

## KONDISI PONDASI BENDUNGAN JRAGUNG SEBELUM DAN SETELAH *GROUTING* DAN ANALISIS PERBANDINGAN BIAYA PEKERJAAN *GROUTING* METODE *DOWNSTAGE* DAN *UPSTAGE*

Muhammad Zeriqo Mahardika Asy'ari<sup>1</sup>, Hermono S Budinetri<sup>2</sup>, Arvie Narayana<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Teknik Sipil, Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani, Mendungan, Pabelan, Kec. Kartasura, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah

<sup>3</sup>PT Waskita Karya (Persero) Tbk

\*Email: asyarimahardika.17@gmail.com

### Abstrak

Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam pembangunan bendungan urugan adalah pondasi. Perubahan-perubahan pada pondasi sudah tidak dapat dilihat secara visual setelah penimbunan bendungan dilakukan. Untuk hal itu maka dilakukan grouting untuk mencapai kualitas pondasi yang diharapkan. Grouting adalah suatu proses pemasukan 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 kimiawi. Manfaat penelitian ini untuk mengetahui keberhasilan grouting untuk perbaikan pondasi bendungan dan biaya yang lebih efisien antara metode upstage atau downstage pada pelaksanaan grouting. Hasil dari grouting dapat dilihat sudah terjadi perbaikan pondasi sesuai dengan kualitas yang diharapkan dengan cara melihat hasil pengujian pada pilot hole dan juga pada check hole. Pembahasan untuk mengetahui analisis biaya grouting, dilakukan perbandingan metode downstage dan upstage saat grouting pada jumlah kedalaman 500 meter. Hasil biaya yang diperoleh dari grouting dengan metode upstage lebih sedikit daripada metode downstage.

**Kata kunci:** downstage, grouting, lugeon, upstage, water pressure test

### Abstract

One of the things that need to be considered in the construction of an embankment dam is the foundation. Changes in the foundation can no longer be seen visually after the dam is filled. For this reason, grouting is carried out to achieve the expected quality of the foundation. Grouting is a process of injecting a liquid under pressure into cavities or pores, fractures and joints in rock, which within a certain time the liquid will become solid and hard physically and chemically. The benefit of this research is to determine the success of grouting for dam foundation repairs and more cost efficient between the upstage or downstage methods in grouting. The results of grouting can be seen that foundation repairs have occurred in accordance with the expected quality by looking at the test results on the pilot hole and also on the check hole. Discussion to find out the analysis of grouting costs, a comparison of the downstage and upstage methods is carried out when grouting at a total depth of 500 meters. The cost results obtained from grouting with the upstage method are less than the downstage method.

**Keywords:** downstage, grouting, lugeon, upstage, water pressure test

## 1. PENDAHULUAN

Bendungan Jragung merupakan bendungan dengan tipe bendungan urugan. Lokasi proyek ini berada di Kecamatan Pringapus, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah. Sungai Jragung merupakan sungai dengan panjang ±35 km dan memiliki DAS sebesar 94 km<sup>2</sup>.

Pembangunan bendungan sangat erat kaitannya dengan pondasi bendungan. Pondasi bendungan adalah tanah dasar terletak di bawah dan sekitar tubuh bendungan. Pondasi harus mempunyai cukup kemampuan untuk menahan dan rapat air, terhadap kekuatan luar yang berpengaruh pada tubuh bendungan.

Perubahan-perubahan pada pondasi sudah tidak dapat dilihat secara visual setelah penimbunan bendungan dilakukan. Karena nantinya semua beban bendungan akan diteruskan ke pondasi pada bendungan. Sebelum dilakukan penimbunan pada bendungan harus dipastikan bahwa kondisi pondasi bendungan sudah memenuhi kualitas yang direncanakan, maka dilakukan *grouting* untuk mencapai kualitas pondasi yang diharapkan.

*Grouting* adalah suatu proses pemasukan 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

kimiawi (Pedoman *Grouting* untuk Bendungan Departemen Pekerjaan Umum, 2005). Pekerjaan *grouting* memiliki elemen lain yang harus dikerjakan juga yaitu *groutcap*, *drilling*, dan *water pressure test*. Metode ini dilakukan untuk memperbaiki daya dukung tanah pada lokasi pondasi bendungan yang masih kurang baik. Berdasarkan *Pedoman Grouting untuk Bendungan* dari Departemen Pekerjaan Umum (2005) beberapa fungsi *grouting* yaitu:

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

## 2. METODOLOGI

Saat pengumpulan data yang dilakukan harus didapatkan informasi yang jelas. Pengumpulan data maupun informasi dilakukan dengan observasi langsung di lapangan sehingga didapatkan gambaran pekerjaan di lapangan dengan jelas.

