

## ANALISA EFEKTIFITAS GROUTING MAINDAM DAN TUNNELWATERWAY BENDUNGAN KEUREUTO KABUPATEN ACEH UTARA

(Studi Kasus Proyek Bendungan Keureuto Kabupaten Aceh Utara)

**Wili Wahyu Saputro<sup>(1)</sup>, Eri Setia Romadhon<sup>(2)</sup>**

<sup>1)</sup>Mahasiswa Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Jayabaya

<sup>2)</sup>Pengajar Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Jayabaya

Jl. Raya Jakarta-Bogor No KM 28 8, Cimanggis-Depok; Email: [wiliwahyu824@gmail.com](mailto:wiliwahyu824@gmail.com)

### Abstrak

Bendungan Keureuto di Kabupaten Aceh Utara yang telah dibangun sejak tahun 2015 sampai dengan saat ini termasuk salah satu bendungan di Indonesia yang memiliki karakteristik pondasi yang unik, dengan jenis batuan pada pondasi didominasi oleh batuan jenis mudstone. Menurut Sosrodarsono, dkk (1997), bahan material untuk pembangunan bendungan urugan diambil dari hasil galian sekitar site sebagai kedudukan bendungan atau lokasi bendungan pelengkap. Namun hasil galian sekitar site Bendungan Keureuto yang teridentifikasi didominasi oleh jenis batuan mudstone memiliki kekerasan dan kekakuan yang kurang baik dan sangat rentan mengalami pelapukan apabila terekspos oleh udara dan air secara terus menerus. Untuk meningkatkan daya dukung pondasi tubuh bendungan yang memiliki batuan dasar jenis mudstone tersebut maka dilakukan perkuatan pondasi dengan menggunakan grouting di sepanjang as maindam dan Tunnel Waterway Bendungan Keureuto. Perkuatan Pondasi yang dilakukan dengan metode grouting tersebut diharapkan dapat meningkatkan nilai Lugeon (LU) menjadi  $<5$  pada setiap blok grouting yang ditentukan, dari nilai lugeon sebelumnya yang cukup besar dan tidak memenuhi syarat sebagai pondasi bendungan.

**Kata kunci:** grouting, Bendungan Keureuto, mudstone, lugeon.

### PENDAHULUAN

Bendungan merupakan salah satu infrastruktur penting di Indonesia untuk mengelola sumber daya air dan menyediakan air irigasi, pasokan air baku, serta pembangkit listrik tenaga air. Sebagai negara kepulauan dengan beragam kondisi geografis, Indonesia menghadapi tantangan unik dalam pengelolaan sumber daya air dan pengoperasian bendungan. Oleh karena itu, penelitian mengenai kinerja bendungan di Indonesia menjadi penting untuk memastikan keberlanjutan dan efisiensi penggunaan sumber daya air yang kritis ini. Pembangunan bendungan di Indonesia telah mencapai kemajuan yang pesat dalam beberapa dekade terakhir. Namun, seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan ekonomi, permintaan akan air dan energi terus meningkat. Selain itu, perubahan iklim juga menjadi faktor yang

mempengaruhi pola curah hujan dan tata kelola sumber daya air di Indonesia. Semua aspek ini berdampak pada kinerja bendungan, yang harus dihadapi dengan tantangan baru dan perubahan dalam skala dan intensitas. Hingga saat ini, banyak bendungan di Indonesia telah beroperasi selama beberapa dekade. Evaluasi kinerja bendungan yang ada menjadi penting untuk menilai efektivitas dan efisiensi dari infrastruktur yang telah ada, termasuk kapasitas penyimpanan, keandalan, dan kebocoran air. Selain itu, kemampuan bendungan untuk mengatasi perubahan iklim, banjir, dan kekeringan juga harus diperiksa secara teliti untuk memastikan keberlanjutan fungsi dan manfaatnya. Penelitian ini akan dilakukan dengan melakukan studi kasus pada Bendungan Keureuto, yang merupakan salah satu bendungan terbesar di Pulau Sumatera. Bendungan Keureuto terletak di Desa Blang Pante Kecamatan Payabakong di Kabupaten Aceh Utara

