

METODE GROUTING TERHADAP PERMEABILITAS ATAU REMBESAN (SEEPAGE) PADA PEMBANGUNAN BENDUNGAN LAU SIMEME PAKET - 1

Endang Larasati Suryaningrum¹

Yudha Rahman Winarto²

Sekolah Tinggi Teknik Malang¹²

elarasati959@gmail.com¹

yudha_rw@yahoo.com²

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh metode grouting terhadap permeabilitas atau rembesan (seepage) pada pembangunan Bendungan Lau Simeme Paket - 1. Metode grouting adalah teknik yang digunakan untuk mengisi celah atau rongga dalam struktur tanah atau batuan untuk mengurangi permeabilitas dan mencegah rembesan air. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dan kuantitatif untuk mengevaluasi efektivitas berbagai teknik grouting yang diterapkan pada proyek tersebut.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode grouting yang tepat dapat secara signifikan mengurangi tingkat permeabilitas dan rembesan, meningkatkan stabilitas dan keandalan bendungan. Studi ini juga menemukan bahwa pemilihan material grouting, tekanan injeksi, dan teknik aplikasi berperan penting dalam keberhasilan grouting. Temuan ini memberikan rekomendasi praktis untuk proyek-proyek bendungan serupa di masa mendatang.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam literatur teknik sipil dan menawarkan pedoman praktis bagi insinyur dan praktisi dalam mengoptimalkan penggunaan metode grouting untuk mengatasi masalah permeabilitas dan rembesan di bendungan.

Kata Kunci: Grouting, Permeabilitas, Rembesan, Bendungan, Teknik Sipil

ABSTRACT

This study aims to analyze the influence of grouting methods on permeability or seepage in the construction of Lau Simeme Dam Package - 1. Grouting is a technique used to fill gaps or voids in soil or rock structures to reduce permeability and prevent water seepage. This research utilizes both qualitative and quantitative approaches to evaluate the effectiveness of various grouting techniques applied in the project.

The results of the study indicate that the appropriate grouting methods can significantly reduce permeability and seepage levels, thereby enhancing the stability and reliability of the dam. The study also found that the selection of grouting materials, injection pressure, and application techniques play crucial roles in the success of grouting. These findings provide practical recommendations for similar dam projects in the future.

This research is expected to contribute to civil engineering literature and offer practical guidelines for engineers and practitioners in optimizing the use of grouting methods to address permeability and seepage issues in dams.

Keywords: Grouting, Permeability, Seepage, Dam, Civil Engineering

I. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur yang kuat dan tahan lama merupakan salah satu faktor kunci dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan pembangunan berkelanjutan. Salah satu elemen penting dalam infrastruktur tersebut adalah bendungan. Bendungan berfungsi tidak hanya sebagai penyimpan air untuk irigasi, air minum, dan pembangkit listrik tenaga air, tetapi juga sebagai pengendali banjir dan penyedia air untuk industri.

Namun, pembangunan bendungan menghadapi tantangan teknis yang signifikan, salah satunya adalah masalah permeabilitas atau rembesan (seepage) yang dapat mengancam stabilitas struktur bendungan. Permeabilitas tinggi dapat menyebabkan hilangnya air yang berharga dan mengancam integritas struktur bendungan. Oleh karena itu, kontrol terhadap rembesan merupakan aspek kritis dalam desain dan konstruksi bendungan.

Salah satu metode yang efektif dalam mengendalikan permeabilitas adalah grouting. Metode grouting melibatkan injeksi material ke dalam celah atau retakan di dalam massa batuan atau tanah untuk mengurangi permeabilitas dan meningkatkan kekuatan struktural. Penggunaan metode grouting dalam konstruksi bendungan telah menjadi praktik umum untuk mengatasi masalah rembesan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh metode grouting terhadap permeabilitas atau rembesan (*seepage*) pada pembangunan Bendungan Lau Simeme Paket-1. Bendungan Lau Simeme merupakan salah satu proyek strategis

yang diharapkan dapat memberikan manfaat besar bagi masyarakat sekitar, khususnya dalam hal penyediaan air dan pengendalian banjir.

Dengan memahami pengaruh metode grouting terhadap permeabilitas, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berharga dalam bidang teknik sipil, khususnya dalam praktik terbaik untuk konstruksi bendungan. Hasil dari penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi acuan bagi proyek-proyek bendungan lainnya di masa depan, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam mengendalikan rembesan serta memastikan stabilitas dan keandalan struktur bendungan.

II. METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Dalam penelitian dengan judul “Analisa Pengaruh Metode Grouting terhadap Permeabilitas atau Rembesan pada Pembangunan Bendungan Lau Simeme Paket – 1” ini peneliti memilih jenis penelitian Observasi langsung, Dimana peneliti mengikuti dan meneliti secara langsung proses pekerjaan grouting di proyek pembangunan bendungan.

Jenis data

Jenis data yang digunakan oleh peneliti adalah jenis data kuantitatif, dimana peneliti mengumpulkan data dalam meneliti proses pekerjaan grouting di pembangunan bendungan lau simeme, dalam meneliti pengaruh grouting pada rembesan atau seepage dengan cara menghitung nilai lugeon (Lu) untuk mengetahui keefisiensi metode grouting terhadap rembesan atau seepege

dalam pembangunan bendungan.

Sumber data

Sumber data yang dipakai peneliti adalah sumber data primer melalui penelitian langsung terhadap objek. Dengan begitu peneliti mendapatkan data yang benar-benar riil dalam lapangan. Jadi, peneliti langsung mengikuti proses pengerjaan grouting di pembangunan bendungan di lapangan selama 2 bulan.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik Pengumpulan Data yang digunakan peneliti melalui observasi wawancara dan dokumentasi langsung di lapangan dan mengikuti tahapan proses dalam pengerjaan *grouting* di lapangan, dimana peneliti memantau langsung proses pengerjaan grouting di lapangan selama dua bulan untuk mengumpulkan data grouting. Dan mewawancarai beberapa sumber di lapangan terkait pengerjaan grouting.

Observasi

Penulis melakukan Observasi selama dua bulan di proyek pembangunan bendungan lausimeme, dengan cara mengikuti langsung alur pekerjaan grouting atau perbaikan pondasi bendungan yang dilakukan PT WIKA di proyek pembangunan bendungan, dari tahap pengeboran lubang, pengetesan kelulusan air (WPT), dan proses grouting atau penginjeksian cairan beton ke dalam lubang titik pondasi.

Wawancara

Penulis melakukan wawancara kepada

pekerja, Bpk. Agga selaku pelaksana grouting, Bpk. Alli selaku konsultan, dan pihak pihak yang mengikuti pekerjaan grouting mengenai manfaat dan proses grouting yang di aplikasikan untuk memperbaiki struktur pondasi dalam bangunan bendungan,

Studi dokumen

Data data yang didapat dari pihak kontraktor penulis di bekali dengan data SNI tentang pengaplikasian grouting dan perhitungan kelulusan air dalam penerapan grouting di bendungan.

Alat Analisis

Alat analisis yang digunakan dalam penelitian ini merupakan analisis korelasi. Dimana analisis korelasi yaitu peneliti meneliti pengaruh grouting terhadap rembesan atau seepage dengan cara membandingkan nilai *lugeon* (Lu) dari sebelum pondasi bendungan belum di grouting dan sesudah pondasi bendungan sesudah di grouting untuk mengetahui pengaruh metode grouting terhadap rembesan atau *seepage* dalam pembangunan bendungan.

III. TINJAUAN PUSTAKA

Berikut adalah pembahasan dari tinjauan pustaka:

1. Gambaran Umum Bendungan

Menurut Pak Aga selaku pelaksana (2022) Bendungan adalah kontruksi yang dibangun untuk menahan laju air dan meningkatkan muka air menjadi waduk, danau, atau tempat rekreasi. Bendungan sering digunakan untuk mengalirkan

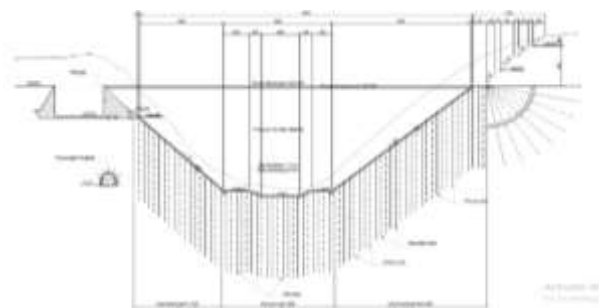
air ke pembangkit listrik tenaga air, irigasi, pengendali banjir, dan penyedia air bersih. Kebanyakan dam juga memiliki bagian yang disebut pintu air untuk membuang air yang tidak diinginkan secara bertahap dan berkelanjutan. Bendungan salah satu bangunan air yang berukuran besar yang mampu memberikan manfaat kepada mahluk hidup terutama manusia. Namun pada dasarnya bendungan dapat membawa dampak positif ataupun negatif apabila dalam proses pembangunannya dan perawatannya tidak dilakukan secara tepat.

