



## FUNGSI GROUTING TERHADAP BAHAYA REMBESAN, PIPING DAN UPLIFT PADA BENDUNGAN

Ahmad Hidayawan<sup>1)</sup>, Mulyadi<sup>2)</sup>, Mohamad Barkah Hikmatyar<sup>3)</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Batik Surakarta

<sup>2</sup>Program Pascasarjana Universitas Islam Batik Surakarta

<sup>3</sup>Harriyo Konsultan

<sup>1</sup>Email : [Hidayawan11@gmail.com](mailto:Hidayawan11@gmail.com)

<sup>2</sup>Email : [mulyadisudjai@gmail.com](mailto:mulyadisudjai@gmail.com)

<sup>3</sup>Email : [hikmatyarharyo.brujul@gmail.com](mailto:hikmatyarharyo.brujul@gmail.com)

Abstrak –Salah satu komponen yang harus diperhatikan dalam pelaksanaan pembangunan bendungan salah satunya adalah pondasi. Berdasarkan hasil investigasi kondisi geologi main dam terdiri oleh perlapisan batupasir, batulanau dan batu lempung dengan arah dan kemiringan lapisan N342°E/54°, N348°E/56°, N338°E/41°. Perlapisan batuan juga dikontrol oleh struktur geologi berupa kekar berpasangan dengan spasi antar kekar 10-50 cm dan *strike/dip*. Dari hasil *Water pressure test* masih banyak nilai lugeon > 5. Dengan kondisi geologi tersebut perlu dibutuhkan perbaikan pondasi grouting. Tujuan dilakukannya grouting sebagai upaya perbaikan pondasi dalam memperkecil nilai permeabilitas pondasi. Dalam melakukan analisis di coba dengan beberapa variasi kedalaman yaitu 40 m dan 50m. Pada bendungan jragung direncanakan pekerjaan grouting meliputi *curtain*, *subcurtain*, dan *blanket grouting*. Analisis yang dilakukan mengacu pada aspek keamanan bendungan terhadap bahaya rembesan, *piping*, dan *uplift*.

**Kata Kunci:** *Grouting, Keamanan bendungan, Rembesan, Piping, Uplift*

### PENDAHULUAN

Permasalahan pada kondisi geologi pondasi bendungan sering ditemui seperti pelapukan batuan, kekar, jalur sesar dan retakan (Soedibyo, 2003:271). Pondasi bendungan berfungsi sebagai pendukung semua beban yang diteruskan oleh bendungan yang bersangkutan. Sesudah penimbunan dilaksanakan, maka perubahan – perubahan yang terjadi pada lapisan pondasi tersebut sudah tidak bisa dilihat secara visual. Mengingat hal tersebut, maka sebelum penimbunan dilaksanakan, perbaikan pondasi harus dilaksanakan secara cermat dan hati – hati, agar perbaikan pondasi tersebut dapat mencapai kualitas yang diharapkan. Salah satu metode perbaikan pondasi bendungan adalah dengan sementasi grouting.

*Grouting* adalah pekerjaan penyuntikan pasta semen ke dalam pondasi dengan tujuan mengurangi permeabilitas batuan dengan menutup celah, retakan, kekar, dan zona lemah lainnya. *Mix proportional* atau campuran *grouting* didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara Semen (C) dan berat air (W) Secara umum material *grouting* harus dapat mengisi rongga batuan, celah antar bidang perlapisan, bidang *discontinuity*, dan kekar/sesar batuan. Pekerjaan grouting salah satu metode yang digunakan untuk menangani permasalahan struktur geologi untuk mencegah terjadinya boiling, piping dan terjadinya deformasi plastis serta uplift bila terkena beban.

Berdasarkan hasil penyelidikan geologi yang telah dilaksanakan pondasi bendungan jragung terdiri dari perselingan lapisan batuan diantaranya batupasir, batulempung dan batulanau. Lapisan-lapisan tersebut mempunyai nilai permeabilitas yang tinggi atau porus.