yang berjarak ±345 Km dari Banda Aceh. Secara geografis Bendungan Keureuto terletak pada  $04^{\circ} 56' 03,42''$  LU  $97^{\circ} 09' 44''$  BT. Bendungan Keureuto merupakan bendungan yang menampung aliran Sungai Krueng Keureuto dengan total panjang sungai 31,19 km dengan Luas DAS (Daerah Aliran Sungai)2 mencapai 235,61 km<sup>2</sup>. Bendungan Keureuto pertama kali dibangun pada tahun 2015 sampai sekarang. Bendungan Keureuto ini bertipe bendungan dengan zona inti tegak dengan elevasi puncak bendungan pada ketinggian 107,511 mdpl. Alasan dibangunnya bendungan ini yaitu untuk pengendalian banjir, penyediaan irigasi seluas 9420 Ha, sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air serta sebagai penyediaan air baku. Pekerjaan pada Bendungan Keureuto meliputi; pekerjaan *Main Dam* (Bendungan Utama), Bangunan *Spillway* (Pelimpah), Bangunan *Waterway*, Bangunan Pengelak, serta fasilitas umum beserta lansekap sebagai penunjangnya. Bangunan *Waterway* Bendungan Keureuto memiliki beberapa fungsi, salah satu fungsinya adalah mengalirkan aliran sungai selama pelaksanaan konstruksi bendungan dan sebagai suplai air baku, irigasi dan PLTA setelah bendungan beroperasi. Konstruksi bangunan *Waterway* berupa terowongan dengan bentuk tapal kuda dengan diameter 5 meter. Terowongan ini berada di sandaran kanan bendungan utama. Dimana lokasi ini merupakan daerah perbukitan yang didominasi oleh batuan mudstone. Dalam pembuatan terowongan dibutuhkan suatu konstruksi yang dapat menahan berbagai jenis lapisan tanah dan batuan sehingga akan menghasilkan struktur yang aman. Oleh karena itu *slope* di sekitar inlet maupun outlet terowongan tersebut perlu diperhatikan stabilitasnya. Hal ini dikarenakan lokasi lereng dan

terowongan tersebut berdiri di formasi batuan mudstone. Batuan mudstone merupakan batuan sedimen yang bersifat *slacky* atau mudah berubah bentuk/lapuk jika sudah terekspose. Mempertimbangkan kondisi geologi pada lereng inlet maupun outlet terowongan waterway serta pentingnya keamanan struktur terowongan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng inlet akibat penggalian konstruksi terowongan waterway. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan terhadap pihak kontraktor dan *owner* proyek pembangunan Bendungan Keureuto. satu masalah terpenting dalam pembangunan terowongan adalah memastikan stabilitas pada bukaan terowongan karena sebagian besar kegagalan terowongan

## **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

Penelitian-penelitian yang telah banyak dilakukan pada umumnya menggunakan metode konvensional, yaitu menggunakan mesin Rotari saja. Asy'ari et al., (2021) melakukan penelitian dengan pengamatan di proyek pembangunan Bendungan Tapin tentang pengaruh injeksi semen bertekanan (grouting) terhadap nilai Lugeon. Pemboran dilakukan dengan metode konvensional dengan cara putar (Rotari method) menggunakan mesin bor putar berhidrolis (hydraulic feed Rotari drilling machine) model Koken. Pengambilan contoh inti pemboran (core sampling) diperlukan untuk Pilot hole dan Check Hole, sedangkan untuk lubang grouting lainnya tidak diperlukan pengambilan contoh inti. Setelah dilakukan test grouting kemudian dilakukan perhitungan nilai Lugeon untuk mengetahui efektifitas grouting yang dinyatakan dalam %. Pekerjaan pemboran dan grouting pada area main dam Bendungan Tapin