Dilakukan juga diskusi dengan orang yang menangani pekerjaan tersebut, sehingga bisa diperoleh informasi secara teknis maupun non-teknis yang ada di pekerjaan tersebut. Informasi dari hal-hal tersebut kemudian dijadikan modal untuk penyusunan jurnal ini.

Pekerjaan *grouting* dipengaruhi oleh beberapa hal yang perlu diperhatikan, sehingga pembahasan ini difokuskan pada lokasi yang dibahas yaitu pada blok 26-29. Pembahasan

jurnal ini dilihat dari permeabilitas berdasarkan nilai *lugeon* dan volume air (Q) yang masuk ke lubang dari pengujian *water pressure test* pada *pilot hole* dan *check hole*. Berdasarkan SNI 2411:2008 rumus mencari nilai *lugeon* dan koefisien permeabilitas yaitu:

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

Keterangan:

- Lu : nilai *lugeon*
- Q : rata-rata volume WPT (ℓ/menit)
- L : kedalaman pengujian (m)
- P : tekanan pengujian (kg/cm<sup>2</sup>)

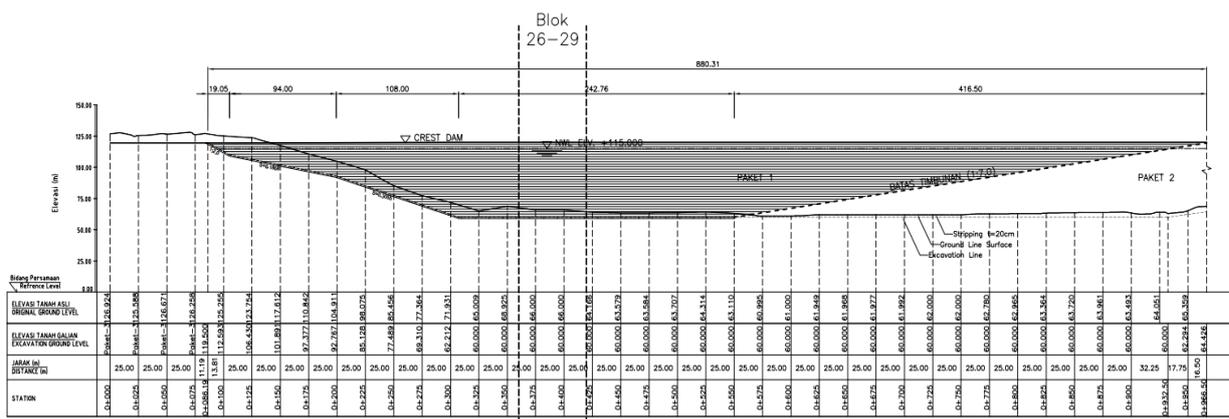
$$k = \frac{Q}{2\pi Lh} \ln\left(\frac{L}{r}\right)$$

Keterangan:

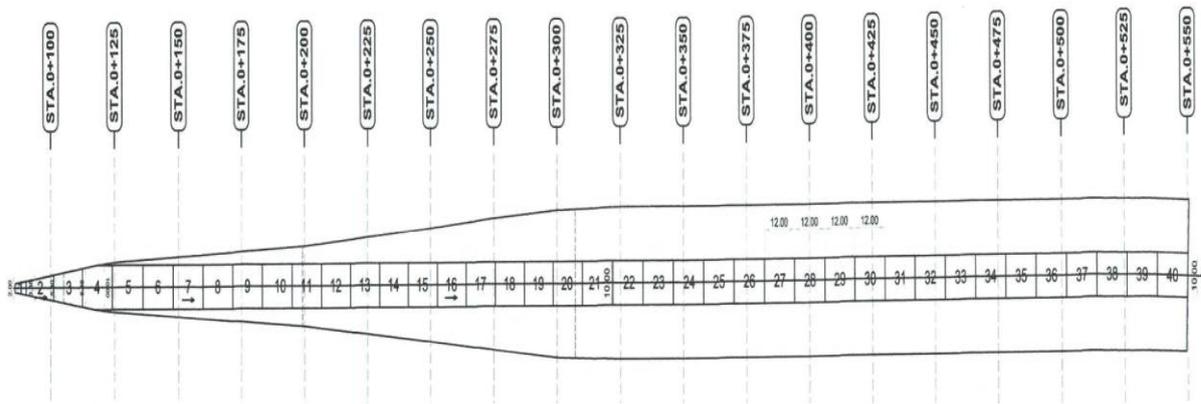
- k : koefisien permeabilitas (cm/detik)
- Q : rata-rata volume (cm<sup>3</sup>/detik)
- L : kedalaman pengujian (cm)
- h : konversi tekanan ke tinggi (m)
- R : jari-jari lubang (cm)

Koefisien permeabilitas akan dihitung dari nilai Q menggunakan rumus, kemudian akan dilihat aliran rembesan yang terjadi menggunakan *Geostudio Seep/W*.

