

# JURNAL GRADASI TEKNIK SIPIL

P-ISSN NO. 2598-9758 E-ISSN NO. 2598-8581

VOL. 5, NO. 2, DESEMBER 2021



Diterbitkan oleh  
Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat  
Politeknik Negeri Banjarmasin  
bekerjasama dengan  
Jurusan Teknik Sipil - Politeknik Negeri Banjarmasin

# **JURNAL GRADASI TEKNIK SIPIL POLITEKNIK NEGERI BANJARMASIN**

Jurnal Gradasi Teknik Sipil diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Politeknik Negeri Banjarmasin. Ruang lingkup makalah meliputi Bidang Teknik dan Manajemen dengan konsentrasi Bidang Transportasi, Geoteknik, Struktur, Keairan dan Manajemen Konstruksi. Isi makalah dapat berupa penyajian isu aktual di bidang Teknik Sipil, review terhadap perkembangan penelitian, pemaparan hasil penelitian, dan pengembangan metode, aplikasi, dan prosedur di bidang Teknik Sipil. Makalah ditulis mengikuti panduan penulisan.

## **Penanggung Jawab**

Nurmahaludin, ST, MT.

## **Dewan Redaksi**

Ketua : Dr. Fitriani Hayati, ST, M.Si.  
Anggota : Riska Hawinuti, ST, MT.  
Nurfitriah, S.Pd, MA.  
Kartini, S.T, M.T  
Mitra Yadiannur, M.Pd

## **Reviewer**

Dr. Ir. Yanuar Jarwadi Purwanto, MS. (Institut Pertanian Bogor)  
Dr. Ir. M. Azhar, M. Sc. (Institut Sains dan Teknologi Nasional)  
Dr. Ir. Endang Widjajanti, MT. (Institut Sains dan Teknologi Nasional)  
Joni Irawan, ST, MT. (Politeknik Negeri Banjarmasin)  
Yusti Yudiawati, ST, MT. (Politeknik Negeri Banjarmasin)  
Dr. Astuti Masdar, ST, MT. (Sekolah Tinggi Teknologi Payukumbuh)

## **Editing dan Tata Bahasa**

Nurfitriah, S.Pd., MA.

## **Desain dan Tata Letak**

Abdul Hafizh Ihsani

## **Alamat Redaksi**

Jurusan Gradasi Teknik Sipil Politeknik Negeri Banjarmasin, Jl. Brigjen H. Hasan Basri 70123  
Banjarmasin Telp/Fax 0511-3307757; Email: gradasi.tekniksipil@poliban.ac.id

## JURNAL GRADASI TEKNIK SIPIL

### DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
POTENSI KEMBANG SUSUT LAPISAN TANAH DASAR DI BANJARMASIN <i>Ahmad Norhadi, Akhmad Marzuki, Surat</i>	<b>53-59</b>
ANALYSIS OF LATERITE SOIL WITH PORTLAND CEMENT MIXED VARIATIONS AND THE EFFECT ON THE CBR UNSOAKED <i>Ahmad Ravi, Hurul 'Ain, Betti Ses Eka Polonia, M Hanif Faisal</i>	<b>60-73</b>
RECYCLE GLASS WASTE AS A REPLACEMENT OF FINE AGGREGATE IN CONCRETE MIX STANDARD COMPARISON <i>Syf. Umi Kalsum, Betti Ses Eka Polonia, Hurul 'Ain</i>	<b>74-84</b>
ANALISIS PENGGUNAAN BLOK PENYEKAT (BAFFLE BLOCK) UNTUK MEREDUKSI GERUSAN PADA ABUTMENT PILAR JEMBATAN <i>Lutfi Hair Djunur, Kasmawati</i>	<b>85-95</b>
VARIASI PERSENTASE ABU BATU TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL DALAM CAMPURAN HRS BASE <i>Muchtar Salim, Hadi Gunawan</i>	<b>96-102</b>
PENGARUH GROUTING TERHADAP NILAI LUGEON PADA BATUAN DASAR PONDASI BENDUNGAN TAPIN <i>Muhammad Amril Asy'ari, Rachmat Hidayatullah, Dessy Lestari.S            Selo Bhuwono Kahar, Maharto Kristiyono</i>	<b>103-116</b>
KEHILANGAN AIR AKIBAT PIPA PENYADAPAN LANGSUNG DI SALURAN IRIGASI RIAM KANAN RUAS BRK 0 – 7 <i>Adriani Muhlis, Siti Rahmalia, Herliyani Farial Agoes, Fitriani Hayati</i>	<b>117-128</b>

# PENGARUH GROUTING TERHADAP NILAI LUGEON PADA BATUAN DASAR PONDASI BENDUNGAN TAPIN

Muhammad Amril Asy'ari<sup>(1)</sup>, Rachmat Hidayatullah<sup>(1)</sup>, Dessy Lestari.S<sup>(1)</sup>  
Selo Bhuwono Kahar<sup>(2)</sup>, Maharto Kristiyono<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Program Studi Teknik Pertambangan, Politeknik Negeri Banjarmasin, Indonesia

<sup>(2)</sup>Balai Wilayah Sungai Kalimantan II

E-mail : [m.amril18arie@gmail.com](mailto:m.amril18arie@gmail.com) (corresponding author)

*Bendungan merupakan bangunan air yang dibangun melintang sungai untuk meninggikan elevasi muka air. Salah satu bangunan konstruksi bendungan adalah main dam. Fungsi dari konstruksi main dam adalah sebagai tempat penampungan air bendungan. Oleh karena itu bendungan harus memiliki fondasi yang kedap air agar tidak terjadi rembesan atau kebocoran.*

*Injeksi semen bertekanan (grouting) adalah proses dimana suatu cairan diinjeksikan dengan tekanan sesuai uji tekanan air ke dalam rongga, rekah dan retakan batuan/tanah, yang mana cairan tersebut dalam waktu tertentu akan menjadi padat secara fisika maupun kimiawi. 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. Pada pekerjaan grouting di main dam 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 kedalam tabel pengaruh efektifitas grouting masuk ke dalam kategori baik. Kategori tersebut telah menunjukkan bahwa grouting telah berhasil dilaksanakan.*

**Kata Kunci:** Bendungan, Efektifitas Grouting, Nilai Lugeon

*A dam is a water structure built across a river to raise the water level. One of the dam construction buildings is the main dam. The function of the main dam construction is as a reservoir for dam water. Therefore, the dam must have watertight foundation to prevent seepage or leakage.*

*Pressure cement injection (grouting) is a process in which a liquid is injected underpressure according to the water pressure test into cavities, fractures and rock/soil cracks, in which the liquid becomes physically and chemically solid after a certain period of time. After the grouting test is carried out, the Lugeon value is calculated to determine the effectiveness of grouting expressed in %.*

*Drilling and grouting work in the main dam area of Tapin Dam was carried out with a total of 1350 points. Check hole work for the left main dam grouting work for 6 blocks has the average Lugeon value of 2.46. For the right main dam, after the 6-block hole check job was done, the Lugeon value average was 1.18. The results of the calculation of the effectiveness of grouting in the core zone in the main dam area obtained the value of the effectiveness of the grouting of 74.38. The effectiveness of the grouting is included in the good category. This category means that the grouting has been successfully implemented.*

