

**ANALISIS PENGARUH METODE GROUTING TERHADAP REMBESAN
(SEEPAGE) PADA PEMBANGUNAN *SPILLWAY* BENDUNGAN TUGU, KAB.
TRENGGALEK.**

Algifarin¹, Bambang Suprpto², Azizah Rachmawati³

**¹Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang, e-mail :
gifan7sipil@gmail.com**

**²Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang, e-mail
:bambang.suprpto@unisma.ac.id**

**³Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang, e-mail :
azizah.rachmawati@unisma.ac.id**

ABSTRAK

Injeksi semen bertekanan (*grouting*) adalah suatu proses, dimana 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. Permasalahannya sering terjadinya kehilangan air (*Water Loss*) dan khususnya *spillway* bendungan tugu terdapat batuan lapuk dan *permeabilitas* yang tinggi. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui berapa besar efektifitas grouting terhadap pelaksanaan grouting dan efektifitas terhadap mengurangi debit rembesan akibat grouting dan mengetahui berapa besar anggaran biaya untuk pekerjaan grouting.

Hasil perhitungan didapatkan nilai Lugeon (Lu) adalah 34,31 l/min/m sedangkan nilai Koefisien Permeabilitas (k) adalah 1.329,48 cm/sekon, kemudian didapatkan volume injeksi sebesar 1.794,844 liter dan injeksi semen sebesar 529,23 kg. Dan hasil evaluasi rembesan dengan menggunakan metode grouting didapatkan efektifitas pada pelaksanaan grouting dilakukan pada titik P.SW.R-25 dan CH.SW-25 yaitu 92,97% (Sangat Baik), titik P.SW.R-17 dan CH.SW-18 yaitu 83,24% (Baik) dan pada titik P.SW.R-9 dan CH.SW-12 yaitu 76.99% (Baik) dan efektifitas terhadap mengurangi debit rembesan akibat grouting didapatkan $E_c = 85,77\%$ (Baik), $E_c = 94,03\%$ (Sangat Baik) dan $E_c = 95,65\%$ (Sangat Baik). Dan untuk anggaran biaya untuk seluruh pekerjaan grouting pada *Spillway* Bendungan Tugu, Kab. Trenggalek memiliki anggaran biaya langsung sebesar Rp.340.000.000. Sedangkan biaya tak langsung Rp. 1.015.329.533,54. Maka total biaya keseluruhan pekerjaan grouting adalah Rp. 1.355.329.533,54,-.

Kata Kunci : *Grouting, Lugeon (Lu), Rembesan, Spillway, Bendungan Tugu, Kabupaten Trenggalek.*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Bendungan adalah konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air, meninggikan muka air menjadi waduk, danau, atau tempat rekreasi. Seringkali bendungan juga digunakan untuk mengalirkan air ke sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Air. Kebanyakan bendungan juga memiliki bagian yang disebut pintu air untuk membuang air yang tidak diinginkan secara bertahap atau berkelanjutan. Bendungan dan bendung sebenarnya merupakan struktur yang berbeda. Bendungan adalah struktur bendungan berkepala rendah (*lowhead dam*), yang berfungsi untuk menaikkan muka air, biasanya terdapat di sungai. Air sungai yang permukaannya dinaikkan akan melimpas melalui puncak/mercu bendung (*overflow*). Untuk memastikan bahwa perencanaan, pelaksanaan konstruksi dan pengelolaan bendungan telah memenuhi kaidah-kaidah keamanan bendungan, Pemerintah mengeluarkan aturan bahwa tahap-tahap kegiatan tersebut diatas harus mendapat persetujuan dari Menteri PU yang biasa disebut "Sertifikat Persetujuan". Persetujuan Menteri PU dikeluarkan setelah desain, pelaksanaan konstruksi dan pelaksanaan pengisian waduk dinilai telah memenuhi kaidah-kaidah keamanan bendungan, berdasarkan atas hasil kajian yang dilakukan oleh Balai Bendungan dan evaluasi oleh Komisi Keamanan Bendungan.

Identifikasi Masalah

1. Terjadinya permeabilitas yang tinggi pada spillway
2. Terjadinya pelapukan pada batuan spillway
3. Terjadinya kehilangan air (*Water Loss*) pada daerah spillway
4. Terjadinya rembesan pada area spillway

Rumusan Masalah

1. Berapakah kedalaman lubang grouting yang diperlukan?
2. Berapa besar nilai kelulusan air berdasarkan nilai koefisien (k) dan nilai Lugeon (Lu)?
3. Bagaimana analisa grouting dengan metode *Downstage* pada spillway Bendunga Tugu?
4. Berapa besar nilai *control* rembesan dengan *Check Hole* pada spillway Bendunga Tugu?
5. Berapa persen (%) efektifitas hasil *Grouting* pada spillway Bendunga Tugu?
6. Berapa persen (%) pengaruh grouting terhadap rembesan berdasarkan Nilai *Lugeon* pada spillway Bendunga Tugu?
7. Berapa biaya pekerjaan *Grouting* pada spillway Bendunga Tugu?

Batasan Masalah

1. Hanya membahas lokasi pada Sta. 0+80 sampai 0+120, total lokasi mulai Sta. 0+00 sampai Sta. 1+000 ditinjau dari Hulu ke Hilir.
2. Tidak membahas Struktur spillway
3. Tidak membahas Rencana Anggaran Biaya *Spillway* secara keseluruhan
4. Tidak menghitung fakto keamanan Bendungan Tugu.

Tujuan Penelitian

1. Mengetahui penentuan titik *trial grouting* (investigasi geologi).
2. Mengetahui uji kelulusan air bertekanan berdasarkan perhitungan nilai Lugeon.
3. Mengetahui injeksi semen grouting .
4. Mengetahui *control* rembesan dengan pengujian *check hole*.
5. Mengetahui efektifitas grouting.
6. Mengetahui pengaruh grouting terhadap rembesan dengan nilai lugeon.
7. Mengetahui berapa biaya yang dibutuhkan pada pekerjaan *Grouting*.

Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi bahwa grouting pada tanah dan batuan sangat diperlukan pada suatu pembangunan bendungan dan pelaksanaannya dapat berbeda sesuai dengan keadaan geologi tanah dan batuan pada bendungan tersebut.
2. Memberikan kontribusi untuk perkembangan ilmu dan teknologi tentang tata cara pelaksanaan grouting yang baik dan benar.
3. Memberikan informasi metode pelaksanaan *water pressure test* dan *grouting* yang benar pada bendungan bagi perusahaan.
4. Memberikan informasi tentang *Cost Analysis Grouting*.