Analisis biaya pekerjaan *grouting* pada jurnal ini dilakukan perbandingan antara metode *downstage* dan *upstage* pada total kedalaman 500 meter. Gambar kerja lubang *grouting* yang ada pada proyek ini bisa dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Potongan Melintang Plan Grouting  
 (Sumber: PT. Waskita Karya)



**Gambar 2. Blok Plan Grouting**  
(Sumber: PT. Waskita Karya)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Pengeboran/Drilling

*Drilling* adalah proses pengeboran lubang *grouting* sesuai dengan gambar atau pola yang sudah ditentukan dan disetujui oleh konsultan dan direksi dalam bentuk *shopdrawing*.

Pengeboran dilakukan secara bertahap dengan cara dilakukan pengeboran *stage* demi *stage* di mana setiap *stage* memiliki kedalaman 5 meter. Pengeboran terus dilakukan *stage* demi *stage* sesuai dengan kedalaman yang ditentukan.

#### 3.2. Water Pressure Test (WPT)

*Water pressure test* merupakan pengujian untuk mengetahui permeabilitas batuan dengan cara mengalirkan air bertekanan dan dilakukan pembacaan banyak volume air yang masuk (Q) setiap satu menit. Pembacaan ini dilakukan selama sepuluh menit pada setiap tekanan. Rata-rata nilai Q digunakan untuk menentukan nilai *lugeon*. Nilai *lugeon* adalah angka yang menunjukkan kemampuan batuan atau tanah mengalirkan air dalam liter per menit per meter kedalaman. Nilai *lugeon* kurang dari 5 maka tidak harus dilakukan *grouting*, sedangkan nilai *lugeon* lebih dari 5 maka perlu dilakukan *grouting*. Setiap nilai *lugeon* memiliki karakteristik yang berbeda-beda, untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.**

#### Klasifikasi Nilai *Lugeon*

Nilai <i>Lugeon</i>	Deskripsi
1	Derajat permeabilitas pada pondasi yang ketat (tight) dan hampir tidak perlu di grout.
3	Pondasi perlu sedikit digrouting 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 relatif kasar. Dapat oula pada pondasi dengan kekar jarang, namun bukaannya sangat lebar.

(Sumber: *Pedoman Grouting* untuk Bendungan Departemen Pekerjaan Umum)

Pengujian *water pressure test* ini dilakukan dalam lima macam tekanan uji. Setiap tekanan uji ini dilakukan selama sepuluh menit pada setiap tekanan. Besar tekanan saat pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.**  
**Tekanan Water Pressure Test**

Stage	Tekanan Pengujian (kg/cm <sup>2</sup> )				
	P1	P2	P3 (max)	P4	P5
1 (0 - 5 m)	0,30	0,70	1,00	0,70	0,30
2 (5 - 10 m)	0,70	1,30	2,00	1,30	0,70
3 (10 - 15 m)	1,00	2,00	3,00	2,00	1,00
4 (15 - 20 m)	1,00	2,50	3,50	2,50	1,00
5 (20 - 25 m)	1,50	3,00	4,50	3,00	1,50
6 (25 - 30 m)	2,00	3,50	5,50	3,50	2,00
7 (30 - 35 m)	2,00	4,50	6,50	4,50	2,00
8 (35 - 40 m)	2,50	5,00	7,50	5,00	2,50
9 (40 - 45 m)	2,50	5,50	8,00	5,50	2,50
10 (45 - 50 m)	3,00	6,00	9,00	6,00	3,00

(Sumber: PT. Waskita Karya)

Hasil yang dinyatakan dalam satuan *lugeon* bisa diklasifikasikan permeabilitasnya sebagaimana pada Tabel 3.

**Tabel 3.**  
**Klasifikasi Berdasarkan Lugeon**

Lugeon	Range	Condition
<1	Low	Joints tight
1-5	Low/Mod	Small joint opening
5-50	Mod/High	Some open joints
>50	High	Many open joints

(Sumber: Geotechnical Engineering of Dams, 2005)

Nilai *lugeon* di bawah 5 menyatakan bahwa kondisi batuan tersebut merupakan *small joint opening* maupun *joints tight*. *Joint/kekar* merupakan retakan pada batuan yang tidak bergerak atau tidak mengalami pergeseran. *Small joint opening* merupakan pembukaan kekar yang kecil yang ada pada batuan tersebut.

### 3.3. Pelaksanaan Grouting

*Grouting* merupakan penyuntikan pasta semen ke dalam lubang *grouting* dengan tujuan mengurangi permeabilitas tanah pada lokasi pondasi bendungan. *Grouting* dilakukan untuk menutup retakan, celah, kekar, dan zona lemah lainnya. Campuran material *grouting* diartikan sebagai perbandingan antara berat air dan semen yang digunakan dalam campuran tersebut.