### METODOLOGI PENELITIAN

#### Kedalaman Grouting

Menurut Untuk mengetahui kedalaman grouting pada pondasi bendungan jragung Pada pelaksanaan trial grouting, dalam penetapan kedalaman grouting tirai belum dipertimbangkan besarnya pengaruh terhadap analisa kecepatan aliran filtrasi, rembesan, piping dan uplift terhadap tubuh bendungan. (Suyono

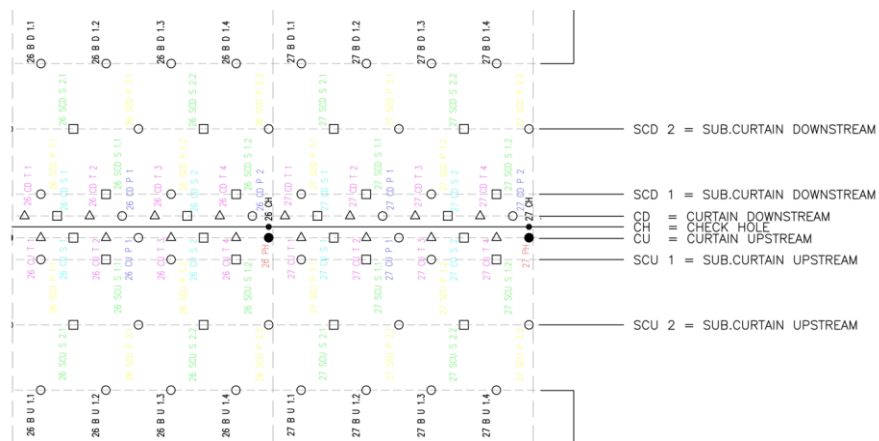
Sosrodarsono & Kensaku Takeda, 2016:107) Pada umumnya kedalaman lubang grouting ditentukan berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$D = 1/3 H + C \dots\dots\dots (1)$$

dimana,

- D = kedalaman lobang bor (m)
- H = ketinggian air statis waduk (m)
- C = konstanta (8-20m).
- (Bendungan Type Urugan DR.).

**Pola Grouting**

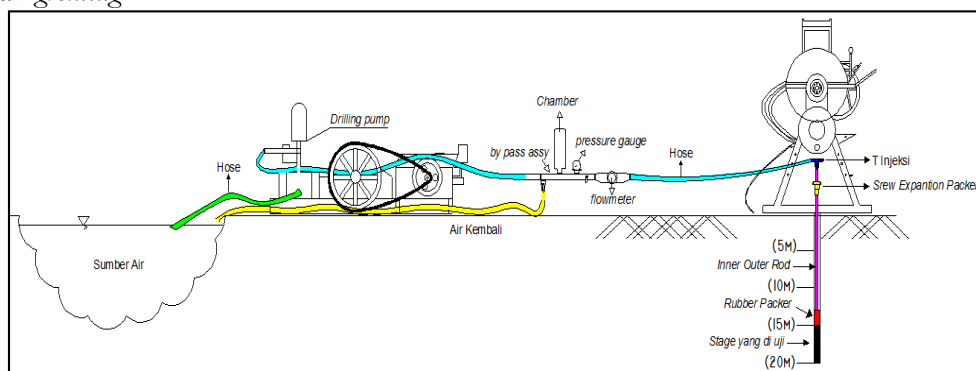


Gambar 1. Pola pekerjaan grouting pada bendungan

**Metode Pelaksanaan Grouting**

a. Pengeboran

Pengeboran yang akan dilakukan berupa pengeboran inti dan non inti sampai kedalaman 50 m dan dilaksanakan bertahap setiap 5 m. Setelah pengeboran mencapai 5 m akan dilakukan pekerjaan *water pressure test* untuk mendapatkan nilai *Lugeon* (permeabilitas batuan) dan selanjutnya diadakan *grouting*.