TINJAUAN PUSTAKA

Gambaran Umum Bendungan

Menurut (Rakhim & Sirajuddin, 2020) Bendungan merupakan konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air, meninggikan muka air menjadi waduk, danau, atau tempat rekreasi. Bendungan seringkali digunakan untuk mengalirkan air ke sebuah pembangkit listrik tenaga air, irigasi, pengendalian banjir, dan penyediaan 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 dapat memberikan manfaat bagi kehidupan makhluk hidup terutama manusia, namun pada dasarnya bendungan dapat membawa dampak positif maupun negatif apabila didalam proses pembangunannya dan perawatannya tidak dilakukan dengan tepat.

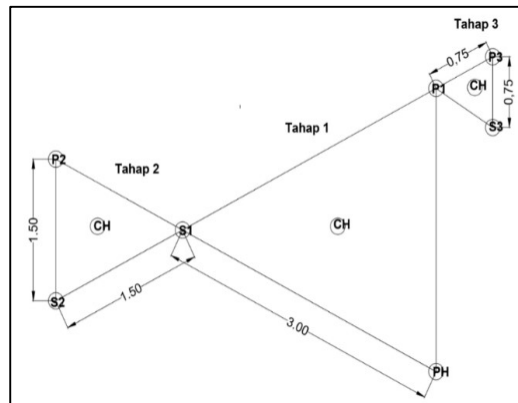
Investigasi Geologi

Jenis material pondasi bendungan ada tiga macam yaitu pondasi batuan, pondasi tanah dan pondasi pasir dan kerikil. Ada satu lagi pondasi yang berselang seling antara material tanah dan porus pada lapisan dan kerikil yang sifatnya kedap pada tanah dan porus pada lapisan pasir dan kerikil. Seperti telah dijelaskan diatas, pondasi bendungan urugan tidak memerlukan daya dukung tinggi, sehingga bisa berdiri diatas semua jenis pondasi. Sedangkan bendungan beton harus berdiri diatas pondasi yang kokoh. (Masrevaniah, 2010)

Pemetaan meliputi daerah disekitar calon pondasi waduk dan di daerah genangan. Pemetaan ini di samping pemetaan geologi secara umum juga merupakan pemetaan geologi teknik dengan penekanan pada sifat fisik batuan yaitu strength dan porositas batuan, kestabilan lereng dan potensi rembesan (Kemenpu, 2012:3).

Penentuan Titik *Trial Grouting* Di Lapangan

Tahap pelaksanaan *trial grouting* akan dilaksanakan dari tahap 1 dan bila efektifitasnya *trial grouting* tahap 1 belum memenuhi maka akan dilanjutkan pada tahap berikutnya yaitu tahap 2, dan bila tahap 2 sudah dilaksanakan namun efektifitasnya *grouting* belum memenuhi bisa dilanjutkan ke tahap 3 (PT.Nindya Karya, 2019).



Gambar 1. Penentuan Titik *Trial Grouting* di Lapanga
(Sumber : PT. Nindya Karya)

Menurut Yahya (2018) untuk mengetahui kedalaman curtain grouting pada bendungan didasarkan pada rumus empiris:

dari spesifikasi bendungan tugu terdapat, $H = \text{Tinggi bendungan (m)} = 89,85 \text{ m (main dam)}$.

$$D = \frac{1}{3} \times h + C \quad (1)$$

Dimana :

D = Kedalaman lubang grouting (m)

h = Tinggi bendungan (m)

C = Konstanta (7,5 m pada batuan utuh) (10,5 m pada batuan rekah-rekah/porous)

Pekerjaan *Boring* Pada Grouting

Pemboran inti (*coring*) dengan menggunakan mesin bor hidrolic yang bertujuan untuk menunjang perencanaan bendung untuk mengetahui gambaran atau kondisi geologi dan geologi teknik di bawah permukaan (*subsurface*) terutama di bawah rencana tampak bendung dengan tujuan yang lebih rinci. (Irawan & Handiman, 2016)

Pekerjaan Water Pressure Test (WPT)

Water Pressure test dilakukan di semua titik grouting (*curtain, sub-curtain, blanket, pilot hole, dan cek hole*) namun hanya pada titik *pilot hole* dan *check hole* yang diuji dengan *multi test*, sedangkan *Water Pressure Test* pada titik *curtain, sub-curtain* dan *blanket* hanya dilakukan sekali saja (10 menit/stage) dengan tekanan maksimum yang telah ditentukan. *Multitest* dilakukan dengan *Water Pressure Test* sebanyak 5-7 kali setiap stage dengan variasi tekanan yang telah ditentukan. (PT.Nindya Karya, 2019).

Setelah melakukan pembacaan dari hasil uji kelulusan air atau *Water Pressure Test*, maka dapat menggunakan 2 perhitungan antara lain, yaitu :

1. Perhitungan Koefisien kelulusan air (k). (SNI 2411:2008)

Rumus yang digunakan dalam perhitungan koefisien kelulusan air (k) tergantung pada panjang bagian tanah atau batuan yang di uji (L), sebagai berikut.

a) Untuk $L \geq 10r$, maka digunakan persamaan.

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

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

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

Dimana :

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)

$h = h_p + h_s$, (cm); (h_p = tinggi pressure gauge/ manometer, h_s = tinggi tekanan air/ flow meter.

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

Perhitungan nilai legeon dapat dapat menggunakan rumus apabila tanah atau batuan yang di bor adalah batuan kompak.

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

Dimana :

Lu = Nilai Lugeon (l/menit/m)

$P = P_o + 0.1 (H_1 + H_2 + C)$. (tekanan total).