**Keywords:** Dam, Grouting Effectiveness, Lugeon Value.

**I. Pendahuluan**

Prasarana air memiliki peran sangat penting sebagai penyedia dan pendistribusian air bersih untuk memenuhi kebutuhan pengairan maupun keperluan sehari-hari. Dalam rangka memenuhi kebutuhan air untuk berbagai macam keperluan, dengan cara melaksanakan serangkaian usaha secara terus menerus yang dititik beratkan pada sektor sumber daya air bagi penyediaan air baku, air minum, air irigasi, air keperluan industri dan untuk keperluan lain-lainnya, baik berupa pembangunan fisik maupun kelembagaannya. Ketersediaan air di musim kemarau saat ini masih merupakan permasalahan yang belum seluruhnya dapat dipecahkan oleh pemerintah dalam rangka memenuhi kebutuhan masyarakat antara lain disebabkan oleh karena sumber air yang makin langka akibat penggundulan hutan dan penggunaan air yang tidak terkontrol. Salah satu upaya untuk meningkatkan sektor sumber daya air dalam bidang pemenuhan kebutuhan air adalah dengan membangun wadah penampungan buatan seperti Bendungan.

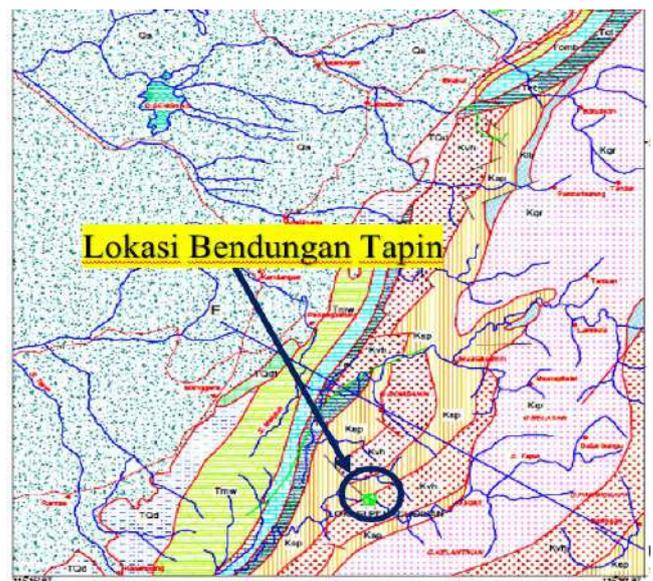
Pada konstruksi Bendungan, terdiri dari beberapa bangunan antara lain adalah Main dam, Spillway, Saddle dam dan lain-lain. Pada konstruksi maindam merupakan pondasi bendungan yang memiliki peranan penting sebagai tempat penampungan air menjadi Bendungan. Bendungan memiliki fungsi yaitu untuk menghalangi aliran air, meninggikan muka air sehingga membentuk penampungan air. Oleh karena itu bendungan harus memiliki pondasi yang kedap air agar tidak terjadi rembesan atau kebocoran. Perbaikan pondasi (grouting) merupakan salah satu cara untuk memperbaiki kerusakan struktur tanah atau batuan, salah satunya mengurangi rembesan air (nilai *Lugeon*). Pondasi main dam pada pembangunan Proyek Bendungan Tapin yang berada di Kabupaten Tapin membutuhkan perbaikan pondasi agar rembesan berkurang dan pekerjaan main dam dapat dikerjakan. Secara administratif lokasi Bendungan Tapin berada pada desa Pipitak Jaya, kecamatan Piani Kabupaten Tapin Provinsi

Kalimantan Selatan. Jarak lokasi Bendungan Tapin dari pusat kota Rantau (ibukota Kabupaten Tapin) sekitar 25 kilometer ke arah timur (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi Bendungan Tapin

Bendungan Tapin adalah bendungan kedua yang telah di bangun di Kalimantan Selatan. Adapun fungsi dari pembangunan Bendungan Tapin adalah untuk irigasi, Pembangkit Listrik Tenaga Air, sebagai reduksi banjir serta untuk pemanfaatan Pariwisata. Lokasi Bendungan Tapin berdasarkan peta geologi regional masuk kedalam Geologi Lembar Amuntai, Kalimantan (Sanyoto, 1994) (Gambar 2).



Gambar 2. Lokasi Bendungan Tapin Terhadap Peta Geologi Regional Lembar Amuntai, Kalimantan

Secara Formasi, Bendungan Tapin berada pada Formasi Granit Belawayan (Kgr), dimana susunan litologi adalah Terdiri dari granit belawayan berupa granit gabungan dengan granodiorit dan diorite. Terutama granit, monzonit, granodiorit, adamelit dan granit aplit. Batuan ini mengandung senolit granulit dan amfibolit. Untuk area Main dam pada Bendungan Tapin litologi batuan didominasi oleh susunan batuan Andesit dengan karakteristik batuan massif, fresh, berwarna abu-abu kebiruan, terdapat rekahan-rekahan yang terisi oleh mineral kalsit, dimana mineral kalsit secara megaskopis karakterstiknya fresh, tidak terlihat tanda-tanda pelapukan dan berwarna putih (gambar 3).



Gambar 3. Kondisi batuan Andesit pada Area Main dam Bendungan Tapin

Grouting merupakan suatu metode atau teknik yang dilakukan untuk memperbaiki keadaan bawah tanah dengan cara memasukkan bahan yang masih dalam keadaan cair, dengan cara tekanan. Sehingga bahan tersebut akan mengisi semua retakan-retakan dan lubang-lubang yang ada di bawah permukaan tanah. Kemudian setelah beberapa saat bahan tersebut akan mengeras, dan menjadi satu kesatuan dengan tanah yang ada sehingga kestabilan suatu permukaan tanah akan tetap terjaga. Dengan tujuan untuk menurunkan permeabilitas, meningkatkan kuat geser, mengurangi

kompresibilitas, mengurangi erosi internal terutama pada pondasi alluvial (Pangesti (2005). Murdani (2013) melakukan penelitian tentang peningkatan daya dukung tanah dengan menggunakan metode grouting. Sebelum dilakukan grouting konsistensi tanah kaku tidak didapati hingga kedalaman 23,00 meter, sedangkan setelah digrouting tanah kaku terdapat pada kedalaman 7,00 meter.

Adapun Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui Nilai Lugeon pada area Main dam bendungan setelah dilakukan optimasi pemasangan grouting pada Bendungan Tapin. Sedangkan manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah dapat memberikan informasi tentang pengaruh pemasangan grouting untuk mengantisipasi rembesan air pada area main dam di Bendungan Tapin

## II. Metode Penelitian

Injeksi semen bertekanan/sementasi (*grouting*) adalah suatu proses, di mana suatu cairan diinjeksikan/disuntikan dengan tekanan sesuai uji tekanan air (*water pressure test*) ke dalam rongga, rekah dan retakan batuan/tanah, yang mana cairan tersebut dalam waktu tertentu akan menjadi padat secara fisika maupun kimiawi. Penginjeksian semen *grouting*, setelah dilakukan pencucian dan pengujian kelulusan air (Lugeon Test) selesai, maka baru dilakukan pekerjaan grouting dengan penyuntikan semen milk yang dimulai dengan campuran sesuai dengan perubahan campuran untuk pelaksanaan, patokan rasio campuran *grouting* tergantung dari hasil pengujian kelulusan air.