dilaksanakan dengan jumlah titik sebanyak 1350 yang dibagi ke dalam 12 blok. Dari hasil pekerjaan cek hole untuk pekerjaan grouting main dam kiri untuk 6 blok memiliki angka Lugeon rerata 2.46. Padapekerjaan grouting di dam utama sisi kanan, setelah dilakukan pekerjaan cek hole 6 blok didapatkan angka Lugeon rerata 1.18. Hasil perhitungan efektifitas grouting pada zona inti di area main dam didapatkan nilai efektifitas grouting yang diperoleh pada angka 74.38. Angka tersebut dimasukkan ke dalam tabel pengaruh efektifitas grouting masuk ke dalam kategori baik. Kategori tersebut telah menunjukkan bahwa grouting telah berhasil dilaksanakan.

#### Teori Tentang Geologi

##### 1. Jenis – jenis Lapisan Tanah

- Lapisan Tanah Atas
- Lapisan Tanah Tengah
- Lapisan Tanah Bawah
- Lapisan Batuan Induk
  - a. Tanah Aluvial
  - b. Tanah Andsol

##### 2. Jenis – jenis Batuan

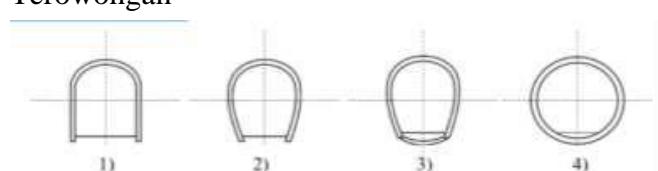
#### Batuan Beku

- a. Batuan Tubir
- b. Batuan Lelehan
- c. Batuan Korok
- Batuan Sedimen

#### Batuan Metamorf Bendungan

- Bendungan urugan batu (*rock fill dam*) disingkat dengan istilah “Bendungan Batu”.
- Bendungan urugan tanah (*earth fill dam*) disingkat dengan istilah “Bendungan Tanah”.

#### Terowongan



Grouting atau Injeksi, suatu proses

pemasukan suatu cairan dengan tekanan ke dalam rongga atau pori, rekanan dan kekar pada batuan, yang dalam waktu tertentu cairan tersebut akan menjadi padat dan keras secara fisika maupun kimiawi

#### Tujuan Grouting

1. menurunkan permeabilitas
2. meningkatkan kuat geser
3. mengurangi kompresibilitas
4. mengurangi potensi erosi internal, terutama pada pondasi alluvial.

#### Jenis Grouting pada Bendungan Grouting Tirai

1. Grouting Blanket
2. Grouting Konsolidation
3. Grouting Radial
4. Grouting Kontak
5. Grouting Semprot

#### Uji Nilai Lugeon dan Permeability

Dimana :

Lu = nilai Lugeon

Q = debit air masuk per meter (l/menit)

H = Tekanan aktual ( kg/cm) = P+Hg x 0,1L =

Panjang test Kedalaman

LU =  $(10 \times Q) / (L \times H)$

#### METODE PENELITIAN



- a. Tahap ke-1 adalah tahapan persiapan, yang terdiri atas: (i) observasi fakta untuk menelaah permasalahan kinerja mutu berdasarkan data instansional dan hasil penelitian yang relevan; (ii) menyusun rumusan masalah dan

- tujuan penelitian;
- Tahap ke-2 adalah tahapan kajian pustaka, yang terdiri atas: (i) mengkaji hasil penelitian lain yang relevan; (ii) mengidentifikasi faktor dan variabel beserta indikator dan parameternya dalam tiap sub-sistem untuk menyempurnakan instrumen penelitian;
  - Tahap ke-3 adalah tahapan pengolahan data atau perhitungan untuk memperoleh tingkat efektifitas grouting pada maindam dan Tunnel Waterway.
  - Tahap ke-4 adalah tahapan pembahasan atau analisis untuk mengehatui penyebab terjadinya hasil yang tepat atau penyimpangan yang terjadi dari hasil pengolahan data atau perhitungan.
  - Tahap ke-5 adalah merumuskan hasil pembahasan atau membuat kesimpulan efektifitas grouting maindam dan Tunnel Waterway.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