P_o = Tekanan Uji yang dibutuhkan (kg/m²)

H_1 = Tinggi manometer (meter)

H_2 = Muka air tanah (GWL)

C = Concrete

Q = Debit air yang masuk melalui lubang bor (liter/menit)

L = Panjang bagian yang diuji (meter)

V = volume air yang diinjeksikan (Liter) kedalamam lubang bor yang berdiameter 75 mm;

t = waktu (menit)

Penentuan Nilai Lugeon (Lu)

Tabel 1. Penentuan Nilai Lugeon (Lu)

No	Urutan Pengaliran	Skala Tekanan	Skala Nilai Lugeon	Penentuan Jenis Aliran	Pemilihan Nilai Lugeon
1	Aliran I Aliran II Aliran III Aliran IV Aliran V			Nilai Lugeon yang hampir sama (Aliran Laminar)	Nilai rata-rata
2	Aliran I Aliran II Aliran III Aliran IV Aliran V			Nilai Lugeon terkecil terjadi pada tekanan tertinggi (Aliran Turbulen)	Nilai Lugeon terkecil pada tekanan tertinggi
3	Aliran I Aliran II Aliran III Aliran IV Aliran V			Nilai Lugeon yang tertinggi terjadi pada tekanan tertinggi (Aliran Dilasi)	Nilai Lugeon dari nilai Lugeon yang terkecil dan tekanan yang terendah
4	Aliran I Aliran II Aliran III Aliran IV Aliran V			Nilai Lugeon meningkat sesuai dengan pengaliran (Aliran Pengkisan)	Nilai Lugeon yang tertinggi
5	Aliran I Aliran II Aliran III Aliran IV Aliran V			Nilai Lugeon menurun sesuai dengan tahapan pengaliran (Aliran Penyumbatan)	Nilai Lugeon yang terkecil. Biasanya terjadi pada akhir pengaliran/aliran

(Sumber : SNI 2411:2008)

Penentuan nilai lugeon di ambil dari tabel di atas berdasarkan aliran pada saat pengujian *water pressure test* dan untuk selanjutnya sesuai dengan pengalaman empiris di lapangan dan kesepakatan dari pihak konsultan dan kontraktor akan mengambil salah satu aliran sebagai rujukan untuk memudahkan pekerjaan di lapangan. Dan untuk pembacaan tes terdapat *Single pressure test* dan *Multi pressure test* dimana *single pressure* terbagi atas lubang Primer,sekunder,tersier dan kuartier. Sedangkan *Multi test* terbagi atas lubang Pilot hole dan *check hole* yaitu seperti tabel di bawah ini.

Tabel 2. Tekanan pada lubang grouting

STAGE	SINGLE TEST		MULTIPRESSURE TEST				
	PRIMER/ SEKUNDER	TERSIER/ KUARTER	P1	P2	P3	P4	P5
1	2	4	0.5	1	2	1	0.5
2	3	5	1	2	3	2	1
3	5	7	1.5	3	5	3	1.5
4	7	10	2	4	7	4	2
5	10	13	3	6.5	10	6.5	3
6	13	16	4	8	13	8	4
7	16	16	5	10	16	10	5
8	16	16	5	10	16	10	5
9	16	16	5	10	16	10	5
10	16	16	5	10	16	10	5

(Sumber : SNI 2411:2008)

Pengertian Dan Fungsi Grouting

Injeksi semen bertekanan (*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. Pekerjaan injeksi semen bertekanan (*grouting*) didasarkan pada keadaan tanah dasar yang terpilih sebagai tempat as bendungan terdiri dari batu pasir gampingan yang berselingan dengan batu lanau, batu lempung dan batu gampingan pasir (Udiana, 2013)).

Grouting atau injeksi, suatu proses memasukkan suatu cairan dengan tekanan ke dalam rongga atau pori rekahan dan kekar pada batuan yang dalam waktu tertentu cairan tersebut akan menjadi padat dan keras secara fisika maupun kimia, dengan tujuan:

- menurunkan permeabilitas
- meningkatkan kuat geser
- mengurangi kompresibilitas
- mengurangi potensi erosi internal, terutama pada pondasi alluvial. (Pedoman Grouting Bendungan, hal. 4).

Evaluasi Efektivitas Pekerjaan Grouting

Evaluasi efektivitas pekerjaan grouting dapat diklasifikasikan menjadi dua (2) antara lain :

1. Efektivitas terhadap pelaksanaan grouting itu sendiri. (Pedoman Grouting untuk Bendungan : 2015 : 171)

Besarnya efektivitas grouting ditunjukkan oleh besarnya pengaruh grouting terhadap permeabilitas atau kelulusan air pada batuan sebelum dilakukannya grouting, dinyatakan dalam persen (%). Cendregren (1967) menyebutkan bahwa efektivitas grouting 90% apabila kelulusan air sebelum grouting (K) adalah 100 berubah menjadi kelulusan air sesudah grouting (KG) sebesar 10 atau $KG = 0.1 K$. Efektivitas sementara 80% apabila kelulusan sebelum (K) adalah 100 berubah menjadi kelulusan air sesudah grouting (KG) sebesar 20 atau $KG = 0,2 K$ begitu seterusnya untuk efektivitas grouting yang lain dapat di hitung dengan teori diatas.

Berdasarkan perhitungan tersebut dapat dituliskan sebuah rumus efektivitas grouting, antara lain :

$$Efs = 100 - (KG/K) \times 100\% \quad (5)$$

Dimana :

Efs = Efektivitas grouting dalam persen (%)

KG = Kelulusan air sesudah grouting

K = Kelulusan air sebelum grouting

Kelulusan air dapat diambil dari perhitungan koefisien kelulusan air (K) atau diambil dari perhitungan Nilai Lugeon (Lu). Dalam penentuan besarnya efektivitas grouting diambil nilai lugeon pada pilot hole dibandingkan dengan nilai lugeon dari check hole yang berdekatan. Karena belum diperoleh klasifikasi efektivitas grouting yang jabarkan dalam bentuk kualitatif. Berdasarkan penilaian subyektif dan kualitatif, efektivitas dapat digolongkan sebagai berikut :

Tabel 3. Efektivitas Grouting dan Pengaruhnya.

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

(Sumber : Pedoman Grouting untuk Bendungan : 2015, hal. 171)

2. Efektivitas terhadap kemampuan mengurangi debit rembesan akibat pengaruh grouting. (Pedoman Grouting untuk Bendungan : 2015 : 171)

Akibat pengaruh grouting dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

- Perhitungan debit rembesan sebelum grouting :

$$Q_o = \frac{K_1.H.Zf}{L_1} \text{ atau } Q_o = Lu \quad (6)$$

- Perhitungan debit rembesan sesudah grouting :

$$Q = \frac{K_1.K_2.H.Zf}{K_2.L_1+K_1.L_2} \text{ atau } Q_o = Lu \quad (7)$$

Efektivitas grouting terhadap rembesan (E_c) dapat dihitung sebagai berikut :

$$E_c = \frac{Q_o - Q}{Q_o} \times 100 \quad (8)$$

Dimana :

E_c = Efektivitas debit akibat grouting

Q_o = Jumlah besarnya debit sebelum grouting

Q = Jumlah besarnya debit sesudah grouting

K_1 = Koefisien atau Lugeon *permeability* sebelum grouting

K_2 = Koefisien atau Lugeon *permeability* sesudah grouting

L_1 = Panjang aliran rembesan

L_2 = Lebar daerah yang di grouting.