Campuran yang digunakan dalam pelaksanaan *grouting* disesuaikan dengan nilai *lugeon* yang diperoleh dari *water pressure test*. Tabel mengenai perbandingan campuran dan pengulangan campuran tersebut bisa kita lihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.**  
**Campuran Grouting 5 < Lu < 10**

Lu	Campuran	Semen (Kg)	Air (Liter)	Batch
5<Lu<10	1:10	20	200	2
	1:08	20	160	2
	1:06	20	120	3
	1:04	40	160	3
	1:02	40	80	4
	1:01	80	80	10
10<Lu<20	1:06	20	120	3
	1:04	40	160	3
	1:02	40	80	3
	1:01	160	160	9
Lu>20	1:04	40	160	4
	1:02	40	80	5
	1:01	160	160	9

(Sumber: PT. Waskita Karya)

*Grouting* dilakukan sampai campuran tersebut sudah tidak dapat mengisi pada kedalaman tersebut, hal ini ditandai dengan campuran yang berada pada tampungan sudah tidak mengalami penurunan. Namun apabila campuran masih terus mengisi kedalaman tersebut maka *grouting* terus berlanjut. *Grouting* akan terus berlanjut dengan diteruskan ke perbandingan campuran selanjutnya.

Perbedaan permeabilitas pondasi sebelum dan setelah dilakukan *grouting* bisa dilihat dengan membandingkan koefisien permeabilitas (*k*) dan nilai *lugeon* pada *pilot hole* dan *check hole*. Jari-jari lubang diketahui sebesar 3,3 cm dan kedalaman lubang tiap pengujian sebesar 500 cm. Perhitungan nilai *lugeon* dan koefisien permeabilitas bisa dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.**  
**Hasil Lugeon PH Blok 26-29**

Nama Titik	Q (cm <sup>3</sup> /detik)	Nilai Lugeon	Grouting (kg)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	k (cm/detik)
26 PH Stage 1	49,50	16,05	361,57	0,37	2,1,E-04
26 PH Stage 2	62,83	9,19	1193,15	0,82	1,2,E-04
26 PH Stage 3	17,17	0,75	NO GROUT	0,355	7,7,E-05
26 PH Stage 4	105,33	3,48	NO GROUT	3,63	4,6,E-05
26 PH Stage 5	10,17	0,39	NO GROUT	3,09	5,3,E-06
26 PH Stage 6	9,17	0,51	NO GROUT	2,14	6,8,E-06
26 PH Stage 7	14,83	0,39	NO GROUT	4,5	5,3,E-06
26 PH Stage 8	17,67	0,81	NO GROUT	2,63	1,1,E-05
26 PH Stage 9	75,00	12,21	551,2	0,72	1,7,E-04
26 PH Stage 10	36,67	1,36	NO GROUT	3	2,0,E-05
27 PH Stage 1	87,17	25,51	165,1	0,41	3,4,E-04
27 PH Stage 2	30,17	1,71	NO GROUT	2,11	2,3,E-05
27 PH Stage 3	198,33	7,65	109,88	3,11	1,0,E-04
27 PH Stage 4	35,33	1,16	NO GROUT	3,65	1,5,E-05
27 PH Stage 5	33,67	2,5	NO GROUT	1,61	3,3,E-05
27 PH Stage 6	183,83	10,4	843,4	2,12	1,4,E-04
27 PH Stage 7	1285,33	22,06	1182,85	6,63	3,1,E-04
27 PH Stage 8	17,00	0,78	NO GROUT	2,62	1,0,E-05
27 PH Stage 9	103,50	1,53	NO GROUT	8,11	2,0,E-05
27 PH Stage 10	97,17	1,28	NO GROUT	8,12	1,9,E-05
28 PH Stage 1	176,83	58,94	570,46	0,36	7,9,E-04
28 PH Stage 2	73,00	10,81	129,88	0,81	1,4,E-04
28 PH Stage 3	106,17	4,09	NO GROUT	3,11	5,5,E-05
28 PH Stage 4	21,17	2,28	NO GROUT	1,11	3,0,E-05
28 PH Stage 5	173,83	4,52	NO GROUT	4,61	6,0,E-05
28 PH Stage 6	49,17	2,79	NO GROUT	2,11	3,7,E-05
28 PH Stage 7	134,67	8,42	239,56	2,11	1,0,E-04
28 PH Stage 8	25,33	1,16	NO GROUT	2,61	1,6,E-05
28 PH Stage 9	32,00	1,46	NO GROUT	2,62	2,0,E-05
28 PH Stage 10	21,83	0,84	NO GROUT	3,11	1,1,E-05
29 PH Stage 1	249,33	26,95	182,99	1,11	3,6,E-04
29 PH Stage 2	343,83	19,55	913,78	2,11	2,6,E-04
29 PH Stage 3	5,17	0,55	NO GROUT	1,12	7,4,E-06
29 PH Stage 4	19,50	0,64	NO GROUT	3,61	8,6,E-06
29 PH Stage 5	22,83	1,68	NO GROUT	1,63	2,2,E-05
29 PH Stage 6	233,33	4,99	NO GROUT	5,61	6,7,E-05
29 PH Stage 7	154,83	2,81	NO GROUT	6,61	3,7,E-05
29 PH Stage 8	221,17	3,48	NO GROUT	7,61	4,6,E-05
29 PH Stage 9	50,00	2,29	NO GROUT	2,62	3,1,E-05
29 PH Stage 10	198,33	2,61	NO GROUT	9,11	3,5,E-05