BANGUNAN		KETERANGAN	
Bendungan Utama		Tinggi Bendungan : 2000 Angsuran Tanah Elektro Puncak : +97,5 Tinggi Bendungan : 74 m Pasang : +995 m Lebar Dasar : 120 m Konstruksi : U.S. 1,25 D 1,1 2,50	
Tersanggau Pengukur		Pasang Tersanggau : -34,83 m Distanse Tersanggau : 5 m El. Jalin Tersanggau : +97,51 m El. Ondel Tersanggau : +97,28 m	
Tersanggau Waterway		Pasang Tersanggau : +01,69 m Distanse Tersanggau : 5 m El. Jalin Tersanggau : +98,11 m El. Ondel Tersanggau : +97,28 m	
Pembangkit Listrik		Tinggi Muka : ... Open Type 1 El. Puncak Masa : +101,51 m Pasang Apresi Hidro : -17,90 m Lebar Jadiang : ... 54,00 m Total Pasang Bahan : +94,40 m	
VOLUME CURTAIN TW.32			
HOLES	JUMLAH TITIK	KEDALAMAN (meter)	TOTAL KEDALAMAN (meter)
CURTAIN PRIMER	16,00	40,00	640,00
CURTAIN SEKUNDER	32,00	20,00	640,00
CURTAIN TERTIAR	32,00	10,00	320,00
TOTAL	80,00		1600,00
VOLUME CHECK HOLE			
HOLES	JUMLAH TITIK	KEDALAMAN (meter)	TOTAL KEDALAMAN (meter)
CHECK HOLE PRIMER	1	40	40
CHECK HOLE SEKUNDER	1	20	20
CHECK HOLE TERTIAR	1	20	20

Besarnya efektifitas grouting ditunjukkan oleh besarnya pengaruh grouting terhadap kelulusan air batuan sebelum dilakukan

grouting, dinyatakan dalam persen (%) Cenderen (1967) menyebutkan bahwa efektifitas grouting 90 % apabila kelulusan air sebelum digrouting (K) adalah 100 berubah menjadi kelulusan air sesudah digrouting (KG) sebesar 10, atau  $KG = 0,1 K$ . Efektifitas sementasi 80% apabila kelulusan air sebelum (K) adalah 100 berubah menjadi kelulusan air sesudah digrouting (KG) sebesar 20, atau  $KG = 0,2 K$  begitu seterusnya untuk efektifitas grouting yang lain dapat dihitung dengan pola pemikiran di atas.

Berdasarkan perhitungan tersebut dapat dituliskan sebuah rumus tentang efektifitas grouting :  $Efs = 100 - (KG/K) 100$

Dimana :

$Efs$  = Efektifitas grouting dalam persen (%)  $Kg$  = Kelulusan air sesudah grouting

$K$  = Kelulusan air sebelum grouting

Kelulusan air dapat diambil dari besarnya koefesien kelulusan air (K) atau koefesien Lugeon (LU). Dalam penentuan besarnya efektifitas grouting diambil koefesien Lugeon pada pilot hole dibandingkan dengan koefesien Lugeon dari Check hole yang berdekatan.