Setelah dilakukan proses grouting, kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui grouting tersebut sudah berhasil atau belum dengan menggunakan perhitungan nilai Lugeon. Nilai lugeon dijadikan sebagai parameter tingkat kelulusan air pada lapisan batuan dibawah permukaan. Hubungan antara nilai lugeon dengan grouting dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1. Hubungan Nilai Lugeon dan Keperluan Grouting (Kementrian PU, 2005)

Nilai Lugeon	Deskripsi
1	Derajat permeabilitas pada pondasi yang ketat (tight) dan hampir tidak perlu di grout
3	Pondasi perlu sedikit grouting, apabila ditempati bendungan beton atau air waduknya sangat berharga, cenderung piping sehingga perlu penghentian rembesan
5	Perlu dijamin dengan grouting yang ekstensif untuk bendungan beton atau grouting regional untuk bendungan urugan tanah atau batu
10	Perlu dijamin dengan grouting untuk semua tipe bendungan
20	Tapak yang sangat berkekar-kekar dengan bukaan kekar relatif kecil
100	Tapak yang sangat berkekar-kekar dengan bukaan kekar yang relatif kasar. Dapat pula pada pondasi dengan kekar jarang, namun bukaannya sangat lebar

Untuk mengetahui pengaruh grouting tersebut terhadap area Main dam, maka dilakukan evaluasi terhadap grouting tersebut dengan perhitungan besarnya efektifitas grouting yang ditunjukkan oleh besarnya pengaruh grouting terhadap kelulusan air pada batuan sebelum dilakukan grouting, dinyatakan dalam persen (%). Cendregren (1967) menyebutkan bahwa efektifitas grouting 90% apabila kelulusan air sebelum grouting (K) adalah 100 berubah menjadi kelulusan air sesudah grouting (Kg) sebesar 20 atau  $K_g = 0,2 K$  begitu seterusnya untuk efektifitas grouting yang lain dapat dihiotung dengan pemikiran diatas. Berdasarkan perhitungan tersebut dapat dituliskan rumus tentang efektifitas grouting:

$$E_{fs} = 100 - (K_g - K) \times 100 \quad (1)$$

Dimana:

$E_{fs}$  = Efektifitas grouting dalam persen (%)

$K_g$  = Kelulusan air sesudah Grouting

$K$  = Kelulusan air sebelum grouting

Kelulusan air dapat diambil dari besarnya koefisien kelulusan air (K) atau Koefisien Lugeon (Lu). Dalam penentuan besarnya efektifitas grouting diambil koefisien Lugeon pada pilot hole dibandingkan dengan koefisien Lugeon dari *Chek*

*Hole* yang berdekatan. Karena belum diperoleh klasifikasi efektifitas grouting yang dijabarkan dalam bentuk kualitatif. Berdasarkan penilaian subyektif dan kualitatif, efektifitas grouting digolongkan seperti pada Tabel 2.

TABEL 2. Efektivitas Grouting (Cendergen, 1967)

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

**II.1 Perhitungan Koefisien Kelulusan Air**  
Dalam SNI 2411-2008, rumus yang digunakan dalam perhitungan koefisien kelulusan air (k) tergantung pada panjang bagian tanah atau batuan yang diuji (L), sebagai berikut

a) Untuk  $L \geq 10r$  ( $r$  = jari-jari lubang bor), digunakan persamaan.

$$k = \frac{Q}{2\pi L \cdot h} \ln\left(\frac{L}{r}\right) \quad (2)$$

b) Untuk  $10r > L \geq r$ , digunakan persamaan

$$k = \frac{Q}{2\pi L \cdot h} \sinh^{-1}\left(\frac{L}{2r}\right) \quad (3)$$

dengan:

$k$  = adalah koefisien kelulusan air, (cm/sekon)

$Q$  = adalah debit air yang masuk, (cm<sup>3</sup>/sekon)

$L$  = adalah panjang lubang bor yang di uji (cm)

$r$  = adalah jari-jari lubang bor (cm)

$h$  = adalah  $h_p + h_s$  (cm)

( $h_p$  adalah tinggi air yang diperoleh dari konversi pembacaan manometer dan  $h_s$  adalah tinggi tekanan air)

**II.2 Perhitungan Nilai Lugeon**

Perhitungan nilai lugeon menggunakan rumus:

$$Lu = \frac{10 \cdot Q}{p \cdot L} \text{ atau } Lu = \frac{10 \cdot V}{p \cdot L \cdot t} \quad (4)$$

Dengan:

Lu adalah nilai Lugeon

Q adalah debit air yang masuk (liter/menit) melalui lubang bor berukuran NX yaitu diameter 75,7 mm

p adalah tekanan uji ( $\text{Kg/cm}^2$ )  
( $p = p_m + p_s$  dengan  $p_m$  adalah tekanan manometer dan  $p_s$  adalah tinggi h tinggi tekanan air yang telah dikonversikan kedalam satuan  $\text{kg/cm}^2$ )

L adalah panjang bagian yang diuji (m)

V adalah volume air yang diinjeksikan (liter) ke dalam lubang bor berukuran NX yaitu berdiameter 75,7 mm

t adalah waktu (menit)

Campuran awal *grouting* ditentukan oleh harga lugeon (Lu) hasil pengujian WPT (*Water Pressure Test*):

- ❖ Harga lugeon  $3 > L_v < 5$ , campuran awal *grouting* dimulai dengan perbandingan campuran c : w = 1 : 10.
- ❖ Harga lugeon  $5 > L_v < 10$ , campuran awal *grouting* dimulai dengan perbandingan campuran c : w = 1 : 6.
- ❖ Harga lugeon  $10 > L_v < 30$ , campuran awal *grouting* dimulai dengan perbandingan campuran c : w = 1 : 3.
- ❖ Harga lugeon  $30 > L_v < 50$ , campuran awal *grouting* dimulai dengan perbandingan campuran c : w = 1 : 2.
- ❖ Harga lugeon  $L_v < 50$ , campuran awal *grouting* dimulai dengan perbandingan campuran c : w = 1 : 1.
- ❖ Harga lugeon  $L_v > 100$ , campuran awal *grouting* dimulai dengan perbandingan campuran c : w : p = 1 : 1 : 2.
- ❖ Harga lugeon ( $L_v$ ) < 3, *grouting* tidak dilaksanakan  
Pelaksanaan Pengujian *grouting* Test dilakukan dengan menggunakan Methoda Downstage (dari atas kebawah).