Lu = Nilai Lugeon rata-rata

Rencana Anggaran Biaya

Biaya proyek dikelompokkan menjadi dua komponen yaitu biaya langsung (*direct cost*) dan biaya tidak langsung (*indirect cost*). Biaya tidak langsung akan naik apabila waktu pelaksanaan semakin lama karena biaya untuk gaji pegawai, biaya umum perkantoran tetap dan biaya-biaya lainnya juga tetap dibayar. (Michael Kareth,2012:54).

Biaya langsung akan meningkat bila waktu pelaksanaan proyek dipercepat, namun biaya langsung ini akan meningkat juga bila waktu pelaksanaan proyek diperlambat. Biaya tidak langsung tidak tergantung pada kuantitas pekerjaan, melainkan tergantung pada jangka waktu pelaksanaan proyek. (Michael Kareth,2012: 54).

METODOLOGI PERENCANAAN

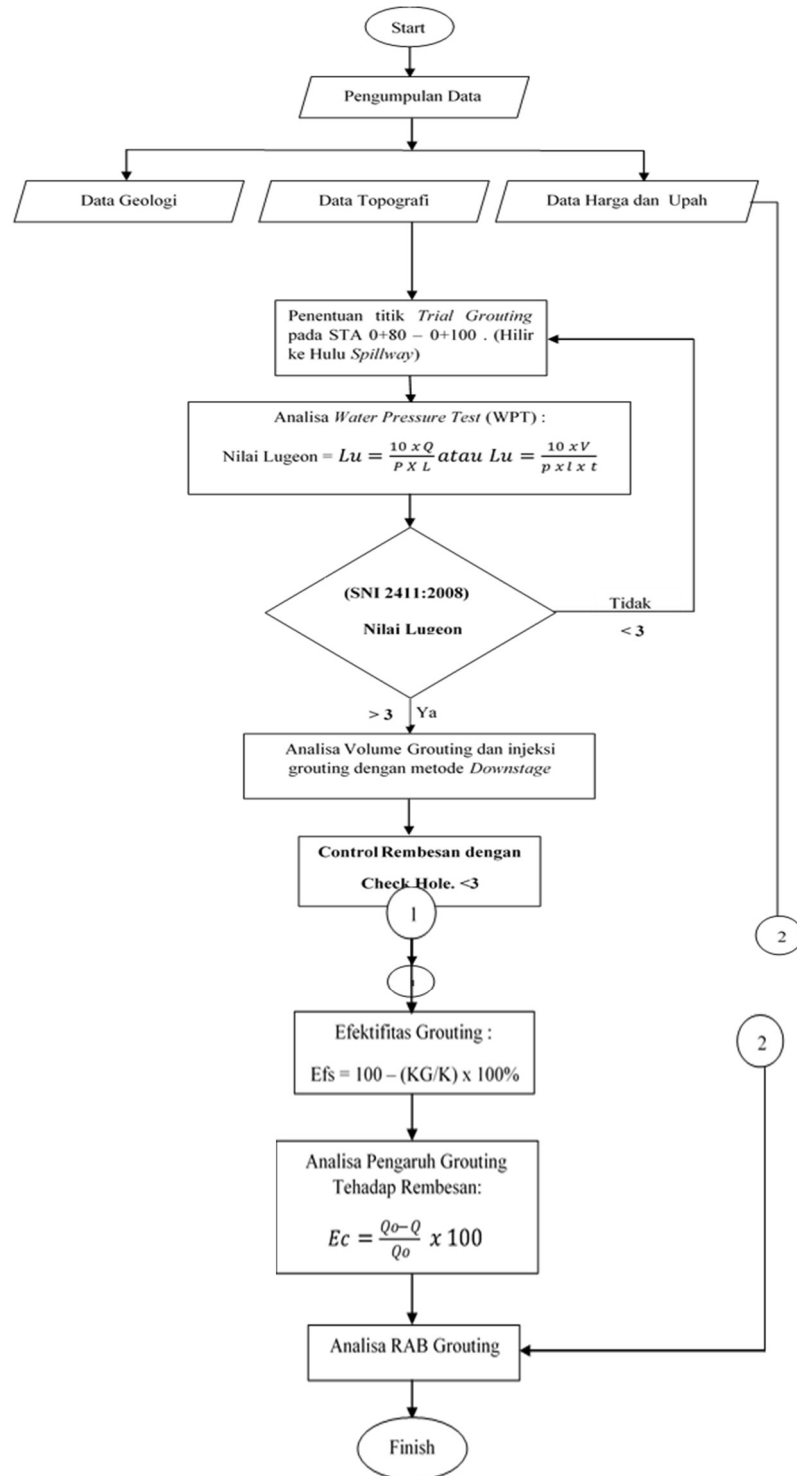
Lokasi Penelitian

Bendungan Tugu adalah bendungan yang dibangun untuk memenuhi kebutuhan air irigasi dan kebutuhan air baku. Dibangun di atas Sungai Keser yang memiliki luas daerah aliran sungai 43,06 km² dengan panjang sungai 9,295 km.

Pengolahan Data

1. Melakukan uji *trial* grouting pada *spillway* Bendungan Tugu
2. Melakukan Pemboran pada Lubang grouting dengan kedalaman yang ditentukan
3. Melakukan pengujian Kelulusan air atau *Water Pressure Test* dengan menghitung nilai berdasarkan pada SNI 2411:2008 sebagai berikut :
 - Koefisien (k)
 - Lugeon (Lu)
4. Setelah mendapatkan nilai Lu lebih dari 3 (>3), maka di lakukan grouting
5. Analisa volume injeksi grouting dan volume injeksi semen dengan metode Downstage
6. Evaluasi Pekerjaan Grouting di bagi menjadi 2 antara lain :
 - Efektivitas terhadap pelaksanaan grouting itu sendiri. (Pedoman Grouting untuk Bendungan
 - Efektivitas terhadap kemampuan mengurangi debit rembesan akibat pengaruh grouting. (Pedoman Grouting untuk Bendungan : 2015 : 171)
7. Menghitung rencana anggaran biaya pada pekerjaan grouting.