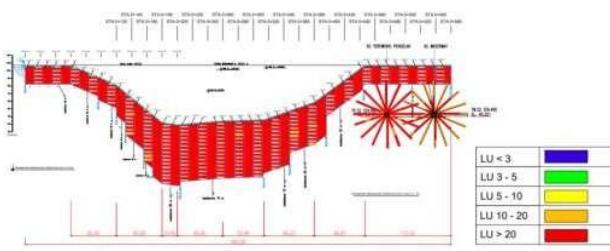
Efektifitas Grouting (%)		Pengaruh Grouting
> 90		Sangat baik
60 – 90		Baik
30 – 60		Sedang
10 – 30		Kurang
< 10		Buruk

Tabel Efektifitas Grouting pada area Sandaran kiri Maindam Bendungan Utama BLOK A

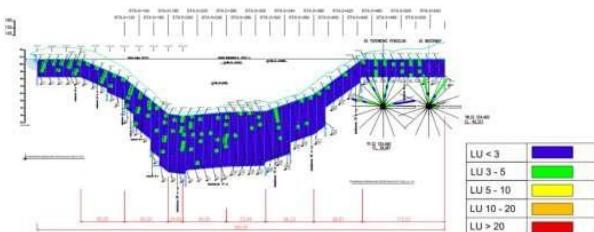
Stage	Kedalaman	Lu Value Sta : PH A / - CH - A			Classification
		Before (Avarege)	After	Efs %	
1	0 - 5	41,19	3,64	91,16	Sangat Baik
2	5 - 10	25,16	3,09	87,72	Baik
3	10 - 15	21,02	3,38	83,92	Baik
4	15 - 20	38,05	2,46	93,53	Sangat Baik
5	20 - 25	41,16	2,11	94,87	Sangat Baik

Tabel Efektifitas Grouting Radial pada area Tunnel Waterway

Stage	Kedalaman	Lu Value Sta : CT-P-A / CH - P			Classification
		Before	After	Efs %	
		(Average)			
1	0 - 5	29,36	3,27	88,86	Baik
2	5 - 10	29,12	4,17	85,68	Baik
3	10 - 15	27,56	2,63	90,46	Baik
4	15 - 20	25,64	3,02	88,22	Baik
5	20 - 25	31,81	4,43	86,07	Baik
6	25 - 30	30,62	3,59	88,28	Baik
7	30 - 35	18,31	3,16	82,74	Baik
8	35 - 40	15,42	2,17	85,93	Baik



## Gambar Peta Lugeon Sebelum Grouting Maindam dan Tunnel Waterway



## Gambar Peta Lugeon Sesudah Grouting Maindam dan Tunnel Waterway

Evaluasi Efektifitas Biaya, Waktu dan Mutu Setelah dilakukan pelaksanaan pemboran maka untuk selanjutnya dilakukan analisis waktu, biaya, dan mutu pada metode pemboran grouting

### a. Analisis Waktu

Analisis waktu pada pemboran lubang grouting dengan Metode Rotari dihitung Curtain : Pilot Hole 70 lubang 3.251 meter Primer, Sekunder, Tersier 560 lubang 22.630 meter

Sub Curtain : Primer, Sekunder, Tersier 374  
lubang 9.780 meter

Blanket : 4.066 lubang 20.330 meter

Volume Total Pengeboran 55991 meter

Berdasarkan data pencatatan di lapangan diperoleh perhitungan cycle time rata-rata pemboran dengan Rotari

Pt = Waktu untuk mengambil posisi mesin  
ber ke titik ber (detik)

Bt = Waktu untuk pemboran (detik)

At = Waktu mengangkat drilling root/batang bor ( detik )

St = Waktu untuk sambung drilling root/batang bor ( detik )

D<sub>t</sub> = Waktu untuk mengatasi hambatan (detik )