## II.1 Macam macam Grouting.

Macam-macam *grouting* Berdasarkan fungsinya sementasi (*grouting*) dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu:

1. *Grouting* tirai diharapkan dapat berfungsi mengurangi aliran air di bawah bendungan (*seepage*), memperkecil adanya tekanan air ke atas (*up lift pressure*). *Grouting* tirai ini terletak di bawah pondasi bendungan tepat di bawah garis as pelimpah (*spillway*). Pekerjaan *grouting* tirai pada proyek Bendungan Tapin dilaksanakan pada as/poros tubuh bendungan.
2. *Grouting* konsolidasi dimaksudkan untuk menambah daya dukung tanah pondasi bendungan, berhubung esultanta gaya-gaya yang bekerja pada tubuh bendungan menuju ke arah kaki bendungan sebelah hilir, maka *grouting* konsolidasi dilakukan tepat di bawah kaki hilir bendungan dan kaki hilir pelimpah. Pekerjaan *grouting* konsolidasi di Pembangunan Bendungan Tapin sesuai desain tidak dilaksanakan

Sebelum pelaksanaan *grouting* dimulai, lebih dulu diadakan test *grouting* yang bertujuan untuk:

1. Mendapatkan gambaran yang lebih detail mengenai pengaturan jarak dan pola lobang *grouting*.
2. Mengetahui metoda pelaksanaan yang cocok sesuai kondisi batuan.
3. Menentukan besarnya tekanan injeksi pada waktu pelaksanaan.
4. Mengetahui banyaknya material yang akan digunakan.
5. Menentukan jenis dan banyaknya peralatan yang akan dipakai

## II.2 Cara Pengujian

### II.2.1 Persiapan

Lakukan persiapan pengujian kelulusan air bertekanan sebagai berikut.

- a) Periksa dan persiapkan peralatan unit mesin bor, injeksi dan mesin pompa dalam kondisi laik pakai dan siap pakai termasuk bahan bakar, air pembilas dan peralatan tambahan lainnya seperti alat ukur waktu dan alat duga muka air tanah.
- b) Bersihkan dan ratakan permukaan tanah di sekitar lokasi pekerjaan sehingga unit mesin bor dan pompa pada permukaan tanah yang datar.
- c) Pasang dan rangkai unit mesin bor dengan selang-selang swifel air, termasuk landasan mesin bor

### II.2.2. Pekerjaan pengeboran

Lakukan pekerjaan pengeboran sebagai berikut.

- a) Jalankan mesin bor dan operasikan mesin bor dan lakukan pengeboran inti hingga kedalaman yang diinginkan.
- b) Kemajuan pengeboran dicatat untuk setiap panjang pengeboran.
- c) Inti bor yang dapat diambil, dicatat panjangnya kemudian dihitung persentasi terhadap panjang pengeboran.
- d) Simpan inti bor pada peti contoh batuan, disusun sesuai dengan nomor titik pengeboran dan kedalaman pengeboran.
- e) Bersihkan dan bilas dasar lubang bor dengan air bersih.
- f) Ukur kedalaman muka air tanah pada lubang tersebut, setelah muka air tanah ini dalam keadaan seimbang dan tanpa pengaruh air pembilas atau air lainnya yang masuk ke dalam lubang bor.
- g) Pasang pipa pelindung pada lubang bor yang mudah runtuh.

### II.2.3 Penentuan tekanan maksimum

Tekanan maksimum yang diijinkan terbaca pada manometer dalam pengujian kelulusan air bertekanan tergantung pada kedalaman lubang bor, yaitu sebesar 0,23 dari tekanan akibat berat tanah di atas elevasi alat penyekat. Tekanan total yang digunakan dalam

perhitungan adalah tekanan maksimum ditambah dengan tekanan akibat tekanan tinggi muka air tanah yang berada di atas alat penyekat tersebut.

### II.2.4. Pengujian kelulusan air

Lakukan pekerjaan pengujian kelulusan air sebagai berikut.

- a) Pasang dan rangkai unit injeksi dengan pompa tekan, bak air dan baipas pada lubang bor.
- b) Rangkai peralatan penyekat dengan unit injeksi dan peralatan lainnya.
- c) Pasang peralatan penyekat ke dalam lubang bor dengan panjang lubang uji antara (1,50 s.d. 5,0) meter sesuai kedalaman yang diinginkan.
- d) Kembangkan alat penyekat dengan memompa udara atau air kedalam karet penyekat atau dikembangkan secara mekanis dengan ulir.
- e) Alirkan air kedalam lubang bor dengan tekanan awal  $1/3$  dari tekanan maksimum dengan cara mengatur keran.
- f) Lakukan pembacaan aliran air hingga diperoleh nilai aliran yang seragam melalui meteran air maksimum selama 10 menit. Jika aliran seragam tidak diperoleh dalam waktu yang ditentukan, batasan pengujian harus ditetapkan oleh tenaga ahli.
- g) Adapun pemberian tekanan selama pengujian pada tiap tahap tekanan adalah  $1/3$ ,  $2/3$ ,  $1$ ,  $2/3$  dan  $1/3$  dari tekanan maksimum yang ditentukan.
- h) Lakukan pengamatan rembesan atau bocoran yang timbul di sekeliling pipa lindung dan sambungan pipa injeksi selama pengujian dilaksanakan.

## III. Hasil dan Pembahasan

Kondisi batuan pada area Bendungan Tapin secara umum mempunyai kondisi yang keras dan masif. Berdasarkan geologi regional menurut R. Heryanto dan P. Sanyoto tahun 1994 masuk kedalam formasi batuan Granit Belawayan (Kgr), dimana kondisi dilapangan menunjukkan batuan

Granodiorit dan diorite di bagian Hulu Bendung. Beberapa tempat memperlihatkan batuan Andesit yang masih segar dan kompak pada bagian Pondasi Bendungan (As Bendung). Hal tersebut dapat dijadikan dasar untuk tapak pondasi bendungan yang aman.

Akan tetapi struktur geologi yang berkembang pada daerah Pondasi bendungan yang menyebabkan terjadinya rekahan-rekahan pada batuan menjadi satu hambatan yang dapat menimbulkan kebocoran atau rembesan pada bagian bawah pondasi tapak bendungan. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu pekerjaan tambahan untuk mengantisipasi hal tersebut. Pekerjaan yang di maksud adalah Pekerjaan Pemboran dan *Grouting*.

*Grouting* merupakan suatu metode atau teknik yang dilakukan untuk memperbaiki keadaan bawah tanah dengan cara memasukkan bahan yang masih dalam keadaan cair, dengan cara tekanan, sehingga bahan tersebut akan mengisi semua retakan-retakan dan lubang-lubang yang ada di bawah permukaan tanah, kemudian setelah beberapa saat bahan tersebut akan mengeras, dan menjadi satu kesatuan dengan tanah yang ada sehingga kestabilan suatu permukaan tanah akan tetap terjaga.

Pada Bendungan Tapin, area yang dilakukan pekerjaan *grouting* terdapat empat area, yaitu *area Saddle dam*, *area Spillway*, area Terowongan Pengelak dan area Tapak pondasi Bendungan (*Main dam*). *Stage grouting* yang digunakan dengan metode *up-stage* dipilih sebagai metode yang cocok untuk kondisi dilokasi Bendungan Tapin Kalimantan Selatan dan urutan pekerjaan *grouting* adaah sebagai berikut :

- Urutan kerja pada setiap tahapan/*stage* terdiri dari : *Grout point setting – drilling – washing – packer setting – permeability test*
- Khusus untuk *step* terakhir perlubang akan dilaksanakan sesuai prosedur diatas, kemudian diakhiri dengan *grouting perstage* dari bawah naik/ditarik ke atas.