2. Gambaran Umum Metode Grouting dalam Bendungan

Proses grouting atau injeksi dalam perbaikan pondasi bendungan melibatkan penyuntikan cairan dengan tekanan ke dalam rongga atau pori tanah atau batuan. Dalam rentang waktu tertentu, cairan ini akan mengalami pengerasan baik secara fisik maupun kimiawi. Penggunaan teknologi pengeboran (drilling) dan penyuntikan semen bertekanan (pressure grouting) telah terbukti efektif dalam mengatasi rembesan dan meningkatkan daya dukung batuan. Awalnya, metode grouting lebih umum digunakan dalam teknologi pengeboran minyak bumi, tetapi kini telah banyak diaplikasikan dalam bidang teknik sipil. Grouting melibatkan penyuntikan bahan semi kental (slurry material) ke dalam tanah atau batuan dengan tekanan melalui lubang bor atau drilling, dengan tujuan untuk menutup diskontinuitas terbuka, rongga-rongga, dan lubang-lubang pada lapisan batuan yang menjadi fokus perbaikan.

Dengan kebutuhan akan pembangunan

bendungan besar yang terus meningkat di Indonesia dan semakin sulitnya menemukan kondisi geologi yang optimal, penggunaan teknologi grouting menjadi semakin dibutuhkan. Beberapa bendungan yang telah selesai dibangun dan saat ini berada dalam tahap operasi dan pemeliharaan ternyata memerlukan perawatan tambahan (remedial work), termasuk pelaksanaan pekerjaan grouting tambahan. (Sumber: Pedoman grouting untuk bendungan (2005))



Gambar 1 (Sumber: Pedoman grouting untuk bendungan (2005))

3. Pekerjaan Water Pressure Test (WPT)

Water Pressure Test dilakukan di seluruh titik grouting (*curtain*, *blanket*, *pilot hole*, *cek hole*), tetapi hanya titik *pilot hole* yang menjalani uji *multi-test*. Sementara itu, uji tekanan air pada titik *curtain* dan *blanket* hanya dilakukan satu kali (10 menit per tahap) dengan tekanan maksimum yang telah ditentukan. *Multitest* dilaksanakan dengan *Water Pressure Test* sebanyak 7 kali setiap tahap, dengan variasi tekanan yang telah ditetapkan (PT. Wijaya Karsa, 2022). Setelah membaca hasil uji kelulusan air atau *Water Pressure Test*, dapat digunakan dua perhitungan, yaitu:

1. Perhitungan terhadap Koefisien kelulusan air (K). (SNI 2411:2008). Rumus yang diterapkan dalam perhitungan koefisien kelulusan air (k) sebagai berikut :

$$K = \frac{(Lu/120 \times 13.14) \times 1000 \times \ln(L \times 100)}{D \times 0.5 \times 0.1}$$

Keterangan :

- k = koefisien kelulusan air (cm/sekon)
 Q = debit air yang masuk, (cm³/sekon)
 L = panjang lubang bor yang diuji, (cm)
 r = jari-jari lubang bor (cm)
 h = hp + hs, (cm); (hp = tinggi pressure gauge/ manometer,
 hs = tinggi tekanan air/ flow meter.

2. Perhitungan terkait nilai Lugeon (Lu) (SNI 2411:2008)

Perhitungan nilai legeon dapat dilakukan dengan menggunakan rumus apabila tanah atau batuan yang di bor adalah batuan kompaksi (proses penyusunan kembali butiran sedimen sehingga menghasilkan butiran yang lebih rapat).

$$Lu = \frac{10 \times Q}{P \times L}$$

Keterangan :

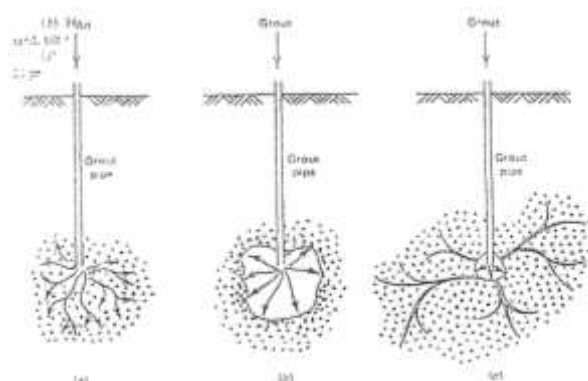
- Lu = Nilai Lugeon (l/menit/m)
 P = Po + 0.1 (H1 + H2 + C). (tekanan total).
 P0 = Tekanan Uji yang dibutuhkan (kg/m²)
 H1 = Tinggi manometer (meter)
 H2 = Muka air tanah (GW)
 C = Concrete
 Q = Debit air yang masuk melalui lubang bor (liter/menit)
 L = Panjang bagian yang diuji (meter)
 V = volume air yang diinjeksikan (Liter) kedalam lubang bor yang berdiameter 75 mm;

t = waktu (menit)