Gambar 2 Detail pekerjaan grouting

b. *Water Pressure Test* (WPT)

*Water pressure test* merupakan kegiatan injeksi air pada *stage* tertentu dengan beberapa tekanan tertentu yang bertujuan untuk mengetahui nilai *Lugeon* (permeabilitas) pada *stage* tersebut dimana 1 *Lugeon* sama dengan  $1 \times 10^{-5}$  permeabilitas. Permeabilitas didefinisikan sebagai kemampuan sampel (batuan/tanah) untuk dapat meloloskan air pada tekanan yang diberikan. Hasil dari *water pressure test* digunakan sebagai acuan untuk menentukan kegiatan *grouting*.



Robin Fell (2015) menyatakan bahwa *Lugeon* untuk nilai sampai dengan 5 termasuk kategori *small joint opening* sehingga nilai tersebut menjadi batasan terkecil untuk dilakukan *grouting*. *Grouting* akan dilakukan jika nilai *Lugeon* yang didapat >5 dan komposisi campuran material pada saat *grouting* juga ditentukan dari hasil *Lugeon* tersebut. Berdasarkan hal tersebut kegiatan *multy water pressure test* harus dilakukan dan dikerjakan dengan maksimal.

Tahap pengujian dilakukan lima kali pengamatan dengan variasi tekanan yang berbeda, yaitu 33%  $P_{maks}$ , 66%  $P_{maks}$ , 100%  $P_{maks}$ , 66%  $P_{maks}$  dan 33%  $P_{maks}$ . Tekanan yang digunakan untuk pengujian *Lugeon* khususnya *pilot hole* dan *check hole* adalah menggunakan *multy water pressure test*. Untuk pemboran *open hole*, pengujian tekanan menggunakan *single water pressure test*. Adapun penggunaan tekanan sebagaimana Tabel 1.

Tabel 1 Tekanan uji untuk test WPT

STAGE	Tekanan Uji (Kg/cm2)				
	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

c. *Grouting* (Penyuntikan Semen)

*Grouting* adalah pekerjaan penyuntikan pasta semen ke dalam pondasi dengan tujuan mengurangi permeabilitas batuan dengan menutup celah, retakan, kekar, dan zona lemah lainnya. *Mix proportional* atau campuran *grouting* didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara Semen (C) dan berat air (W) sebagaimana rincian pada Tabel 3.2. Secara umum material *grouting* harus dapat mengisi rongga batuan, celah antar bidang perlapisan, bidang *discontinuity*, dan kekar/sesar batuan.

Tabel 2 Sementasi grouting

Lu	Campuran	Semen (Kg)	Air (Liter)	Batch	Vol. 1 Batch (Lt)	Vol. Total (Lt)	Vol. Kumulatif (Lt)	Total Semen (Kg)	Total Kumulatif Semen (Kg)
5 < Lu < 10	1:10	20	200	2	206.349	412.698	412.698	40	40
	1:08	20	160	2	166.349	332.698	745.397	40	80
	1:06	20	120	3	126.349	379.048	1124.444	60	140
	1:04	40	160	3	172.698	518.095	1642.540	120	260
	1:02	40	80	4	92.698	370.794	2013.333	160	420
	1:01	80	80	10	105.397	1053.968	3067.302	800	1220
10 < Lu < 20	1:06	20	120	3	126.349	379.048	379.048	60	60
	1:04	40	160	3	172.698	518.095	897.143	120	180
	1:02	40	80	3	92.698	278.095	1175.238	120	300
	1:01	160	160	9	210.794	1897.143	3072.381	1440	1740
Lu > 20	1:04	40	160	4	172.698	690.794	690.794	160	160
	1:02	40	80	5	92.698	463.492	1154.286	200	360
	1:01	160	160	9	210.794	1897.143	3051.429	1440	1800

Awal dimulainya perbandingan campuran semen grouting telah diklasifikasikan dalam 3 kategori sesuai dengan nilai *Lugeon*. Perbandingan campuran material semen grouting dilaksanakan secara bertahap dengan merubah campuran bertahap semakin kental. Standar perbandingan campuran material semen grouting yang digunakan dipresentasikan pada Tabel 2.2. Tekanan yang digunakan dalam pelaksanaan grouting adalah berdasarkan tekanan maksimum uji pada

pilot hole (single water pressure test) dimana tekanan adalah sama atau lebih tinggi dari yang dipakai untuk uji dengan catatan jika pada saat pengujian terjadi breaking point. Tekanan grouting untuk single pressure test adalah sebagai berikut :