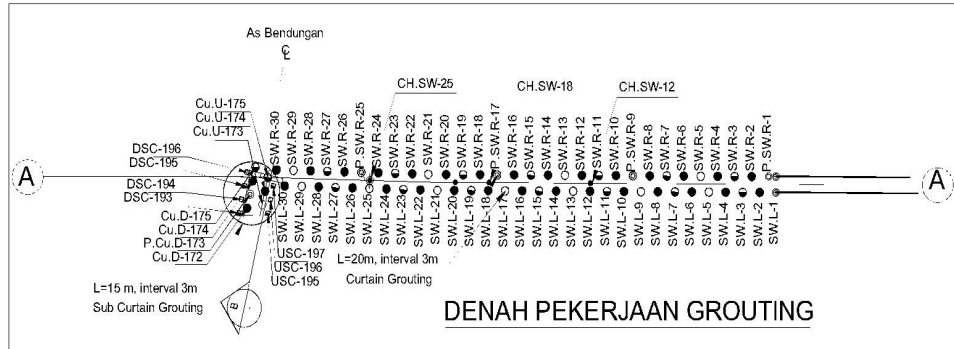
Bagan Alir



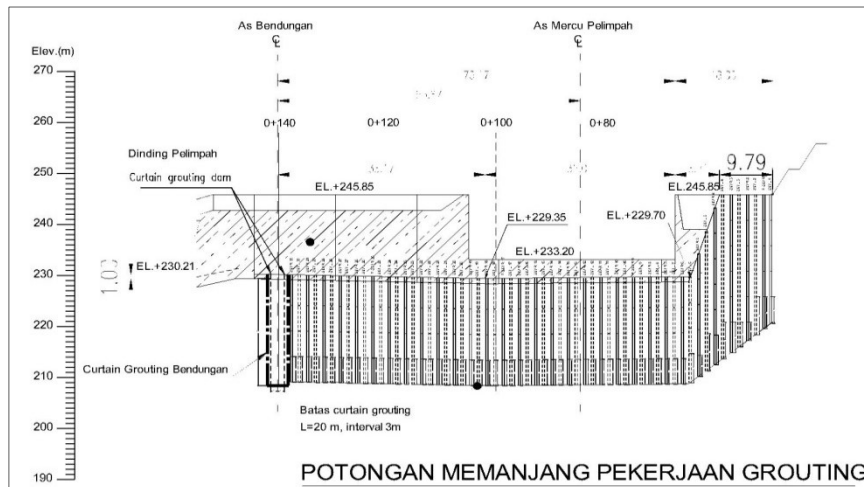
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Titik Grouting Di Lapangan

Penentuan titik *grouting* di lapangan di bagi menjadi petak primer, sekunder, dan tersier. Dimana untuk membedakan petak tersebut yaitu setiap petak memiliki jarak berbeda-beda sesuai pola susunan yang telah direncanakan. Dan pada pilot hole 1-4 memiliki jumlah titik yang sama yaitu petak primer 3 titik, petak sekunder 4 titik, petak tersier 8 titik. Dan pada setiap titik telah diberikan nama dan kode titik agar memudahkan pekerjaan di lapangan dan sesuai dengan intruksi pengawas utama yaitu dari pihak PU dan konsultan. Untuk itu nama titik grouting dibagi menjadi 2 di tinjau dari Hulu ke Hilir yaitu untuk bagian arah kanan SW-R dan bagian arah kiri SW-L.



Gambar 2. Denah Pekerjaan Grouting.
(Sumber : PT. Nindya Karya)



Gambar 3. Potongan Memanjang Pekerjaan Grouting.
(Sumber : PT. Nindya Karya)

Keterangan :

	Pilot Hole
	Primer
	Sekunder
	Tersier

Menghitung Kedalaman Lubang Grouting.

Untuk menghitung kedalaman lubang pada titik grouting dapat menggunakan rumus empiris yaitu :

$$D = \frac{1}{3} \times h + C \quad (9)$$

Dimana :

D = Kedalaman lubang grouting (m)

h = Tinggi bendungan (m)

C = Konstanta (7,5 m pada batuan utuh) (10,5 m pada batuan rekah-rekah/porous)

Untuk mengetahui kedalaman curtain grouting pada pondasi Bendungan Tugu didasarkan pada rumus empiris dengan tinggi bendungan H = 53,85 m dan nilai C dapat dipakai C = 7,5 m → didasarkan sungai setelah digali. Contoh pada Sta.0+80 yang terdapat 15 titik seperti berikut:

$$D = \frac{1}{3} \times h + C$$

$$D = \frac{1}{3} \times 53,85 + 7,5$$

D = 25,45 m, di bulatkan menjadi D = 25,50 m → (dengan catatan karena ini rumus empiris tetap akan di tinjau dari hasil lapangan.)

Adapun hitungan lubang selanjutnya dapat di lihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4. Kedalaman *Curtain Grouting*

No	Kode	Tinggi bendungan pada sta. 80 (H)	C	D Grouting (m)
1	P.SW-R	53,85	7,5	25,50
2	SW-R	53,85	7,5	25,50
3	SW-R	53,85	7,5	25,50
4	SW-R	53,85	7,5	25,50
5	SW-R	53,85	7,5	25,50
6	SW-R	53,85	7,5	25,50
7	SW-R	53,85	7,5	25,50
8	SW-R	53,85	7,5	25,50
1	SW-L	53,85	7,5	25,50
2	SW-L	53,85	7,5	25,50
3	SW-L	53,85	7,5	25,50
4	SW-L	53,85	7,5	25,50
5	SW-L	53,85	7,5	25,50
6	SW-L	53,85	7,5	25,50
7	SW-L	53,85	7,5	25,50
8	SW-L	53,85	7,5	25,50

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Perhitungan *Water Pressure Test* (WPT) berdasarkan Nilai Lugeon (Lu) dan Nilai Koefisien Permeabilitas (k).