4. Pengertian dan Fungsi grouting

Injeksi atau grouting adalah suatu metode dimana cairan disuntikkan ke dalam rongga atau pori-pori rekahan pada batuan atau tanah dengan tekanan tertentu. Seiring berjalannya waktu, cairan tersebut akan mengalami pengerasan baik secara fisik maupun kimiawi. Tujuan dari proses ini meliputi:

- Menurunkan permeabilitas
- Meningkatkan kekuatan geser
- Mengurangi kompresibilitas
- Mengurangi potensi erosi internal, terutama pada pondasi alluvial



Gambar 2. Fungsi grouting (Sumber : Pedoman Grouting untuk Bendungan)

Macam fungsi grouting di tanah dan batuan :

1. Permeasi atau penetrasi (permeation/penetration), di mana grouting mengalir ke dalam rongga tanah dan lapisan tipis batuan dengan dampak minimal terhadap struktur asli. Fungsinya adalah untuk mengurangi permeabilitas dan meningkatkan kekuatan geser.

2. Kompaksi atau pemadatan (compaction/controlled displacement), di mana massa grout yang memiliki konsistensi sangat kental disuntikkan ke dalam tanah sehingga mendorong dan menghasilkan pemadatan (densification). Tujuannya adalah untuk memadatkan tanah berbutir halus dan meningkatkan daya dukung.

Fraktur hidrolik (hydraulic fracturing/uncontrolled displacement), terjadi ketika tekanan grouting melebihi kekuatan tarik batuan tanah yang digrout, akibatnya material pecah dan grouting dengan cepat menembus zona rekahan. Fungsinya adalah untuk mengurangi kompresibilitas dan menurunkan permeabilitas massa tanah batuan yang digrout

5. Menentukan Campuran Untuk Grouting

Untuk menentukan apakah pekerjaan grouting diperlukan atau tidak, dapat dinilai berdasarkan nilai lugeon yang diperoleh dari uji tekanan air (Water Pressure Test/WPT). Sesuai dengan ketentuan yang terdapat dalam dokumen kontrak, diperlukan pelaksanaan grouting apabila nilai lugeon yang muncul dari hasil uji tekanan air tersebut., >20 , $>10 - < 20$, $>3 - < 10$ namun jika <3 tidak dilakukan grouting. Setiap besar kecilnya nilai lugeon campurn semen yang di injeksikan akan berbeda-beda campuran/kekentalanya, semakin besar nilai lugeon maka semakin kental campuran yang di injeksikan, jika nilai lugeon kecil maka campuran yang di suntikan akan semakin encer dan sedikit, dikarenakan nilai lugeon yang di dapatkan dari test WPT menjadi acuan besar

kecilnya rakahan batuan/tanah di bawah pondasi tubuh bendung.

IV. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

- 1) Mengetahui uji kelulusan air bertekanan berdasarkan perhitungan nilai Lugeon.
- 2) Mengetahui nilai lugeon pada proses wpt.
- 3) Mengetahui control rembesan dengan pengujian *check hole*.
- 4) Mengetahui efektifitas grouting untuk menanggulangi air rembesandi bawah pondasi tubuh bendung dengan metode *grouting Upstage* (bawah ke atas).
- 5) Mengetahui campuran yang di gunakan dalam tahap grouting

Mengetahui pengaruh grouting terhadap rembesan (*Seepage*) dengan nilai Lugeon.

V. LOKASI PENELITIAN

Adapun lokasi penelitian di Proyek Pembangunan Bendungan Lau Simeme Paket I, Deli Serdang. Lokasinya berada 3 km dari desa sibiru-biru. Peta lokasi proyek dapat dilihat pada Gambar 2.1. dibawah ini.