Penjelasan urutan proses pekerjaan *grouting*:

### a. Pemboran / Drilling

Pemboran dengan cara putar (*rotary method*) menggunakan mesin bor putar berhidrolis (*hydraulic feed rotary drilling machine*) model Koken (Gambar 4). Pengambilan contoh inti pemboran (*core sampling*) diperlukan untuk *Pilot hole* dan *Check Hole*, sedangkan untuk lubang *grouting* lainnya tidak diperlukan pengambilan contoh inti. Mata bor yang dipakai dari baja (*metal core bit*) diameter mata bor adalah 66 mm.

Pemboran dilakukan secara bertahap dari atas ke bawah (*down stage*) dengan panjang setiap grout length/*stage/step* adalah 5 meter. Setelah selesai pemboran perlu dilakukan pencucian lubang (*washing*) dengan sirkulasi air sehingga bebas dari segala kotoran (*slime*). Untuk titik pemboran jenis *pilot hole* dan *check hole* menggunakan *double tube core barrel* dengan *tungsten bit* berdiameter 66 mm. Pemboran tanpa inti untuk lubang *grouting* menggunakan *single tube core barrel* dengan *tungsten bit* berdiameter 66 mm. contoh inti yang terambil dari hasil *core drilling* pada *pilot hole* dan *check hole* disimpan dalam kotak contoh (*core box*) terbuat dari kayu, terdiri dari 5 lajur yang dipisahkan oleh sekat dari kayu. Bagian dalam dari setiap laju mempunyai ukuran panjang 1 meter, lebar 6 cm dan tinggi 6 cm. Setiap kotak contoh diberi penutup dan dilengkapi dengan *overval* dan *engsel*.



Gambar 4. Pemboran di area *Main dam*

### b. Pemasangan Packer / Packer Setting

Pemasangan *packer* pada setiap *grout length* atau *step* yang akan digrout. *Packer* atau penyekat berfungsi sebagai sekat lubang bor,

*packer* yang dipakai adalah tipe *packer* mekanik yang dikembangkan secara mekanis dengan ulir dan *packer pneumatic* yang dikembangkan dengan memompa udara kedalam karet penyekat. Pemasangan *packer* dengan penyekat lubang (*sealing*) yang rapat dan tidak terjadi kebocoran, sehingga dicapai tekanan maksimum yang diterapkan. Agar diperoleh tumpang (*overlap*) yang baik antar *step grout* (*grout length*), pemasangan *packer* perlu diangkat sekitar 0,5 meter ke atas dan berada pada *step* yang telah digrouting. (Gambar 5)



Gambar 5. Pemasangan pipa *Packer*

**c. Uji Kelulusan air / Pengujian Permeabilitas / Lugeon Test**

Pengujian permeabilitas dilakukan dengan menerapkan kenaikan tekanan air secara bertahap sampai mencapai tekanan maksimum yang diijinkan, kemudian diturunkan secara bertahap sampai mencapai tekanan awal. Pada lubang *grouting*, pengujian permeabilitas dilakukan sekali pada tekanan maksimum yang diijinkan. Pengujian pada setiap tekanan dilakukan selama 10 menit, dan debit air masuk dicatat setiap menit. (Gambar 6).



Gambar 6. Pengujian Kelulusan air

Penerapan tekanan air dalam *permeability/water pressure test* diatur pada Tabel 3.

TABEL 3. Pengaturan Tekanan pada uji *permeability*

Tahap / Stage	Kedalaman (m)	Tekanan Maksimum (Kg/cm <sup>2</sup> )	Variasi Tekanan (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0 – 5	2	0,5-1-2-1-0,5
2	5 – 10	2	1-1,5-2-1,5-1
3	10 – 15	3	1-2-3-2-1
4	15 – 20	3	1-2-3-2-1
5	20 – 25	4	1-2-3-4-3-2-1
6	25 – 30	4	1-2-3-4-3-2-1
7	30 – 35	5	1-2-3-5-3-2-1
8	35 – 40	5	1-2-3-5-3-2-1
9	40 – 45	5	1-2-3-5-3-2-1

**d. Sementasi / Grouting**

Tahapan lanjut setelah lubang siap adalah pekerjaan *grouting* (sementasi) yang meliputi pencampuran (*mixing*) dari bahan *grouting* dan penyuntikan (*injection*) campuran bahan *grouting*. Bahan *grouting* yang dipakai adalah campuran Portland semen murni (*neat cement*) dan air dengan perbandingan campuran berdasarkan berat. Guna memperoleh efektifitas penetrasi untuk membentuk zona kedap air yang baik, perlu dijaga antara viskositas terhadap fluiditas dengan merubah campuran dari encer ke kental (Gambar 7).



Gambar 7. Pekerjaan grouting pada area Main dam

Dengan perbandingan campuran grout milk berdasarkan beratnya dan dengan menerapkan berat jenis semen adalah 3,15 maka dapat dirinci untuk masing-masing campuran seperti pada Tabel 4.

TABEL 4 Perbandingan Campuran material grouting

Perbandingan Campuran	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Volume Campuran
1 : 10	19,53	193,8	200
1 : 5	37,6	188	200
1 : 3	60,3	181	200
1 : 2	86,3	173	200
1 : 1	151,7	152	200

Perubahan campuran grouting mengikuti aturan seperti pada Tabel 5.

TABEL 5 Perubahan Campuran material grouting

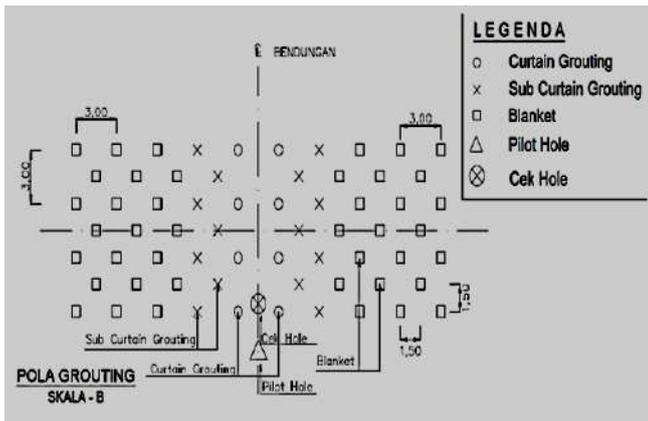
Campuran	Waktu Injeksi (l/20menit/m)	Volume/step (l/20 menit)	Batch/step p (batch/20 menit)	Perubahan Campuran
1/10	80	400	1	1/5
1/5	80	400	1	1/3
1/3	80	400	1	1/2
1/2	80	400	1	1/1

Setiap campuran agar diinjeksikan maksimum selama 20 menit atau 400 l/step dan untuk perbandingan 1/10 agar dijaga tekanan grouting tidak melebihi setengah (1/2) tekanan maksimum yang ditetapkan. Bila ternyata setelah 20 menit injection rate lebih kecil dari volume yang ditetapkan dan kenaikan tekanan lebih besar dari 0,5 kg/cm<sup>2</sup>, maka campuran diteruskan sampai tekanan maksimum dan sampai injection rate menjadi nol. Grouting diakhiri setelah tekanan maksimum dicapai dan injection rate lebih kecil 0,2 liter/menit/m.