- Stage 1 (0 – 5 m) : ≤ 1.0 kg/cm<sup>2</sup>
- Stage 2 (5 – 10 m) : ≤ 2.0 kg/cm<sup>2</sup>
- Stage 3 (10 – 15 m) : ≤ 3.0 kg/cm<sup>2</sup>
- Stage 4 (15 – 20 m) : ≤ 3.5 kg/cm<sup>2</sup>

**Analisa Rembesan**

Tubuh dan pondasi bendungan harus mampu menahan gaya yang ditimbulkan dengan adanya air filtrasi yang mengalir melalui celah antara butiran tanah pembentuk tubuh bendungan dan pondasi tersebut. Umumnya perencanaan stabilitas bendungan terhadap aliran filtrasi selain menggunakan metode Casagrande (Napitupulu, 1999) juga dapat menggunakan program bantu GeoStudio 2012. Analisis aliran filtrasi keamanan konstruksi bendungan terhadap aliran filtrasi ditinjau terhadap beberapa aspek antara lain

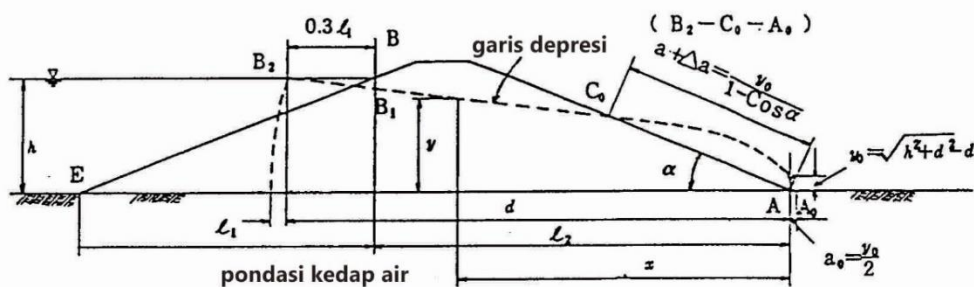
- Pola Garis Rembesan  
Pola garis rembesan pada zona kedap air dapat diperoleh dengan metode Casagrande. Garis deformasi rembesan sebesar

$$\sqrt{\frac{k_v}{k_h}} \dots\dots\dots (2)$$

Garis rembesan dapat diperoleh dengan persamaan parabola dengan bentuk dasar

$$y = \sqrt{2 y_0 x + y_0^2} \dots\dots\dots (3)$$

$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d \dots\dots\dots (4)$$

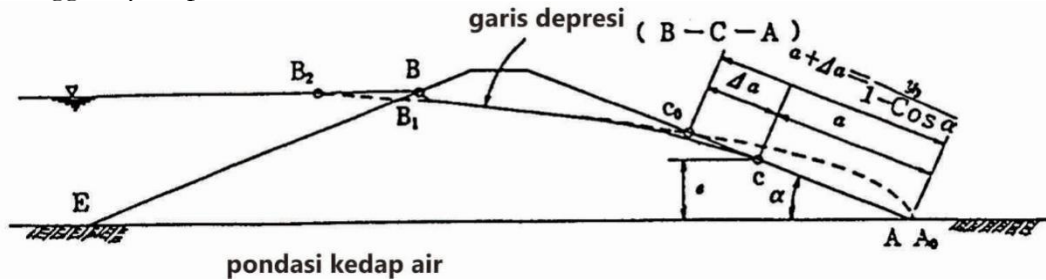


Gambar 3 Garis Depresi Bendungan  
(Sumber : Anonim, 1988 dan Napitupulu, 1999 iii)

dimana

- h = jarak vertikal antara titik A dan Titik B
- d = jarak horisontal antara titik B2 dan A
- l1 = jarak horisontal antara titik B dan E
- l2 = jarak horisontal antara titik B dan A
- A = ujung tumit hilir bendungan
- B = titik perpotongan antara permukaan air waduk dan lereng hulu bendungan

$A_1$  = titik perpotongan antara parabola bentuk besar garis depresi dengan garis vertikal melalui titik B  
 $B_2$  = titik yang terletak sejauh  $0,3 l_1$ , horisontal terhadap arah hulu dari titik B  
 Garis parabola bentuk  $B_2-C_0-A_0$  diperoleh berdasarkan persamaan sehingga memerlukan modifikasi untuk penyesuaian menjadi garis B-C-A yang merupakan bentuk garis rembesan yang sesungguhnya seperti Gambar 2.6.