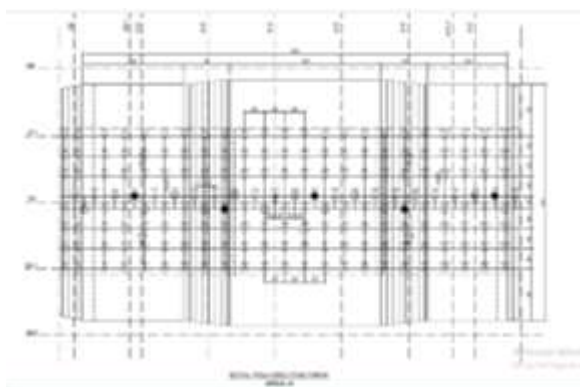


Gambar 3: Peta Lokasi Proyek Sumber:
Google Earth

BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Dalam Bendungan LAU Simeme, diterapkan pola grouting yang melibatkan lubang primer (*primary hole*), lubang sekunder (*secondary hole*), dan lubang tersier (*tertiary hole*). Jenis grouting yang dilakukan mencakup *pilote hole grouting*, *blanket grouting*, *curtain grouting*, dan *cek hole grouting*. Tata letak grouting ini dapat dilihat pada ilustrasi yang terdapat pada gambar 4.



1. Urutan Pengerjaan Grouting di Bendungan Lau Simeme

Urutan dan tahapan pengerjaan grouting yang dilakukan disepanjang pondasi tubuh bendung di Bendungan Lau Simeme dengan pola seperti pada gambar 4. Grouting yang digunakan adalah grouting dengan metode Upstage (bawah ke atas).

1) *Pilote Hole*

Pertama dilakukan proses pengeboran di titik lubang pilote hole dan

dilakukan WPT dengan kedalaman 55 meter untuk mengetahui nilai *lugeon* untuk dilakukan perbandingan di tahap awal dan langsung dilakukan proses grouting

2) *Blanket grouting*

Setelah *pilote hole* selesai, dilakukan pengerjaan pada jenis lubang grouting *blanket grouting* dengan kedalaman 5 meter dengan menggunakan pola grouting *primary hole*, *secondary* dan *tertiary hole*, pola yang digunakan pertama yaitu pola grouting *primary hole*, dilanjut pola grouting, *secondary hole* dan terakhir pola grouting *tertiary hole*, dilakukannya sistem pola pada grouting ini untuk memberi waktu dan jarak adalah supaya beton yang disuntikan pada saat grouting kering atau mengeras

3) *Curtain grouting*

Curtain grouting dilakukan setelah proses *grouting* pada *blanket* di area dekat titik lubang *pilote* dan *curtain* selesai di *grouting*, *curtain* mempunyai kedalaman yang sama dengan lubang *pilote hole* yaitu 55 meter dengan pola lubang *primary hole*, *secondary* dan *tertiary hole*, yang berada di area *pilote hole*.

4) *Cek hole*

Cek hole dilakukan terakhir, lubang *cekhole* di tentukan secara acak setelah lubang *pilote hole* dan *curtain* selesai di *grouting* *cek hole* digunakan untuk

perbandingan nilai lugeon terakhir apakah metode grouting yang digunakan efisien terhadap rembesan dan penguatan pondasi tubuh bendung, smakin kecil nilai lugeon yang didapatkan semakin bagus tandanya metode grouting yang dilakukan berhasil menghalau rembesan pada pondasi tubuh bendung.

2. Perhitungan terhadap Water Pressure Test (WPT) berdasarkan Nilai Lugeon (Lu) & Nilai Koefisien permeabilitas (k)

Setelah membaca hasil dari nilai WPT, data tersebut dihitung untuk mendapatkan nilai lugeon. Jika lugeon kurang dari 3 ($Lu \leq 3$), maka tidak perlu dilakukan grouting atau disebut sebagai kondisi tanpa grout. Perhitungan ini dilakukan pada satu titik spesifik, yaitu pada CH 3 pada tahap pertama, dengan data sebagai berikut:

Kedalaman (L2) = 6m (Stage 1 dari titik CH 1)

Panjang yang di test (L1-L2) = 5m

Tinggi namometer (pressure gauge) $h_2 = 0,50$

Tinggi flow meter = 0,50

GWL h_3 (Muka Air Tanah) = 0

Concrete (L1) = 1m (Lantai kerja)

Dari data yang terdapat dalam tabel hasil hitung peneliti, diambil nilai Q pada pembacaan ketiga, yang mencocokkan dengan aliran turbulen pada Tabel 2, 3. Dengan menggunakan hasil pembacaan uji tekanan air pada tabel tersebut, dapat dihitung nilai lugeon dan koefisien, sebagai berikut:

➤ Perhitungan nilai lugeon

$$Q = \frac{10 \times Q}{Q \times Q}$$

$$Q = \frac{10 \times 0,36}{0,897 \times 5}$$

$$Q \times \frac{3,6}{4,485} = 0,802675585284, (0,81)$$

➤ Perhitungan Nilai Koefisien Permeabilitas

$$k = \frac{(Q \times 120 \times 3,14 \times 1000) \times Q \times (Q \times 100)}{Q \times 0,5 \times 0,1}$$

$$k = \frac{(0,81/120 \times 3,14 \times 1000) \times Q \times (5,00 \times 100)}{73 \times 0,5 \times 0,1}$$

$$k = \frac{0,81/376,800 \times 6,214}{3,65}$$

$$k = \frac{0,0133}{3,65}$$

$$k = \frac{0,0133}{3,65} = 0,00365 \text{ cm/sekon}$$

3. Perbandingan Hasil Nilai Lugeon Sebelum di Grouting dan Sesudah Grouting

Perbandingan nilai lugeon sebelum dan sesudah grouting adalah untuk mengetahui efektifitas metode grouting terhadap rembesan di bawah pondasi tubuh bendung, dengan perbandingan jenis lubang pilot hole, curtain dan cek hole dengan jarak lobang satu area atau berdekatan.

1) Pilot Hole

Pilot hole adalah tipe lubang yang diterapkan di tengah as dam bendungan untuk menjadi acuan perbandingan terhadap pengaruh nilai lugeon terhadap rembesan sebelum dilakukannya proses grouting, berikut adalah salah satu hasil dari pilot hole dengan kode lubang PT3 yang di ambil

untuk di lakukannya perbandingan apakah hasil grouting yang di terapkan di pondasibendungan bisa menghalang rembesan.

2) Curtain atau Tirai Grouting

Dalam pengerjaan perbaikan pondasi bendungan di proyek bendungan lau simeme, Curtin atau tirai adalah tipe lubang di antara pilot hole dengan kedalaman yang sama yaitu 55m dengan jarak antara pola lubang lebih berdekatan dengan jarak 1,5 m daripada tipe lubang blanket dengan kedalaman 5m dan jarak antara pola lubang berjarak 3m, berikut adalah hasil nilai Lugeon di kode lubang CT 21 sekunder yang berdekatan dengan lubang pilot hole yang di atas untuk menjadi acuan perbandingan nilai lugen sebagai pengaruh metode grouting terhadap rembesan.

contoh data mentahan dan data yang sudah di olah oleh peneliti untuk perbandingan pengaruh nilai lugeon terhadap rembesan dengan kode lubang CH 3 di area yang berdekatan dengan contoh tipe lubang yang penulis terangkan di atas. Dibawah ini adalah hasil ringkasan data dari nilai lugeon lubang cek hole di atas:

TANGGAL	ID HOLE	Stage grouting	DRILLING (M)	DIAMETER LUBANG (MM)	LUGEON (Lu)
27-NOV-22	CH-3	CEK HOLE	13	500	73
27-NOV-22	CH-3	CEK HOLE	12	500	73
27-NOV-22	CH-3	CEK HOLE	11	500	73
27-NOV-22	CH-3	CEK HOLE	10	500	73
27-NOV-22	CH-3	CEK HOLE	9	500	73
27-NOV-22	CH-3	CEK HOLE	8	500	73
27-NOV-22	CH-3	CEK HOLE	7	500	73
27-NOV-22	CH-3	CEK HOLE	6	500	73
27-NOV-22	CH-3	CEK HOLE	5	500	73
27-NOV-22	CH-3	CEK HOLE	4	500	73
27-NOV-22	CH-3	CEK HOLE	3	500	73
27-NOV-22	CH-3	CEK HOLE	2	500	73
27-NOV-22	CH-3	CEK HOLE	1a	500	73
27-NOV-22	CH-3	CEK HOLE	1b	200	73

Tabel cek hole (sumber : rangkuman dari gambar data cekhole)

3) Cek Hole

Cek hole adalah tipe lubang yng di gunakan untuk perbandingan nilai lugeon dalam penerapan grouting, apakah proses grouting berhasil apa tidak, lubang cek hole ditentukan secara acak di antara lubang curtain dan pilot hole yang sudah di grouting dengan pengeboran miring atau lurus dengan acuan kedalaman yang sama, nilai lugeon Cek hole harus lebih kecil dari nilai lugeon pada tipe lubang pilot hole dan curtine hole, berikut adalah salah satu

