilai faktor keamanan *piping* Bendungan Logung pada saat sebelum di *grouting* adalah 1,38 dan naik menjadi 4,77 setelah di *grouting*. Nilai akhir faktor keamanan *piping* ini, sudah melewati nilai minimum yang diijinkan yaitu 4.

Saran

Nilai faktor keamanan *piping* dari Bendungan Logung setelah di *grouting* memang mengalami kenaikan, akan tetapi faktor keamanan tersebut masih sangat dekat dengan nilai *minimum* faktor keamanan yang diijinkan, sebaiknya dilakukan peninjauan ulang untuk penentuan *grouting*, agar dapat lebih memperbesar nilai faktor keamanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2014. Peta Administrasi Desa Kandangmas. Pemerintah Kabupaten Kudus. Kudus.
- Azdan, M.D., Samekta, Candra. 2008. Kritisnya Kondisi Bendungan di Indonesia. Surabaya.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016 Metode Analisis dan Cara Pengendalian Rembesan Air untuk Bendungan Tipe Urugan. Jakarta.

- Camilo Quinones-Rozo, P.E..2010. *Lugeon Test Interpretation*. Collaborative Management of Integrated Watersheds, US Society of Dams, 30th Annual Conference, S. 405–414.
- Das, B. M.. 1995. *Mekanika Tanah : Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik Jilid 1*. Jakarta : Erlangga.
- Hardiyatmo, H.C.2010. *Mekanika Tanah 1 Edisi kelima*. Yogyakarta : Gadjah Mada University.
- Kalkani, E.C.1997. *Geological conditions, seepage grouting, and evaluation of piezometer measurments in abutments of an earth dam*. *Engineering Geology*, Vol 46,pp. 93-104.
- Nicholson, P. 2015. *Soil Improvement and Ground Modification Methods 1st Edition*. Butterworth-Heinemann. United Kingdom.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia.2010. Peraturan Pemerintah Tentang Bendungan No 37 BAB I, Pasal 1 Ayat 1.
- Sidharta, S.K.. 1997. *Irigasi dan Bangunan Air*. Jakarta : Gunadarma.
- Soedarmo, G., Djatmiko dan Purnomo. 1993. *Mekanika Tanah 1*. Malang : Kanisius.
- Sosrodarsono, S. Dan Takeda, K. 2002. *Bendungan Tipe Urugan*. Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- Suprpto, D.J. dan Rachwibowo P. 2009. *Kuliah Umum Penanggulangan Tanah Longsor Dengan Metoda Grouting*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Suwarti, T. dan Wikarno, R. 1992. *Peta Geologi Lembar Kudus, Jawa*. Skala 1:100.000. Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Van Bemmelen, R.W. *The Geology of Indonesia 2nd Edition*. Netherland : The Haque.
- Verhoef, P N W. 1994. *Geologi untuk Teknik Sipil*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Wesley, L.D.2012. *Mekanika Tanah untuk Tanah Endapan dan Tanah Residu Edisi Pertama*. Yogyakarta : Andi Offset.