Gambar 4 Garis Depresi Bendungan Modifikasi  
 (Sumber : Anonim, 1988)

Modifikasi dilakukan dengan memindahkan titik  $C_0$  ke titik C pada titik permulaan potongan garis rembesan dengan lereng hulu tubuh bendungan sepanjang  $\Delta a$  sesuai kemiringan lereng hilir tubuh bendungan sehingga rembesan dihitung dengan persamaan

$$a + \Delta a = \frac{y_0}{1 - \cos \alpha} \dots\dots\dots (5)$$

dimana

$a$  = jarak A-C

$\Delta a$  = jarak  $C_0-C$

$\alpha$  = sudut kemiringan lereng hilir bendungan

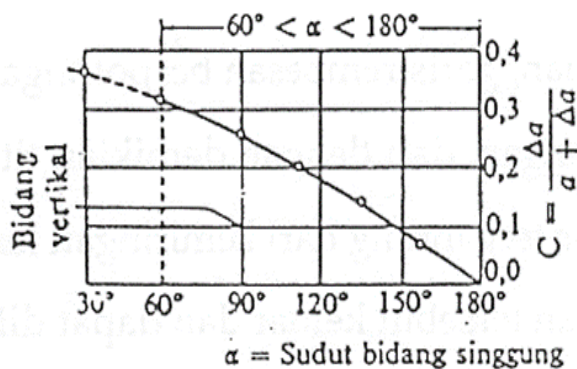
Nilai  $a$  dan  $\Delta a$  yang diperoleh dengan persamaan tersebut dengan menentukan nilai  $C = a/(a + \Delta a)$  pada gambar 2.8. Jika kemiringan sudut hilir tubuh bendungan  $< 30^\circ$  maka harga  $a$  adalah

$$a = \frac{d}{\cos \alpha} - \sqrt{\left(\frac{d}{\cos \alpha}\right)^2 - \left(\frac{h}{\sin \alpha}\right)^2} \dots\dots\dots (6)$$

- Kapasitas Aliran Filtrasi

Kapasitas aliran filtrasi dapat diperkirakan berdasarkan pada jaringan trayektori aliran filtrasi dengan persamaan (Wesley, 1977; Anonim, 1988; Hardiyatmo, 1994; dan Napitupulu, 1999 iii)

$$Q_f = \frac{N_f}{N_p} \cdot k \cdot H \cdot L \dots\dots\dots (7)$$



Gambar 5 Hubungan antara harga C dengan sudut bidang singgung  $\alpha$   
 (Sumber : Anonim, 1988)

dimana

$Q_f$  = kapasitas aliran filtrasi ( $m^3/det$ )



- Nf = jumlah garis trayektori
- Np = jumlah garis ekuipotensial
- k = koefisien filtrasi (m/det)
- H = tinggi tekanan air total (m)
- L = panjang tubuh bendungan

Besarnya prediksi kapasitas aliran filtrasi dari hasil analisis persamaan dikontrol dengan program dengan hasilnya harus lebih kecil daripada persyaratan besarnya aliran filtrasi dimana < 1% dari limpasan tahunan rata-rata atau < 0,05% dari kapasitas waduk seluruhnya.