BLOK	Titik No.	Pt ( detik )	Bt ( detik )	At ( detik )	St ( detik )	Dt ( detik )
1	PH - 1	5420	18100	1830	3510	1830
	AS/1-K	5500	17800	1840	3580	1765
	AS/1-T	5300	17900	1780	3544	1750
	AS/2-K	5200	18100	1790	3590	1790
	AS/1-S	5340	18200	1810	3610	1810
	AS/3-K	5450	17980	1820	3605	1820
	AS/2-T	5340	18100	1780	3650	1765
	AS/4-K	5440	18500	1810	3740	1790
2	AS/1 P	5340	18400	1840	3800	1790
	AS/1-K	5420	17600	1780	3570	1810
	AS/1-T	5300	18100	1790	3800	1790
	AS/2-K	5120	18700	1810	3750	1810
	AS/1-S	5390	18300	1820	3125	1820
	AS/3-K	5430	18200	1840	3555	1765
	AS/2-T	5200	17800	1780	3610	1790
	AS/4-K	5100	17980	1790	3544	1790
3	PH - 1	5380	18100	1810	3580	1810
	AS/1-K	5300	18500	1820	3610	1820
	AS/1-T	5400	18300	1840	3605	1765
	AS/2-K	5200	17600	1780	3750	1790
	AS/1-S	5400	17600	1790	3740	1790
	AS/3-K	5200	18100	1810	3800	1810
	AS/2-T	5190	18700	1760	3570	1790
	AS/4-K	5170	18300	1820	3600	1810
4	AS/1 P	5340	17600	1780	3750	1820
	AS/1-K	5420	17900	1790	3125	1765
	AS/1-T	5370	17400	1810	3544	1750
	AS/2-K	5420	18200	1820	3590	1790
	AS/1-S	5180	17480	1780	3610	1810
	AS/3-K	5280	17600	1790	3605	1790
	AS/2-T	5350	17400	1790	3650	1810
	AS/4-K	5410	17500	1790	3610	1790
Rata-rata		5322	18001	1803	3604	1790

Dari perhitungan data-data di atas kemudian dihitung dengan Persamaan diperoleh sebagai berikut.

$$C_t = P_t + B_t + A_t + S_t + D_t$$

$$C_t = 5322 + 18001 + 1803 + 3604 + 1700 \\ = 30430 \text{ detik}$$

Diperoleh cycle time 30430 detik untuk kedalaman 5 meter. Kecepatan pengeboran sebagai berikut :

$$V = (H / Ct) \times 3600$$

$$= (5 / 30430) \times 3600$$

$$= 0,59 \text{ m/jam}$$

Dari perhitungan kecepatan pemboran diperoleh kecepatan 0,59 m/jam. Kemudian dengan menggunakan 15 mesin bor Rotari, berdasarkan Persamaan

diperoleh durasi pekerjaan sebesar sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Produktifitas pekerjaan} &= (\text{volume pekerjaan total} / \text{Durasi pekerjaan}) \\
 &= 55991 \text{ m} / (15 \text{ unit bor} \times 8 \text{ jam hari} \times 0,59 \text{ m/jam}) \\
 &= 790,83 \text{ hari} = 791 \text{ hari} = 26 \text{ bln} = 2 \text{ thn}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka total waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan pemboran di sandaran kanan, riverbed dan sandaran kiri menggunakan metode Rotari adalah 791 hari dengan jumlah mesin bor Rotari 15 unit, sehingga untuk kecepatan pemboran dengan metode Rotari diperoleh 0,59 m/jam sehingga membutuhkan waktu 2 tahun.

Tabel Analisis Harga Satuan Pemboran Dengan Metode Rotari

No.	Uraian	Satuan	Kuantitas/ koefesien	harga satuan	jumlah
1		1	2	3	4
1	Upah Tenaga				
	mandor	orang/hari	0,04	Rp95.000	Rp3.800
	operator	orang/hari	0,20	Rp75.000	Rp15.000
	pembantu operator	orang/hari	0,20	Rp72.500	Rp14.500
	pekerja	orang/hari	0,60	Rp72.500	Rp43.500
	Sub Jumlah I				Rp76.800
2	Bahan dan material				
	mata bor	bh	0,30	Rp250.000	Rp75.000
	solar	liter	1,60	Rp22.500	Rp36.000
	oli sae 40	liter	0,05	Rp30.000	Rp1.500
	oli sae 10	liter	0,10	Rp25.000	Rp2.500
	Sub Jumlah II				Rp115.000
3	Peralatan				
	Rotari	jam	1,60	Rp67.500	Rp108.000
	Sub Jumlah III				Rp108.000
	Sub Jumlah I + II + III				Rp299.800
4	Lain-lain				
	Keuntungan		10% Sub Jumlah I + II + III		Rp29.980
	Sub Jumlah IV				Rp29.980
	Jumlah Harga Sub Jumlah I + II + III + IV				Rp329.780