### III.1 Grouting Main dam

Area Main dam merupakan daerah yang paling utama pada pekerjaan Bendungan. pada daerah main dam bagian pondasi harus sangat diperhatikan dari segi kondisi batuan. Area main dam Bendungan Tapin terbagi menjadi 2 bagian, yaitu area main dam kiri dan area main dam kanan. Kondisi batuan pada area main dam kiri secara kenampakan megaskopis lebih kompak dan segar kondisinya dibandingkan dengan kondisi area main dam kanan. Hal ini terlihat langsung dilapangan dimana pada area main dam kiri terlihat cukup sedikit rekahan batuan dibandingkan dengan area main dam kanan.

Pekerjaan pemboran dan grouting pada area main dam dilaksanakan dengan jumlah titik sebanyak 1350 titik, terbagi menjadi pemboran Blanket (kedalaman 5 meter), Sub Curtain (kedalaman 15 meter), curtain (kedalaman 25 -55 meter), Pilot Hole (kedalaman 25 – 55 meter) dan Cek Hole (kedalaman 35 – 55). Pola pemboran menggunakan pola zigzag dengan interval antar baris adalah 1,5 meter dan interval antar titik bor 3 meter. Untuk desain dari pemboran dan grouting dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Desain pekerjaan pembooran dan Grouting area Main dam dalam 1 blok

Urutan pekerjaan pembooran dan grouting pada area main dam dapat dilihat pada alur pekerjaan pada Gambar 9.



Gambar 9. Alur Kegiatan Pembooran dan Grouting area Main dam Bendungan Tapin

Jumlah blok di area main dam terbagi menjadi 12 blok. 1 blok memiliki panjang 12 meter. Dari hasil kegiatan pembooran dan grouting di area main dam, telah dilaksanakan pembooran dengan total kedalaman 16.435 meter. Untuk hasil water pressure test, untuk area main dam kiri memiliki nilai Lu dibawah dari 10 (5.617), sedangkan untuk area main dam kanan dimana nilai Lu memiliki nilai rata-rata lebih dari 10 (14.27) sebelum dilakukan pekerjaan grouting.

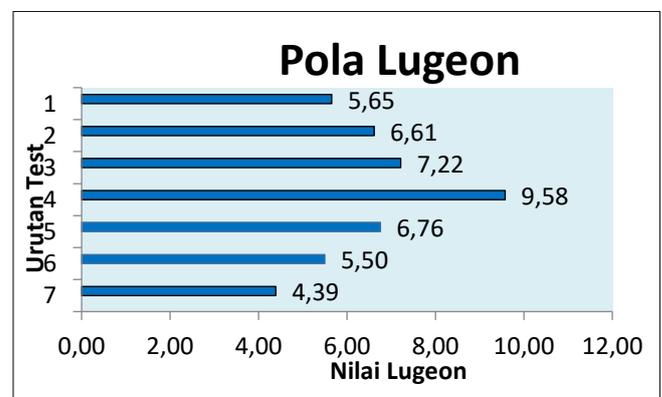
Dari hasil pengujian nilai permeabilitas titik bor PH 5 atau Blok 5 area main dam sebelum dilakukan grouting. Hasil pada Tabel 6 adalah

hanya diambil pada kedalaman dari mulai permukaan sampai dengan kedalaman 15 meter.

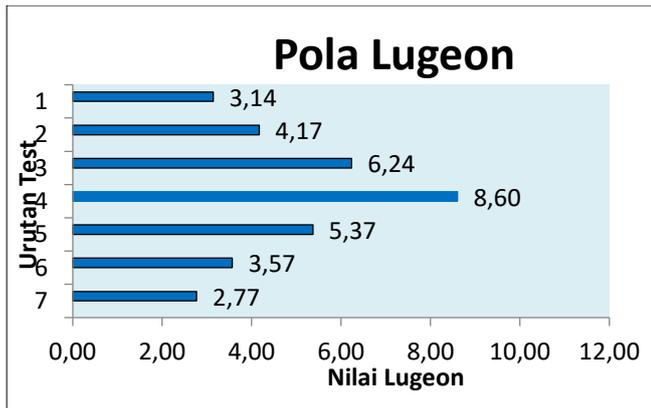
TABEL 6. Hasil Pengujian air bertekanan dan perhitungan nilai Lugeon

No	Blok / Area	Kedalaman Pengujian (m)	Tekanan Manometer		Q (ltr/mnt)	P (Kg/cm <sup>2</sup> )	Nilai Lu
			P (kg/cm <sup>2</sup> )	hp (m)			
1		0 - 5	0.2	2	1.52	0.2	5.65
			0.5	5	2.73	0.5	6.61
			1	10	4.71	1	7.22
			1.5	15	8.55	1.5	9.58
			1	10	4.41	1	6.76
			0.5	5	2.27	0.5	5.5
			0.2	2	1.18	0.2	4.39
2	PH - 5 AREA MAINDA M KIRI	10-May	0.5	5	2.12	0.5	3.14
			1	10	3.86	1	4.17
			1.5	15	7.33	1.5	6.24
			2	20	12.26	2	8.6
			1.5	15	6.31	1.5	5.37
			1	10	3.3	1	3.57
3		15-Oct	0.5	5	1.87	0.5	2.77
			1	10	4.78	1	4.07
			1.5	15	6.83	1.5	4.79
			2	20	8.81	2	5.26
			3	30	16.09	3	7.4
			2	20	7.2	2	4.3
			1.5	15	4.69	1.5	3.29
			1	10	2.91	1	2.48

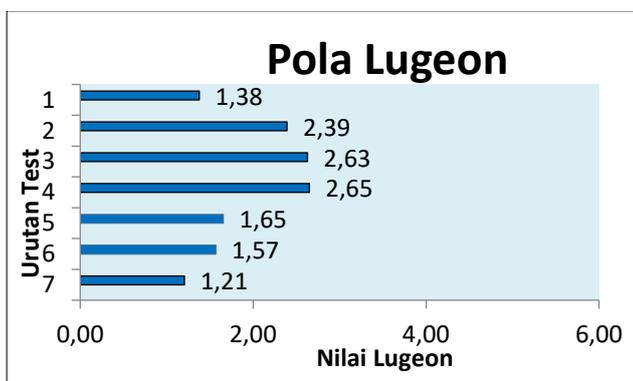
Setelah dilakukan uji air bertekanan di titik tersebut (PH 5) pada blok 5, kemudian selanjutnya dilakukan pembooran pada bagian titik pembooran Blanket (kedalaman 5 meter) yang berada pada baris bagian paling samping atau luar dari bagian area Main dam, kemudian dilanjutkan ke baris titik pembooran Sub curtain (kedalaman 15 meter) yang berada diantara area pembooran Blanket dan Curtain. Perbandingan nilai Lugeon pada blok 5 antara titik pembooran Pilot Hole dengan titik Pembooran Cek Hole 5 dapat dilihat pada Gambar 10 sampai 13.