**Kontrol terhadap Piping**

Rembesan melalui tubuh bendungan, fondasi, tumpuan, dan tepian/ bukit sekeliling waduk harus terkendali, sehingga tidak boleh terjadi gaya angkat (uplift) yang berlebihan, ketidak stabilan, longsor, aliran buluh, terhanyutnya material karena pelarutan, atau erosi internal/ material terbawa aliran rembesan melalui rekahan, kekar dan rongga. Tebing/dinding sekeliling waduk harus stabil pada segala kondisi operasi (severe operation), sehingga tidak boleh terjadi ketidak stabilan pada dinding tipis sekeliling waduk. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya longsor besar yang masuk ke dalam waduk saat pengisian waduk (impounding) sehingga memicu timbulnya gelombang besar yang dapat mengakibatkan luapan air waduk. Keamanan bendungan urugan tanah terhadap piping dapat dihitung berdasarkan rumus berikut :

$$FK = \frac{lc}{le} \geq 4 \dots\dots\dots (8)$$

$$lc = \frac{\gamma}{\gamma_w} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \dots\dots\dots (9)$$

dimana :

- FK : faktor keamanan
- Ic : gradien keluaran kritis
- Ie : gradien keluaran dari hasil analisis rembesan atau pembacaan instrumen pisometer
- γ' : berat isi efektif (terendam) (t/m3)
- γw : berat isi air (t/m3)
- Gs : berat jenis
- e : angka pori

**Analisa Deformasi**

Ada dua macam analisis yang dilakukan yaitu:

- Analisis deformasi untuk memperkirakan besarnya penurunan yang terjadi akibat konsolidasi yang biasa disebut analisis penurunan.
- Analisa deformasi untuk memperkirakan besarnya penurunan atau alihan tetap akibat guncangan gempa.

Perkiraan penurunan dapat dihitung dengan menggunakan rumus empiris dan juga dapat menggunakan program Geostudio Sigma-W. Penurunan konsolidasi primer (Sp) berdasarkan Terzaghi, adalah :

$$Sp = \frac{Cc}{1 + C_0} H \log \left( \frac{\sigma^1 + \Delta\sigma^1}{\sigma^1} \right) \dots\dots\dots (10)$$

dimana :

- H = Ketebalan lapisan yang ditinjau (m)
- Cc = Indeks kompresi
- Co = Angka pori awal 1
- σ' = Tegangan efektif tanah awal (kPa)



$$\Delta\sigma' = \text{Peningkatan tegangan efektif (kPa)}$$

### HASIL DAN PEMBAHASAN

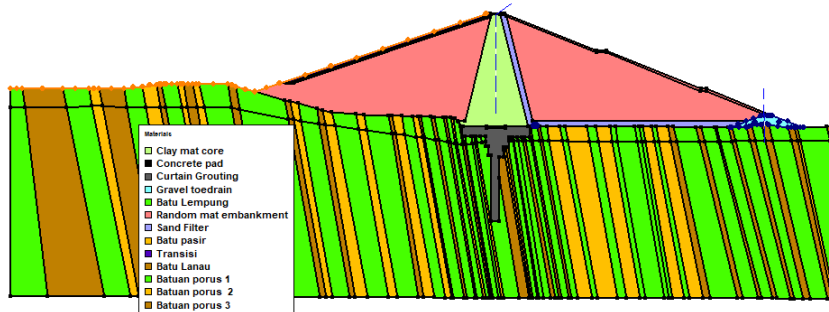
Evaluasi ini diperlukan untuk mengetahui keamanan bendungan terhadap rembesan, piping, uplift dan mengetahui tingkat keberhasilan dari perbaikan pondasi. Parameter keberhasilan grouting dapat ditinjau dari nilai Lugeon. Dalam perhitungan analisis menggunakan program geostudio 2018, berikut Parameter Analisis dan geometri pemodelan di sajikan pada Tabel 3. dan Gambar 6. di bawah ini.