4) Perbandingan Nilai Lugeon dari Lubang Pilote Hole, Curtain dan Cek Hole

KODE LUBANG	NAMA LUBANG	STAGE	LUGEON (Lu)	Lu < 3 NO GROUT
PT-3	PILOT HOLE	11	13.95	GROUT
		10	17.37	GROUT
		9	19.24	GROUT
		8	20.52	GROUT
		7	21.38	GROUT
		6	22.53	GROUT
		5	30.13	GROUT
		4	27.09	GROUT
		3	24.40	GROUT
		2	30.21	GROUT
		1b	34.05	GROUT
		1a		
		RTA-RATA	25.02	
CT-21	CURTAIN	11	9.81	GROUT
		10	11.34	GROUT
		9	12.26	GROUT
		8	14.55	GROUT
		7	16.59	GROUT
		6	17.42	GROUT
		5	18.24	GROUT
		4	18.57	GROUT
		3	18.94	GROUT
		2	19.18	GROUT
		1b	19.58	GROUT
		1a		
		RTA-RATA	16.08	
CH-3	CEK HOLE	13	1.41	NO GROUT
		12	1.42	NO GROUT
		11	1.49	NO GROUT
		10	1.39	NO GROUT
		9	1.55	NO GROUT
		8	1.29	NO GROUT
		7	1.12	NO GROUT
		6	1.85	NO GROUT
		5	1.66	NO GROUT
		4	1.42	NO GROUT
		3	1.49	NO GROUT
		2	1.07	NO GROUT
		1b		NO GROUT
		1a	1.00	
		RTA-RATA	1.39	

Tabel Perbandingan (sumber : perbandingan pengaruh nilai lugen terhadap rembesan)

4. Perhitungan Campuran Grouting

Berikut ini sebagai contoh Perhitungan Campuran grouting dan berapa banyak campuran semen yang di injeksikan kedalam lobang yang di kedalaman 50-55 meter dengan diameter 73 mm.

- Preparation volume/ volume campuran (Lt) = (Kg) Cement ÷ (Sg) Cement + (Lt) Water
- Injection volume cement (Kg) = injection volume (Lt) ÷ preparation volume (Lt) x preparation volume cement (Kg)
- Wasted volume (Lt) = Preparation volume (Lt) – injection volume (Lt)
- Wasted volume cement (Kg) = Preparation cement (Kg) – injection cement (Kg)

Keterangan:

V = Volume campuran/Preparation Volume
C = Cement/Semen
W = Water/air
SG = Spesific Gravity/Masa Jenis

Wasted Volume = Volume campuran yang terbuang
Injection cement = semen yang di injeksikan
Lt = Liter
Kg = kilo gram

Perhitungan dengan contoh kode lubang CT – 14 tersier.

Rumus menghitung volume campuran/Preparation (Lt) adalah:

$$\begin{aligned} V &= C \div SG + W \\ &= 20 \div 3.1 + 200 \\ &= 6.452 + 200 \\ &= 206.452 \text{ (Lt)} \end{aligned}$$

Rumus menghitung Injection volume cement (Kg) adalah:

- Injection volume cement (Kg) = injection volume (Lt) ÷ preparation volume (Lt) x preparation volume cement (Kg)

$$\begin{aligned} IVC &= IV \div V \times VC \\ &= 152.449 \div 252.903 \times 40.00 \\ &= 0.60279632903 \times 40.00 \\ &= 24.1118531611 \\ &= (24.11) \end{aligned}$$

Rumus menghitung Wasted volume (Lt) adalah :

Wasted volume (Lt) = Preparation volume (Lt) – injection volume (Lt)

$$\begin{aligned} wv &= V - IV \\ &= 252.903 - 152.449 \\ &= 100.454 \end{aligned}$$

Rumus menghitung Wasted volume cmen (Kg) adalah :

Wasted volume cement (Kg) = Preparation cement (Kg) – injection cement (Kg)

$$\begin{aligned} wvc &= Vc - IC \\ &= 40.00 - 24.11 \end{aligned}$$

= 15.89

Berdasarkan tabel hitung peneliti yang merupakan komposisi campuran material pekerjaan grouting yang sudah disepakati oleh konsultan dan kontraktor dimana

- 1:10 menggunakan volume campuran 206.452 liter dengan campuran water 200 liter dan cement 20 kg
- 1:8 menggunakan volume campuran 166.452 liter dengan campuran water 160 liter dan cement 20 kg
- 1:6 menggunakan volume campuran 252.903 liter dengan campuran water 240 liter dan cement 40 kg
- 1:4 menggunakan volume campuran 172.903 liter dengan campuran water 160 liter dan cement 40 kg
- 1:2 menggunakan volume campuran 232.258 liter dengan campuran water 200 liter dan cement 100 kg
- 1:1 menggunakan volume campuran 211.613 liter dengan campuran water 160 liter dan cement 160 kg
- 1:0.5 menggunakan volume campuran 197.419 liter dengan campuran water 120 liter dan cement 240 kg

Grouting di proyek pembangunan bendungan lau simeme ini haya menggunakan campuran water dan cement tidak mengunkan pasir.