(Sumber: Analisis sendiri)

Hasil nilai *lugeon* dan koefisien permeabilitas yang diperoleh pada *pilot hole* di blok 26-29 bisa dilihat pada tabel di atas. Banyak *stage* yang

masih harus dilakukan *grouting* baik di masing-masing blok, sedangkan untuk nilai *lugeon* pada *check hole* dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6.**  
**Hasil Lugeon CH Blok 26-29**

Nama Titik	Q (cm <sup>3</sup> /detik)	Nilai <i>Lugeon</i>	<i>Grouting</i> (kg)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	k (cm/detik)
26 CH Stage 1	11,0	3,3	NO GROUT	0,4	4,4E-05
26 CH Stage 2	18,2	1,55	NO GROUT	1,41	2,1E-05
26 CH Stage 3	17,7	1,85	NO GROUT	1,14	2,5E-05
26 CH Stage 4	22,5	2,38	NO GROUT	1,13	3,2E-05
26 CH Stage 5	21,0	1,55	NO GROUT	1,62	2,1E-05
26 CH Stage 6	21,7	1,23	NO GROUT	2,12	1,6E-05
26 CH Stage 7	36,8	2,08	NO GROUT	2,12	2,8E-05
26 CH Stage 8	71,3	1,67	NO GROUT	5,13	2,2E-05
27 CH Stage 1	20,3	6,42	47,34	0,38	8,6E-05
27 CH Stage 2	9,2	1,33	NO GROUT	0,83	1,8E-05
27 CH Stage 3	25,8	2,74	NO GROUT	1,13	3,7E-05
27 CH Stage 4	68,3	2,27	NO GROUT	3,61	3,0E-05
27 CH Stage 5	38,7	2,86	NO GROUT	1,62	3,8E-05
27 CH Stage 6	95,7	2,04	NO GROUT	5,64	2,7E-05
27 CH Stage 7	30,0	1,69	NO GROUT	2,13	2,3E-05
27 CH Stage 8	33,3	1,52	NO GROUT	2,62	2,0E-05
27 CH Stage 9	35,7	1,63	NO GROUT	2,63	2,2E-05
28 CH Stage 1	25,3	7,6	26,01	0,4	1,0E-04
28 CH Stage 2	21,0	1,79	NO GROUT	1,41	2,4E-05
28 CH Stage 3	46,8	1,8	NO GROUT	3,13	2,4E-05
28 CH Stage 4	39,8	1,82	NO GROUT	2,63	2,4E-05
28 CH Stage 5	37,8	2,79	NO GROUT	1,63	3,7E-05
28 CH Stage 6	19,3	1,09	NO GROUT	2,12	1,5E-05
28 CH Stage 7	48,0	2,7	NO GROUT	2,13	3,6E-05
28 CH Stage 8	34,2	1,56	NO GROUT	2,62	2,1E-05
29 CH Stage 1	23,5	2,56	NO GROUT	1,1	3,4E-05
29 CH Stage 2	69,5	3,97	NO GROUT	2,1	5,3E-05
29 CH Stage 3	44,3	2,53	NO GROUT	2,1	3,4E-05
29 CH Stage 4	41,0	4,47	NO GROUT	1,1	6,0E-05
29 CH Stage 5	94,2	2,38	NO GROUT	4,6	3,3E-05
29 CH Stage 6	38,0	2,15	NO GROUT	2,07	2,9E-05
29 CH Stage 7	21,7	1,3	NO GROUT	2,1	1,6E-05

(Sumber: Analisis sendiri)