Setelah melakukan pembacaan dari hasil WPT, hasil tersebut di kalkulasi untuk memperoleh nilai Lugeon, dengan syarat nilai lugeon lebih dari 3 ($Lu > 3$) maka dilakukan grouting dan kalau lugeon kurang dari 3 ($Lu < 3$) maka tidak perlu di grouting atau no grout. Ini merupakan satu-satu kalkulasi 1 titik yaitu pada PH.25 dari curtain grouting stage pertama dengan kode titik P.SW.R-25 dengan data sebagai berikut :

Kedalaman (L2) = 6 m (Stage 1 dari titik P.SW.R-25)

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

Tinggi manometer (*Pressure gauge*) h1 = 0,63 m

Tinggi Flow meter = 0,63 m

Muka air tanah (GWL) h2 = 2,50

Concrete (L1) = 1 m (Lantai Kerja)

Untuk $P = P_0 + 0.1(H_1 + H_2 + C)$ = $2 + 0,1 \times (0,63 + 2,50 + 1)$
 $P = 2,413 \text{ kg/cm}^2$

Tabel 5. Hasil Pembacaan WPT Titik P.SW.R-25 Stage 1

Menit	Pertama		Kedua		Ketiga		Keempat		Kelima	
	Po(kg/cm²)= 0,5		Po(kg/cm²)= 1		Po(kg/cm²)= 2		Po(kg/cm²)= 1		Po(kg/cm²)= 0,5	
	P (kg/cm²) = 0,913		P (kg/cm²) = 1,413		P (kg/cm²) = 2,413		P (kg/cm²) = 1,413		P (kg/cm²) = 0,913	
	Pembacaan	Injeksi	Pembacaan	Injeksi	Pembacaan	Injeksi	Pembacaan	Injeksi	Pembacaan	Injeksi
	Liter		Liter		Liter		Liter		Liter	
0	105,00		417,00		732,00		183,00		643,00	
1	135,60	30,60	445,00	28,00	773,20	41,20	220,00	37,00	676,00	33,00
2	163,00	27,40	472,90	27,90	814,00	40,80	256,00	36,00	709,00	33,00
3	190,00	27,00	500,20	27,30	854,00	40,00	293,00	37,00	742,00	33,00
4	216,20	26,20	527,90	27,70	895,00	41,00	330,00	37,00	774,00	32,00
5	243,10	26,90	556,00	28,10	937,00	42,00	366,00	36,00	807,00	33,00
6	269,20	26,10	582,60	26,60	978,00	41,00	403,00	37,00	839,00	32,00
7	295,00	25,80	610,00	27,40	1020,00	42,00	439,00	36,00	872,00	33,00
8	321,00	26,00	638,00	28,00	1062,00	42,00	475,00	36,00	904,00	32,00
9	348,10	27,10	665,10	27,10	1103,00	41,00	512,00	37,00	937,00	33,00
10	374,80	26,70	692,00	26,90	1146,00	43,00	548,00	36,00	969,00	32,00
Total (Liter)	269,80		275,00		414,00		365,00		326,00	
Rata-rata (Q=L/menit)	26,98		27,50		41,40		36,50		32,60	
Q=cm³/sec	449,67		458,33		690,00		608,33		543,33	
Lu = (l/menit/m)	59,10		38,92		34,31		51,66		71,41	

(Sumber : Hasil Pembacaan)

Dari tabel di atas di ambil Q pada pembacaan ketiga yaitu masuk pada aliran turbulen pada tabel 2.3. Maka dari hasil pembacaan *water pressure test* pada tabel di atas dapat di hitung nilai lugeon dan nilai koefisen yaitu sebagai berikut :

- Perhitungan Nilai Lugeon.

$$Lu = \frac{10 \times Q}{P \times L} \text{ (Nilai rata-rata diambil pada pembacaan ketiga)}$$

$$Lu = \frac{10 \times 41,40}{2,413 \times 5}$$

$$Lu = \frac{414}{12,065} = 34.31 \text{ l/mint/m}$$

- Perhitungan Nilai Koefisien Permeabilitas.

$$k = \frac{Q}{5.5 \times h \times r}$$

$$k = \frac{Q}{5.5 \times h \times r} \text{ (} r = 75 \text{ mm atau } 0,075 \text{ m)}$$

$$k = \frac{690}{5.5 \times (0,63 + 0,63) \times 0,075}$$

$$k = \frac{690}{0,519} = 1329,48 \text{ cm/sekon}$$

Perhitungan Injeksi Grouting

Setelah melakukan pekerjaan *water pressure test* (WPT) dapat dilakukan pekerjaan injeksi grouting dengan menggunakan hasil perhitungan nilai Lugeon seperti yang telah di hitung di atas dengan nilai $Lu = 34,31 \text{ l/min/m}$ dan tabel dibawah ini adalah komposisi campuran yang telah di tentukan oleh pihak konsultan dan kontraktor. Adapun rumus untuk mendapatkan nilai volume total pada **tabel 4.7** di antara lain :

Rumus :

$$\text{Vol. Total} = C : B_j + W : B_j \quad (10)$$

Dimana :

$C = \text{Cement (Semen)}$

$W = \text{Water (Air)}$

$B_j = \text{Berat Jenis, (} B_j \text{ Air} = 1, B_j \text{ Semen} = 3 \text{).}$

Contoh perhitunga Campuran 1 : 10.

$$\begin{aligned} \text{Vol. Total} &= C : B_j + W : B_j \\ &= 20 : 3 + 200 : 1 \\ &= 206,667 \text{ Liter} \end{aligned}$$

Adapun untuk hasil selanjutnya dapat di lihat pada **tabel 4.7** di bawah ini.

Tabel 6 Komposisi Campuran Berdasarkan Nilai Lugeon (Lu)

No.	(%) C : W : S	VOLUME BERAT PERBANDINGAN				VOLUME PERUBAHAN CAMPURAN					
		C	W	S	VOL. TOTAL	3 ≤ LU ≤ 20			LU > 20		
		(Kg)	(Lt)	(Kg)	(Lt)	Batch	Pergantian Campuran	Kumulatif	Batch	Pergantian Campuran	Kumulatif
1	1 : 10	20	200	-	206.667	2	413.334	412.738	-	-	-
2	1 : 5	40	200	-	213.333	2	426.666	839.404	3	640.00	639.999
3	1 : 3	40	120	-	133.333	4	266.666	1106.07	5	400.00	1039.998
4	1 : 2	80	160	-	186.667	3	373.334	1479.404	3	560.00	1599.999
5	1 : 1	160	160	-	213.333	3	426.666	1906.07	3	640.00	2239.998
6	1 : 0.6	160	96	-	149.333	4	298.666	2204.736	4	448.00	2687.997
7	1 : 1 : 0.5	120	120	60	182.901	38	365.802	2570.538	39	548.70	3236.700

(Sumber : PT. Nindya Karya)

Karena Nilai lugeonnya >20 yaitu 34,31 l/min/m maka, komposisi campuran antara semen dan air di mulai dari 1:5 3x, 1:3 5x dan 1:2 3x dikarenakan dari campuran 1:2 injeksinya berhenti atau sudah menutupi rekahan batuan yang di grouting pada P.SW.R-25 stage 1.