Berdasarkan analisis harga satuan pada Tabel, maka total biaya dari metode pemboran metode rotari dengan volume sebesar 55991 meter dikalikan dengan harga satuan per meter Rp 327.780,00 maka pendapatan biaya sekitar Rp 18.352.729.980.

## KESIMPULAN

Setelah mengumpulkan data dan tinjauan lapangan terlihat formasi batuan dari Bendungan keureuto. Bendungan Keureuto berdasar pemetaan geologi dapat dikelompokkan dari yang paling tua sampai

yang paling muda menjadi 3 (tiga) satuan batuan penyusun, yaitu :

Satuan Batulumpur Formasi Baong (Tmb), merupakan batuan dasar yang paling tua didaerah bendungan, dan satuan ini disisipi oleh batupasir dan kalkarenit, arah penunjaman relatif Barat Daya & Timur Laut dan kemiringan batuan antara  $50^\circ \sim 68^\circ$  ke arah barat daya. Ciri visual dari satuan ini adalah ketika segar, hancuran dari satuan Batulumpur blocky dan dapat ditemui di banyak singkapan satuan batulumpur nodul kuarsa pada badan batuan. Anggota Batupasir Peuneulien Formasi Baong (Tmbp), terdiri dari Batupasir gampingan, arenit, abu-abu, berbutir halus, terdapat sedikit batulumpur gampingan. Juga terdapat batupasir glauconite. Berumur Miosen Tengah (N12-N13) Endapan Koluvial, satuan ini dijumpai disepanjang lereng bukit, kaki bukit dan alur, dimana endapan ini merupakan hasil longsoran dari lapukan batuan dasar, material ini terdiri dari lempung, lanau, gravel boulder, umumnya kondisi tidak terkonsolidasi dengan baik.

Endapan Alluvial, terdapat di sepanjang alur sungai dan dataran banjir di kanan dan kiri sungai, endapan ini berlangsung terus hingga saat ini yang terdiri dari material lempung, lanau, pasir, kerikil dan kerakal sampai boulder.

Evaluasi keefektifitasan Grouting pada Maindam dan Tunnel Waterway bisa dikategorikan Baik dan Sangat Baik karena mampu mendapatkan nilai Lugeon dibawah 5 dan efektivitas Grouting rerata di atas 90 %. Dari perhitungan waktu yaitu 0,59 jam per 5 meter dari analisa ini semakin banyaknya unit alat bor yang bekerja semakin cepat pekerjaan selesai. Untuk Bendungan Keureuto memakai 15 unit alat bor dan istimasi dari perhitungan.

## DAFTAR PUSTAKA

Candergren, H. R., Seepage, Drainage, and Flow Nets, p. 110, John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, 1967.

Departemen Pekerjaan Umum, Panduan Perencanaan Bendungan Urugan, Juli 1999 : Direktorat Bina Teknik, Direktorat Jendral Pengairan,. Kementerian PUPR, 2015, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 27/PRT/M/2015 tentang Bendungan, Kementerian Pekerjaan dan Perumahan Rakyat, Jakarta

Departement Pekerjaan Umum. (2005). Pedoman Grouting Untuk Bendungan. Jakarta Selatan

Departement Pekerjaan Umum. (2005). Pedoman Pengendalian Rembesan Pada Bendungan Urugan. Jakarta

Selatan. Eliner H. Sihaloho&Edward A.M. Sihotang. 2019.