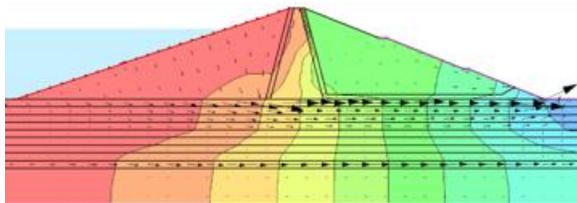
Nilai *lugeon* yang diperoleh pada *check hole* dan koefisien permeabilitas bisa dilihat pada tabel di atas. *Check hole* ini seharusnya sudah tidak ditemukan titik yang perlu untuk *grouting*, tetapi bisa dilihat bahwa masih ditemukan *stage* yang perlu dilakukan *grouting* yaitu blok 27 dan 28, maka ditambahkan lubang lagi yaitu *quarter*

*hole* untuk blok 27 dan 28. Hasil dari *quarter hole* tersebut bisa dilihat pada Tabel 7. Hasil pada *quarter hole* sudah memenuhi syarat pada semua titik, jadi bisa dikatakan bahwa pondasi bendungan pada blok 26-29 sudah memenuhi syarat

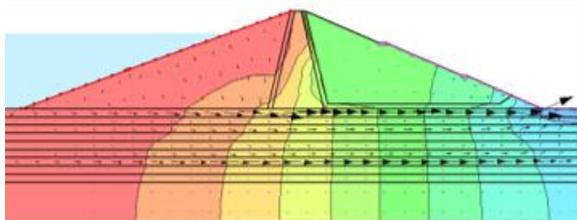
**Tabel 7.**  
**Hasil *Lugeon* Quarter Blok 27-28**

Nama Titik	Q (cm <sup>3</sup> /detik)	Nilai <i>Lugeon</i>	<i>Grouting</i> (kg)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	k (cm/detik)
27 Q 1 Stage 1	23,17	2,53	NO GROUT	1,1	3,4E-05
27 Q 1 Stage 2	22,17	1,32	NO GROUT	2,1	1,7E-05
27 Q 2 Stage 1	7,67	0,84	NO GROUT	1,09	1,1E-05
27 Q 3 Stage 1	5,67	0,63	NO GROUT	1,08	8,4E-06
28 Q 1 Stage 1	20,17	2,2	NO GROUT	1,1	2,9E-05
28 Q 1 Stage 2	23,17	1,32	NO GROUT	2,1	1,8E-05
28 Q 2 Stage 1	8,50	0,94	NO GROUT	1,08	1,3E-05
28 Q 3 Stage 1	4,83	0,54	NO GROUT	1,07	7,2E-06

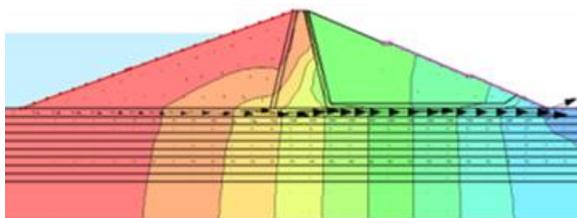
**3.4. Analisis Hasil Perbaikan *Grouting* dengan Geostudio Seep/W**



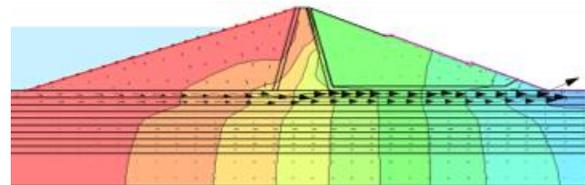
**Gambar 3. Analisis Aliran Rembesan Sebelum *Grouting* Blok 26**  
 (Sumber: Analisis sendiri)



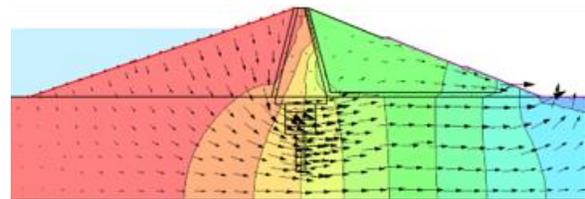
**Gambar 4. Analisis Aliran Rembesan Setelah *Grouting* Blok 26**  
 (Sumber: Analisis sendiri)



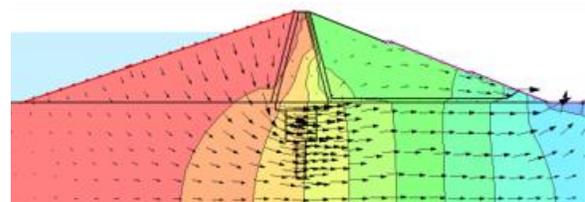
**Gambar 5. Analisis Aliran Rembesan Sebelum *Grouting* Blok 27**  
 (Sumber: Analisis sendiri)