❖ Contoh perhitungan volume injeksi grouting dari titik P.SW.R-25 stage 1 antara lain :

$$\text{Volume persiapan} = \text{Campuran 1:5} + \text{Campuran 1:3} + \text{Campuran 1:2} \quad (11)$$

$$= 639,999 + 666,665 + 560,001$$

$$= 1866,665 \text{ Liter}$$

$$\text{Volume injeksi} = \text{Campuran 1:5} + \text{Campuran 1:3} + \text{Campuran 1:2} \quad (12)$$

$$= 639,999 + 666,665 + 488,180$$

$$= 1794,844 \text{ Liter}$$

$$\text{Volume sisa injeksi} = \text{Volume Pesiapan} - \text{Volume Injeksi} \quad (13)$$

$$= 1866,665 - 1794,844$$

$$= 71,821 \text{ Liter.}$$

❖ Contoh perhitungan injeksi semen dari titik P.SW.R-25 stage 1 antara lain :

$$\text{Persiapan semen} = \text{Campuran 1:5} + \text{Campuran 1:3} + \text{Campuran 1:2} \quad (14)$$

$$= 120 + 200 + 240$$

$$= 560 \text{ Kg}$$

$$\text{Injeksi semen} = \text{Campuran 1:5} + \text{Campuran 1:3} + \text{Campuran 1:2} \quad (15)$$

$$= 120 + 200 + 209.230$$

$$= 529,23 \text{ Kg}$$

$$\text{Sisa injeksi semen} = \text{Persiapan Semen} - \text{Injeksi Semen} \quad (16)$$

$$= 560 - 529.23$$

$$= 30,77 \text{ kg}$$

Evaluasi Hasil Analisa Rembesan

- Efektivitas Terhadap Pelaksanaan Grouting

Dalam menentukan efektivitas geouting diambil dari koefisien permeabilitas/nilai Lugeon pada pilot hole dibandingkan dengan koefisien permeabilitas/nilai Lugeon (Lu) pada check hole. Efektivitas grouting digolongkan sebagai berikut :

Tabel 7. Efektivitas Grouting dan Pengaruhnya.

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

(Sumber : Pedoman Grouting untuk Bendungan : 2015, hal. 171)

- a) Perhitungan Efektivitas Grouting pada Pilot Hole P.SW.R-25 dan Check Hole CH.SW-25 dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Efs} = 100 - (\text{KG/K}) \times 100\%$$

(17)

Tabel 8. Nilai Lugeon (Lu) Lubang Pilot Hole dan *Check Hole*

KODE LUBANG	NAMA LUBANG	STAGE	Lu	Lu <3 NO GROUT
P.SW.R-25	Pilot Hole	1	34,31	Grouting
		2	12,08	Grouting
		3	0,64	No Grout
		4	1,03	No Grout
		Rata-rata =	12,02	
CH.SW-25	Check Hole	1	1,81	No Grout
		2	2,02	No Grout
		3	2,7	No Grout
		4	0,29	No Grout
		Rata-rata =	1,71	

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Dari hasil tabel di atas dapat di hitung sebagai berikut :

$$E_{fs} = 100 - (KG/K) \times 100 \%$$

$$E_{fs} = 100 - (12,02/1,71) \times 100 \%$$

$$E_{fs} = 92,97 \%. (>90 \text{ Sangat Baik }).$$

• Efektivitas Terhadap Kemampuan Mengurangi Debit Rembesan.

➤ Debit rembesan sebelum grouting dengan nilai Lugeon rata-rata (Q_0) :

$$P.SW.R-25 = 12,02 \text{ l/min/m}$$

➤ Debit rembesan sesudah grouting dengan nilai Lugeon rata-rata (Q) :

$$CH.SW-25 = 1,71 \text{ l/min/m}$$

Maka dari itu Efektivitas grouting terhadap rembesan E_c (%) dapat dihitung sebagai berikut:

1. Untuk P.SW.R-25 dan CH.SW-25

$$E_c = \frac{Q_0 - Q}{Q_0} \times 100 \quad (18)$$

$$E_c = \frac{12,02 - 1,71}{12,02} \times 100$$

$$E_c = 85,77 \%. (60-90 \text{ Baik }).$$

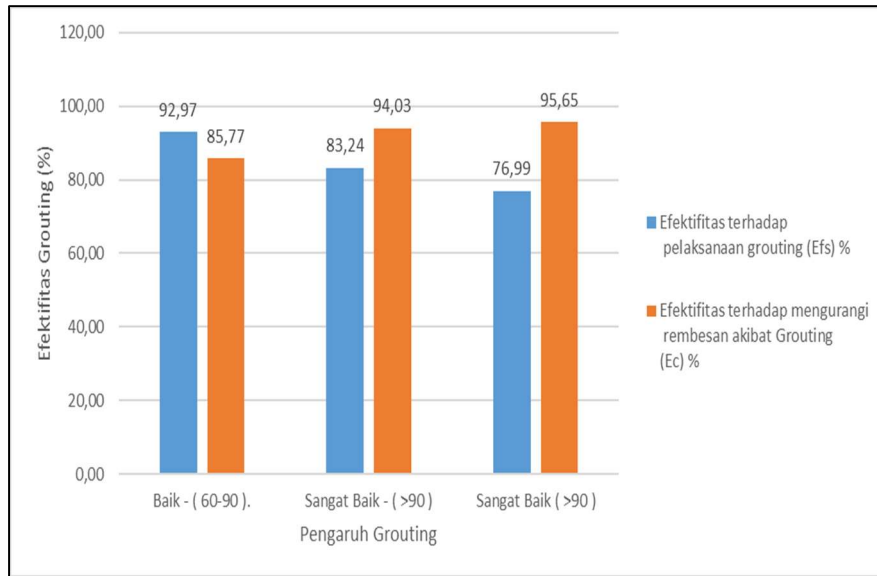
Dari hasil perhitungan efektivitas grouting terhadap mengurangi debit rembesan pada hasil di atas dengan berdasarkan nilai lugeon debit rembesan sebelum di grouting dan debit rembesan sesudah di grouting didapatkan bahwa efektivitas rata – rata untuk mengurangi rembesan pada spillway seperti tabel di bawah ini :