Dengan tebel hitungan peneliti dengan kode lubang CT-14 stage 11 dengan nilai Lu

9.58, dilakukan proses grouting dengan tekanan 5.0 kg/cm^2 dan campuran semen 1 : 10 water atau semen 20 Kg : 200 lt water menghasilkan olume campuran 206.452 lt dan di suntikn kedalam lubang 206.452 lt lolos semua, dan di ulang lagi penyuntian dengan tekanan dan campura yang sama satu kali lagi,

Penyuntikan ke tiga dilakukan dengan tekanan 7.0 kg/cm^2 dan campuran semen 1 : 8 water atau semen 20 Kg : 160 lt water menghasilkan olume campuran 166.452 lt dan di suntikn kedalam lubang 166.452 lt lolos semua, dan di ulang lagi penyuntian dengan tekanan dan campura yang sama satu kali lagi,

Penyuntikan ke lima dilakukan dengan tekanan 10.0 kg/cm^2 dan campuran semen 1 : 6 water atau semen 40 Kg : 240 Lt water menghasilkan olume campuran 252.903 lt dan di suntikn kedalam lubang yang lolos hanya 152.449 lt dengan total volume campuran yang terbangung 100.454 lt dan volume semen yang terbangung 15.89 Kg, dan di ulang lagi penyuntian dengan tekanan dan campuran yang sama dengan tekanan 10.0 kg/cm^2 dan campuran semen 1 : 6 water atau semen 40 Kg : 240 Lt water menghasilkan volume campuran 252.903 lt dan di suntikn kedalam lubang yang lolos hanya 72.634 lt dengan total volume campuran yang terbangung 180.269 lt dan volume semen yang terbangung 28.51 Kg.

VI. KESIMPULAN

Pengaruh metode grouting terhadap permeabilitas atau rembesan/seepage pada perbaikan pondasi bendungan di Bendungan lau simeme dinilai sangat efektif. Grouting terbukti dapat memperkecil nilai permeabilitas dan Meningkatkan kekuatan geser atau mengurangi risiko erosi internal, terutama pada struktur pondasi. aluvial rembesan dibawah pondasi bendungan sehingga memperkuat

pondasi bendungan untuk mencegah retakan atau rusaknya bendungan, hal ini dibuktikan dari analisa grouting dengan metode Upstage (dari bawah ke atas) mendapatkan hasil dari nilai Lugeon (Lu) Cek hole setelah pekerjaan grouting pada pilote hole dan curtain hole selesai, dengan nilai Lugeon yang sebelumnya di lubang pilote hole dan curtain hole (>3) dan nilai Lugeon di lubang cek hole (<3).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Australian National Committee on Large Dams (ANCOLD), 2017, Guidelines for Design of Dams and Appurtenant Structures for Earthquake, March.
- [2] [BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2002. RSNi T-01-2002. Tata Cara Desain Tubuh Bendungan . Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [3] Christady Hardiyatmo, Hary. 2007. Mekanika Tanah 1 Edisi Keempat. Yogyakarta: Gajah Mada University Press
- [4] Das, Braja M, dkk. 1994. Mekanika Tanah Jilid 2 (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik), Jakarta: Erlangga.
- [5] Dharmayasa, 2018, Analisis Rembesan Di Bawah Tubuh Bendungan Urugan, Jurnal, Denpasar, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Pendidikan Nasional.
- [6] Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017, Modul Pengaturan Dan Konsepsi Keamanan Bendungan , Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- [7] Soedibyo, I., 2003, Teknik Bendungan, Jakarta, PT. Pradnya Paramita.
- [8] Sosrodarsono, Suyono dan Takeda, Kensaku. 1981. Mekanika Tanah Dan Teknik Pondasi, Jakarta: Pradnya Paramita.
- [9] Anonim. 1999. Panduan Perencanaan Bendungan Urugan. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum. Thomas, D. L, J. V. Whiteman and L. E. Walters. 1976. Carcass Traintns Of Lambs Produce By Cross Breed Dams Of Fim Sheep, Dorset And Raimbaile Breeding And Slaughter At Two Weight. Journal. Animal Sci 43:100-102.
- [10] Yuli, 2012, Analisa Rembesan Bendungan Bajulmati Terhadap Bahaya Piping Untuk Perencanaan Perbaikan Pondasi, Jurnal, Malang, Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya.
- [15] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2003 tentang *Sistem Pendidikan Nasional*.