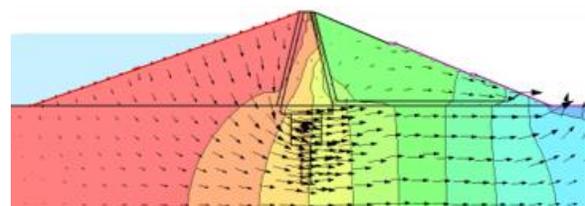
**Gambar 6. Analisis Aliran Rembesan Setelah *Grouting* Blok 27**  
 (Sumber: Analisis sendiri)



**Gambar 7. Analisis Aliran Rembesan Sebelum *Grouting* Blok 28**  
 (Sumber: Analisis sendiri)

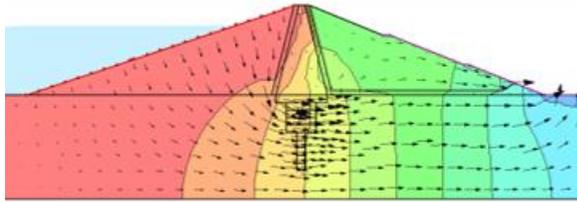


**Gambar 8. Analisis Aliran Rembesan Setelah *Grouting* Blok 28**  
 (Sumber: Analisis sendiri)



**Gambar 9. Analisis Aliran Rembesan Sebelum *Grouting* Blok 29**

(Sumber: Analisis sendiri)



**Gambar 10. Analisis Aliran Rembesan Setelah Grouting Blok 29**

(Sumber: Analisis sendiri)

Arah aliran rembesan sebelum dilakukan *grouting* belum stabil dan searah sehingga rawan terhadap bahaya *piping* dan *uplift*. Setelah dilakukan *grouting* aliran rembesan sudah searah dan lebih stabil sehingga bahaya *piping* dan *uplift* sudah diminimalisir.

Bahaya *piping* dan *uplift* bisa menyebabkan kemiringan pada bendungan. *Piping* adalah erosi karena air yang mengalir pada pondasi bendungan. *Uplift* adalah gaya tekanan air terhadap suatu bendungan. Sangat bahaya apabila hal ini terjadi karena perubahan bendungan sudah tidak bisa dilihat secara visual setelah dilakukan penimbunan bendungan, maka dari itu sangat penting dilakukan *grouting* untuk memperbaiki masalah rembesan pada pondasi bendungan.

### 3.5. Analisis Biaya Pekerjaan Grouting

#### 3.4.1 Pekerjaan Metode Downstage

Metode *grouting downstage* merupakan pelaksanaan *grouting* dengan cara sementasi dari atas ke bawah. Pekerjaan *grouting* metode *downstage* ini item yang digunakan yaitu meliputi pekerjaan pengeboran, *water pressure test*, dan injek material. Pengeboran ulang dilakukan padabagian yang telah dilakukan *grouting* untuk dapat mencapai atau melanjutkan ke kedalaman selanjutnya. Pekerjaan pengeboran ulang memiliki biaya setengah kali dari harga pengeboran awal. Uraian biaya dan pola pelaksanaan pekerjaan disajikan pada Tabel 8 dan Tabel 9.

**Tabel 8.**

#### Pola Pekerjaan Grouting Metode Downstage

Stage Pola Pelaksanaan Grouting Downstage	
1	D W G R
2	D W G R
3	D W G R
4	D W G R
5	D W G

(Sumber: *Work Methode Statement* PT. Waskita Karya)

Penjelasan untuk simbol pada tabel di atas yaitu:

D = *drilling*

W = *water pressure test*

G = *grouting*

R = *redrilling*

**Tabel 9.**

#### Biaya Grouting Metode Downstage

No	Uraian	Volume		Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
		Kontrak	Satuan		
1	Pengeboran :				
	0 m - 10 m	500	m	392.930,00	196.465.000,00
	10 m - 20 m	500	m	401.670,00	200.835.000,00
	20 m - 30 m	500	m	430.280,00	215.140.000,00
	30 m - 40 m	500	m	450.200,00	225.100.000,00
2	40 m - 50 m	500	m	473.360,00	236.680.000,00
	WPT	5000	kali	247.580,00	1.237.900.000,00
3	Grouting	1000	ton	3.082.590,00	3.082.590.000,00
4	Pengeboran ulang				
	0 m - 10 m	500	m	196.465,00	98.232.500,00
	10 m - 20 m	500	m	200.835,00	100.417.500,00
	20 m - 30 m	500	m	215.140,00	107.570.000,00
	30 m - 40 m	500	m	225.100,00	112.550.000,00
	40 m - 50 m	250	m	236.680,00	59.170.000,00
	Total				5.872.650.000,00

(Sumber: Analisis sendiri)

#### 3.4.2 Pekerjaan Metode Upstage

Metode *grouting upstage* merupakan pelaksanaan *grouting* dengan cara sementasi dari bawah ke atas. Pekerjaan *grouting* dengan metode *downstage* ini item yang digunakan yaitu meliputi pekerjaan pengeboran, *water pressure test*, dan injek material. Metode ini tidak diperlukan pengeboran ulang. Biaya dan pola pekerjaan untuk metode *upstage* disajikan pada Tabel 10 dan Tabel 11, dengan keterangan simbol pada tabel sama dengan pada metode *downstage*