Tabel 9. Efektifitas grouting terhadap mengurangi debit rembesan dengan nilai lugeon (Lu)

No	Debit rembesan sebelum di grouting (Q_0)	Debit rembesan sesudah di grouting (Q)	Efektivitas grouting terhadap rembesan (E_c) %
Lubang yang di tes			
1.	P.SW.R-25	CH.SW-25	
	12,02	1,71	85,77
2.	P.SW.R-17	CH.SW-18	
	27,49	1,64	94,03
3	P.SW.R-9	CH.SW-12	
	25,77	1,12	95,65

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Grafik 1. Evaluasi efektifitas grouting



(Sumber : Hasil Analisa)

Dari hasil analisa grafik di atas dapat di lihat bahwa untuk efektifitas pelaksanaan grouting dan efektifitas grouting terhadap mengurangi rembesan menjadi masuk dalam kategori baik dan sangat baik. (Tabel 4.13)

Rencana Anggaran Biaya

Biaya pekerjaan grouting dari 74 titik memiliki Anggaran Biaya Langsung Rp.340.000.000 yaitu investigasi geologi dan tes laboratorium mekanika tanah dan batuan. Dan Anggaran Biaya Tak Langsung Rp.1.015.329.533,54. Total Biaya Keseluruhan pekerjaan Grouting adalah Rp.1.355.329.533,54. Dan kalkulasi perhitungan biaya pekerjaan Boring, WPT dan Grouting terdapat pada tabel 13.

Tabel 10. Rencana Anggaran Biaya Pekerjaan Grouting

NO.	JENIS PEKERJAAN	SATUAN	VOLUME	HARGA SATUAN	JUMLAH HARGA
1	2	3	4	5	6 = (4 x 5)
1.	Drilling dan Grouting :				-
	a. Pemboran lubang Curtain Grouting	m	1.107,04	442.516,00	489.882.912,64
	b. Pemboran Sub Curtain Grouting	m	210,00	283.635,00	59.563.350,00
	c. Grouting termasuk material dan peralatan	ton	82,46971	3.000.000,00	247.409.130,00
	f. Single Water Presure test	test	236,00	290.000,00	68.440.000,00
	g. Double Water Presure test	test	50,00	390.000,00	19.500.000,00
	h. Pemasangan Pipa pelindung	m	74,00	39.000,00	2.886.000,00
	i. Penutupan Lubang Grouting	ton	25,60764	1.950.000,00	49.934.898,00
	ja. Redrilling lubang Curtain Grouting	m	328,80	221.258,00	72.749.630,40

	jb. Redrilling lubang Sub Curtain Grouting	m	35,00	141.817,50	4.963.612,50
	k. Investigasi Geologi dan Mekanika Tanah (termasuk Tes Lab. Mektan & Batuan)	Ls	1,00	340.000.000,00	340.000.000,00
JUMLAH TOTAL		Titik	74,00	JUMLAH HARGA	1.355.329.533,54

(Sumber : Hasil Perhitungan)

PENUTUP

Kesimpulan

1. Kedalaman lubang untuk grouting pada Sta. 0+80 adalah 24,50 m, untuk Sta. 0+100 adalah 20,50 m.
2. Pengujian kelulusan air dengan nilai $Lu = 34,31 \text{ l/min/m}$ dan nilai $k = 1329,48 \text{ cm/sekon}$.
3. Hasil analisa grouting dengan metode *downstage* di dapat nilai volume injeksi sebesar 1794.844 liter dan injeksi semen sebesar 529,23 kg.
4. Efektifitas hasil grouting pada titik P.SW.R-25 dan CH.SW-25 yaitu 92,97% (Sangat Baik), titik P.SW.R-17 dan CH.SW-18 yaitu 83,24% (Baik) dan pada titik P.SW.R-9 dan CH.SW-12 yaitu 76,99% (Baik).
5. Pengaruh grouting terhadap rembesan di dapat $Ec = 85,77\%$ (Baik), $Ec = 94,03\%$ (Sangat Baik) dan $Ec = 95,65\%$ (Sangat Baik).
6. Besar biaya pekerjaan grouting pada *Spillway* Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek memiliki anggaran biaya langsung sebesar Rp.340.000.000. Sedangkan biaya tak langsung Rp. 1.015.329.533,54. Maka total biaya keseluruhan pekerjaan grouting adalah Rp. 1.355.329.533,54,-.

Saran

1. Peneliti selanjutnya dapat menganalisa jenis grouting lainya seperti grouting *Blanket* dan *Consolidation*.
2. Sebaiknya dilakukan perhitungan *drilling, water pressure test, grouting*, cek rembesan secara keseluruhan agar mendapatkan hasil yang maksimal.
3. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode grouting seperti metode *Upstage* dan metode grouting lainya.
4. Perlu dilakukan koordinasi dengan instansi terkait agar segera melakukan evaluasi terhadap grouting yang sudah dilaksanakan.
5. Untuk perhitungan rembesan pada bendunga sebaiknya menggunakan aplikasi *Geo-Slope* dan aplikasi lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Departement Pekerjaan Umum. (2005). *Pedoman Grouting Untuk Bendungan*. Jakarta Selatan.
- [2] Irawan, P., & Handiman, I. (2016). *Analisa Geologi Teknik Dalam Perencanaan Bendung Daerah Irigasi Parigi Kabupaten Pangandaran*. *Jurnal Siliwangi Seri Sains Dan Teknologi*, 2(2).
- [3] Kareth, M., Tarore, H., Tjakra, J., & Walangitan, D. R. O. (2012). *Analisis Optimalisasi Waktu Dan Biaya Dengan Program Primavera 6.0 (Studi Kasus: Proyek Perumahan Puri Kelapa Gading)*. 1, 7.
- [4] Maulana, M. L., Noerhayati, E., & Rachmawati, A. (n.d.). *Studi Perencanaan Bangunan Pelimpah (Spillway) Pada Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek*. 10.
- [5] Udiana, I. M. (2013). *Desain Campuran Semen Dan Air Pada Pekerjaan Grouting*. *Jurnal Teknik Sipil*, 2(2), 93–104.