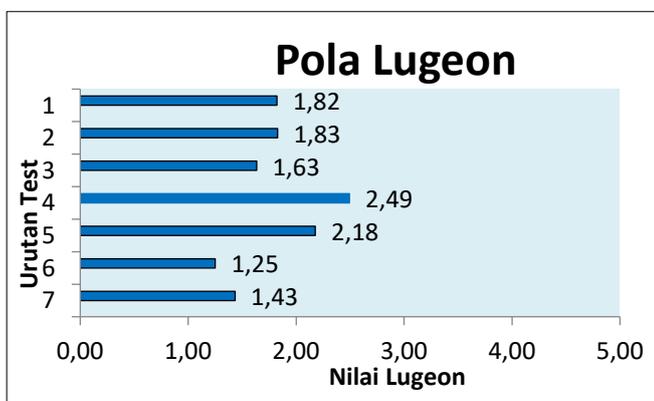
Gambar 10. Hasil test WPT titik bor PH 5 area main dam untuk stage 1 pada kedalaman 0 - 5 meter. Nilai rata-rata Lu 6,53



Gambar 11. Hasil test WPT titik bor PH 5 area main dam untuk stage 2 pada kedalaman 5 - 10 meter. Nilai rata-rata Lu 4,84



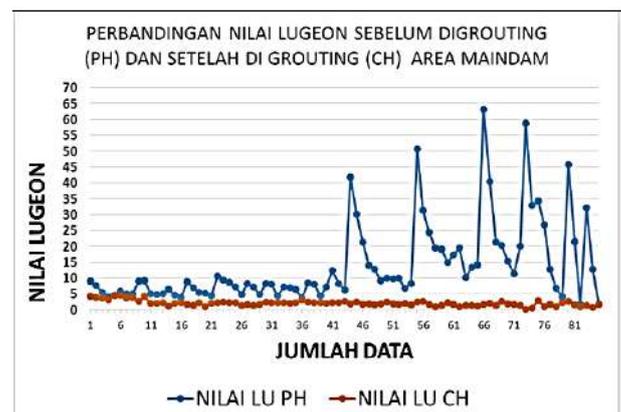
Gambar 12. Hasil test WPT titik bor CH 5 area main dam untuk stage 1 pada kedalaman 0 - 5 meter. Nilai rata-rata Lu 1.93



Gambar 13. Hasil test WPT titik bor CH 5 area main dam untuk stage 2 pada kedalaman 5 - 10 meter. Nilai rata-rata Lu 1.81

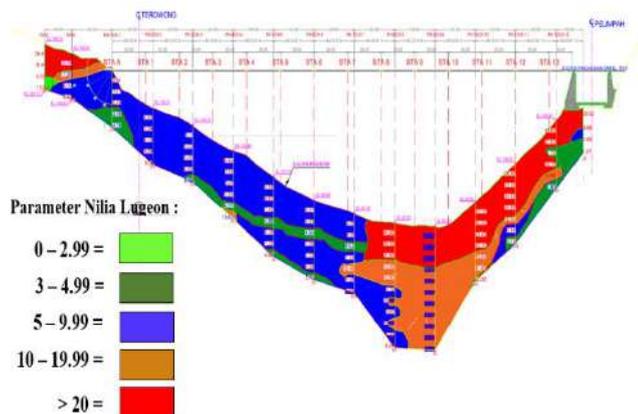
Setelah pemboran dan *grouting* pada area Blanket dan Sub Curtain selesai, dilanjutkan pemboran dan *grouting* pada area Curtain yang memiliki kedalaman antara 25 sampai 55 meter. Apabila dalam satu blok telah selesai dilakukan pemboran dan *grouting* (titik Blanket, Subcurtain

dan Curtain), dilanjutkan ke tahap pemboran dan uji kelulusan air pada titik pemboran Cek Hole (CH). Fungsi dari titik pemboran dan uji kelulusan pada titik CH ini adalah untuk memastikan bahwa *grouting* yang telah dilakukan sudah sesuai dengan rencana dimana semen yang telah di Injeksikan kedalam lubang pemboran telah menutup rekahan-rekahan yang ada ada pada celah-celah batuan dibawah permukaan. Untuk melihat bahwa *grouting* telah dilakukan dengan benar maka nilai Lu yang telah dihitung akan dilakukan perbandingan antara nilai Lu sebelum *grouting* dilakukan dengan nilai Lu setelah *grouting* dilakukan. Nilai setelah dilakukan pekerjaan *grouting*, kemudian setiap blok dilakukan pengecekan dengan pekerjaan pemboran Cek Hole. Dari hasil pekerjaan cek hole untuk pekerjaan *grouting* main dam kiri untuk 6 blok yang dikerjakan memiliki angka Lugeon rerata 2.46. Pada pekerjaan *grouting* di main dam kanan, setelah dilakukan pekerjaan Cek Hole 6 blok yang dikerjakan didapatkan angka Lugeon rerata 1.18. Dari angka tersebut disimpulkan bahwa dibagian bawah permukaan batuan tidak lagi terdapat rekahan-rekahan atau celah-celah batuan sehingga pekerjaan *grouting* di area main dam telah berhasil dilaksanakan. Untuk melihat perbedaan nilai Lugeon yang telah dilakukan sebelum *grouting* dengan setelah dilakukan *grouting* dapat dilihat pada Gambar 14.



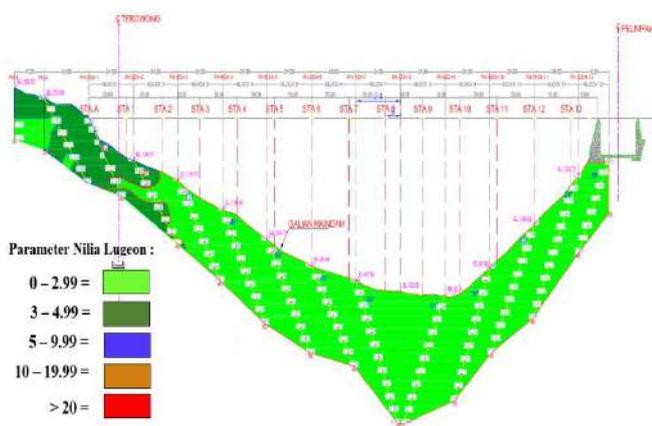
Gambar 14. Perbandingan Nilai Lugeon pada Pemboran Pilot Hole dengan Cek Hole

Dari hasil *grouting* yang telah dilakukan pada titik Pilot Hole di area main dam Bendungan Tapin dapat dilihat dari penampang memanjang dari blok 1 sampai dengan blok 12 yang telah dimasukkan angka nilai lugeon berdasarkan pewarnaan dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Kondisi nilai lugeon pada titik Pilot Hole pada area main dam.