**Tabel 10.**  
**Pola Pekerjaan Grouting Metode Upstage**

Stage	Pola Pelaksanaan Grouting Downstage		
1	D		W G
2	D		W G
3	D		W G
4	D	W G	
5	D	W G	

(Sumber: *Work Methode Statement* PT. Waskita Karya)

**Tabel 11.**  
**Biaya Grouting Metode Upstage**

No	Uraian	Volume		Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
		Kontrak	Satuan		
1	Pengeboran :				
	0 m - 10 m	500	m	392.930,00	196.465.000,00
	10 m - 20 m	500	m	401.670,00	200.835.000,00
	20 m - 30 m	500	m	430.280,00	215.140.000,00
	30 m - 40 m	500	m	450.200,00	225.100.000,00
	40 m - 50 m	500	m	473.360,00	236.680.000,00
2	WPT	5000	kali	247.580,00	1.237.900.000,00
3	Grouting	1000	ton	3.082.590,00	3.082.590.000,00
	Total				5.394.710.000,00

(Sumber: Analisis sendiri)

### 3.4.3 Perbandingan Biaya

Perbandingan biaya metode *downstage* dan *upstage* yang sudah dibahas di atas sehingga bisa dilihat adanya perbedaan mengenai biaya yang digunakan. Perbedaan biaya yang digunakan bisa dibandingkan pada Tabel 12.

**Tabel 12.**  
**Perbandingan Biaya Metode Downstage dan Upstage**

No	Metode	Biaya (Rp)
1	Downstage	Rp 5.872.650.000,00
2	Upstage	Rp 5.394.710.000,00
	Selisih	Rp 477.940.000,00

(Sumber: Analisis sendiri)

Tabel di atas menunjukkan bahwa dari kedua metode tersebut perbedaan biaya yang dikeluarkan yaitu Rp477.940.000 dengan metode *upstage* memiliki biaya yang lebih sedikit.

## 4. KESIMPULAN

Hasil dari pembahasan di atas menunjukkan bahwa terjadi perbaikan permeabilitas berdasarkan

pada blok 26-29. Saat *check hole* blok 26 dan 29 sudah memenuhi nilai batas *lugeon*, namun pada blok 27 dan 28 masih ditemukan titik yang perlu dilakukan *grouting* sehingga ditambahkan lubang tambahan yaitu *quarter hole*. Hasil penambahan *quarter hole* didapatkan pada blok 27 dan 28 sudah memenuhi sebagai pondasi bendungan yang akan digunakan. Jadi bisa dikatakan bahwa *grouting* yang dilakukan berhasil memperbaiki permeabilitas pada blok yang dilakukan *grouting*.

Pembahasan mengenai perbandingan biaya pada metode *downstage* dan *upstage* di atas didapatkan bahwa dari kedua metodetersebut perbedaan biaya yang dikeluarkan yaitu Rp477.940.000 dengan metode *upstage* memiliki biaya yang lebih sedikit. Pelaksanaan menggunakan metode *upstage* memang memiliki biaya lebih sedikit namun harus dipertimbangkan juga kondisi tanah yang ada, karena bisa jadi tanah tertutup kembali saat pengeboran dilakukan terlalu dalam. Metode yang dilakukan juga bisa menggunakan metode gabungan antara metode *upstage* dan *downstage* dalam pelaksanaan *grouting* sesuai dengan kondisi batuan yang ada.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 2008, *SNI 2411:2008 Cara Uji Kelulusan Air Bertekanan di Lapangan*, BSN, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2005, *Pedoman Grouting untuk Bendungan*, Jakarta.
- Departemen permukiman dan Prasarana Wilayah, 2004, *Pedoman Pelaksanaan Konstruksi Bendungan Urugan*, Jakarta.
- Fell Robin, 2014, *Geotechnical Engineering of Dams* 2nd Edition, Inggris.
- Houlsby, A.C., 1990, *Construction and Design of Cement Grouting*, Wiley.
- Joko Paryadi, 2009, *Evaluasi Grouting terhadap Pengurangan Rembesan Air pada Bendungan Gonggang Kabupaten Magetan*, Tesis, Program Pasca Sarjana Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Soedibyo, 1993, *Teknik Bendungan*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sosrodarsono, S., Takeda, K., 2016, *Bendungan Tipe Urugan*, Balai Pustaka, Jakarta.
- Waskita Karya Bendungan Jragung, 2021, *Work Methode Statement Concrete Caping dan Grouting Bendungan Utama*, Semarang.