Setelah pekerjaan Pilot Hole selesai dikerjakan, kemudian dilakukan pemboran untuk pekerjaan *grouting* pada titik Blanket, Sub Curtain dan Curtain. Titik-titik pemboran tersebut berada pada sebelah kiri dan kanan (Hulu dan Hilir) dari titik Pilot Hole. Kemudian selanjutnya adalah pekerjaan Pemboran dan *Grouting* untuk titik Chek Hole. Dari hasil pemboran dan *Grouting* titik Chek Hole dan diberikan pewarnaan sesuai nilai lugeon dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Kondisi nilai lugeon pada titik Chek Hole pada area main dam

Dari hasil penampang nilai lugeon pada titik Pilot Hole dapat diketahui bahwa kondisi batuan yang berada pada area *main dam* kiri memiliki kondisi tingkat kelulusan air yang rendah dibandingkan dengan area main dam bagian kanan. Hal tersebut menunjukkan bahwa kondisi batuan pada area main dam kiri memiliki tingkat kerapatan batuan yang lebih bagus. Kenampakan secara megaskopis dilapangan menunjukkan batuan pada area main dam kiri memiliki rekahan/bidang diskontinuitas lebih sedikit (Gambar 17). Pada area *main dam* kanan memiliki lebih banyak rekahan/diskontinuitas dikarenakan pada area tersebut lebih banyak di pengaruhi oleh gaya struktur geologi dengan di buktikan adanya struktur geologi berupa Kekar Tiang yang berada pada lereng *main dam* kanan (Gambar 18).



Gambar 17. Kondisi Batuan pada area main dam kiri yang menunjukkan sedikit rekahan pada batuan.



Gambar 18. Kondisi batuan pada area main dam kanan yang menunjukkan adanya struktur Kekar Tiang

### III.2 Efektivitas Grouting

Analisis efektifitas *Grouting* dilakukan pada batuan andesit yang memiliki sifat masif, padat dan fresh dan adanya bidang diskontinuitas berupa kekar adalah untuk mengetahui efektifitas penetrasi *grouting* berupa berapa banyaknya kelulusan air yang terdapat pada lubang *grout*, dengan menggunakan perhitungan Lugeon setelah dan sebelum dilakukan pekerjaan *grouting* dalam bentuk persen (%). Dari hasil perhitungan nilai Lugeon sebelum di *grouting* (titik pemboran Pilot Hole) dan perhitungan nilai Lugeon setelah di *grouting* (titik pemboran Chek Hole) pada area sepanjang *main dam* (Tabel 7).

TABEL 7. Tabel Nilai efektifitas *grouting* dari tiap blok pemboran dan *grouting* titik Chek Hole pada area *main dam*

Pekerjaan Pemboran	Nilai Lugeon	Pilot Hole	Chek Hole	Efektifitas Grouting	Kategori	Rata-rata Efektifitas Grouting (%)
Blok 1	Nilai Min	4.09	3.24	35.81	CUKUP	74.38 (BAIK)
	Nilai Max	9	4.55			
	Nilai Rata2	6.2	3.98			
Blok 2	Nilai Min	5.09	2.84	42.49	CUKUP	
	Nilai Max	9.31	4.79			
	Nilai Rata2	6.92	3.98			
Blok 3	Nilai Min	4.69	1.11	58.27	CUKUP	
	Nilai Max	6.5	2.46			
	Nilai Rata2	5.08	2.12			
Blok 4	Nilai Min	4.57	0.98	73.68	BAIK	
	Nilai Max	10.63	2.43			
	Nilai Rata2	7.03	1.85			
Blok 5	Nilai Min	4.86	1.29	72.84	BAIK	
	Nilai Max	9.58	2.65			
	Nilai Rata2	7.29	1.98			
Blok 6	Nilai Min	3.75	2.27	61.60	BAIK	
	Nilai Max	8.27	3.21			
	Nilai Rata2	6.51	2.5			
Blok 7	Nilai Min	4.63	0.31	88.38	BAIK	
	Nilai Max	12.35	1.47			
	Nilai Rata2	7.92	0.92			
Blok 8	Nilai Min	6.99	1.5	87.48	BAIK	
	Nilai Max	41.82	2.58			
	Nilai Rata2	15.89	1.99			
Blok 9	Nilai Min	10.23	1.03	92.19	SANGAT BAIK	
	Nilai Max	50.7	2.71			
	Nilai Rata2	21.37	1.67			
Blok 10	Nilai Min	11.44	1.29	93.24	SANGAT BAIK	
	Nilai Max	63.29	2.68			
	Nilai Rata2	27.53	1.86			
Blok 11	Nilai Min	4.19	0.15	94.58	SANGAT BAIK	
	Nilai Max	58.94	2.98			
	Nilai Rata2	25.28	1.37			
Blok 12	Nilai Min	1.72	0.85	92.03	SANGAT BAIK	
	Nilai Max	45.81	1.7			
	Nilai Rata2	19.32	1.54			

Dari hasil perhitungan efektifitas *grouting* pada zona inti di area *main dam* didapatkan nilai efektifitas *grouting* yang diperoleh berada pada angka 74.38. dari angka tersebut dimasukkan kedalam tabel 8 pengaruh Efektifitas *grouting* masuk kedalam kategori Baik.

TABEL 8. Tabel pengaruh Efektifitas *Grouting* pada Area Main dam Bendungan Tapin

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

### IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa point antara lain adalah Kondisi litologi batuan yang ada dibagian pondasi main dam berupa batuan andesit masif, keras dan fresh tidak menjadikan jaminan bahwa tidak terdapat adanya celah-celah atau rekahan-rekahan yang bisa menyebabkan terjadinya rembesan atau aliran air. *Grouting* tirai yang telah dilakukan harus kembali dipastikan bahwa kondisi dibawah permukaan telah benar-benar kedap air dan tidak ada celah yang dapat menyebabkan kebocoran pada area main dam dengan cara melakukan pemboran Cek *Hole*. Prosentasi Efektifitas *grouting* yang ditargetkan minimal berada diangka 60 % untuk menjamin bahwa *grouting* telah berhasil dilakukan dengan tepat.

### Ucapan Terima Kasih

Dalam hal ini peneliti mengucapkan terima kasih kepada pihak PUPR khususnya Balai Wilayah Sungai Kalimantan II dan Kontraktor Pelaksana (Kerjasama Operasional) yaitu PT Waskita Karya dan Brantas Abipraya serta Konsultan Pengawas PT. Virama Karya yang telah memberikan kesempatan untuk dapat

melakukan penelitian ini selama proyek pekerjaan Bendungan Tapin berlangsung.

### Referensi

- Cedegren.H.R, 1967, *Seepage, Drainage, and Flow Nets*, John Wiley and Sons, New York
- Kementrian Pekerjaan Umum, Ditjen SDA, Direktorat Sungai. Danau dan Waduk, 2005, *Pedoman Grouting Untuk Bendungan*.
- Murdani, 2014, *Metode Grouting untuk Meningkatkan daya dukung tanah di Bangunan Stasiun Pompa Drainase Sibulan, Pekalongan Jawa Tengah*, Geological Engineering E-Journal, Vol 5, No.2, pp 494-507, Jul. 2014
- Pangesti, D.R. 2005. *Pedoman Grouting untuk Bendungan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Direktorat Sungai dan Waduk.
- Sanyoto.P dan Heryanto.R, 1994, *Geologi Regional Lembar Amuntai Kalimantan*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- SNI 2411-2008, *Cara uji kelulusan air bertekanan di lapangan*