#### Parameter Analisis

Tabel 3 Parameter analisis

No.	Material	$\gamma$ wet	$\gamma$ Sat	C	$\phi$	C'	$\phi'$	e	E	K (permeability)	Remark
		gr/cm <sup>3</sup>	gr/cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	°	kg/cm <sup>2</sup>	°		Kpa	cm/det	
1	Zona 1 (Inti)	1,87	1,82	17	18,6	0,05	28	1,16	11.147,00	1,74E-06	PT Konas Tunggal
2	Zona 2 ( Filter)	1,89	2,18	0	36			0,487		3,86E-03	IKA 18
3	Zona 3 (Random)	1,88	1,99			0,36	30,0	0,772		1,02E-03	INDRA KARYA
4	Zona 4 (draine)	2,18	2,01	0,15	36,0			0,75		4,18E-03	IKA 18
5	Zona 5 (Rip rap)	2,48	2,36	0	40,0					1,00E-02	
6	Beton	2,45	2,32	0	40					1,50E-10	
7	Curtain grouting		1,8	0	0					1,52E-05	WPT
8	Pondasi Batupasir		2,24	11,79	48,7			0,681	8,37E+03	2,57E-05	PUSAIR
9	Pondasi Batu lempung		1,87	1,32	42,06			0,778		4,41E-05	PUSAIR

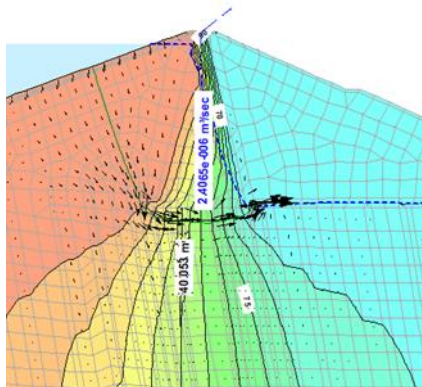
#### Geometri Pemodelan



Gambar 6. Geometri pemodelan

Dalam analisis di coba 3 macam variasi yaitu tanpa grouting, grotuing dengan kedalaman 40 m dan grouting dengan kedalaman 50 m dengan meninjau dari berbagai aspek yang menyangkut keamanan bendungan sebagai berikut :

1. Tanpa Grouting
  - a. Kecepatan aliran filtrasi



#### KECEPATAN ALIRAN KRITIS

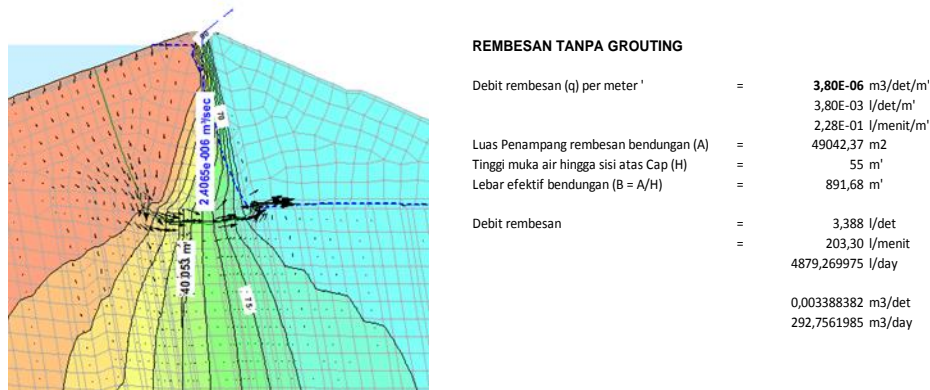
El puncak	119,5	m
El buttom	60	m
MAN	115	m
H	60	m
Lcore	34,5	m
K pondasi Batu lempung	4,41E-07	m/sec
K pondasi Batu Pasir	2,57E-06	m/sec
K pondasi BatuLanau	5,01E-07	m/sec

Kecepatan maksimum	5,84E-04	m/sec
	5,84E-02	cm/det
W1	6,87E-11	
F	7,85E-05	
Vc	2,93E-03	cm/det
Kecepatan rembesan (Vs)	5,84E-02	cm/det
Vs > Vc	Not Oke	

Gambar 7. Hasil running perhitungan kecepatan aliran kritis tanpa grouting

Dari hasil running program Seep-W geostudio di disimpulkan bahwa kecepatan maksimum melebihi kecepatan aliran kritis, hal ini dapat mengakibatkan Piping dan besarnya debit rembesan yang terjadi.

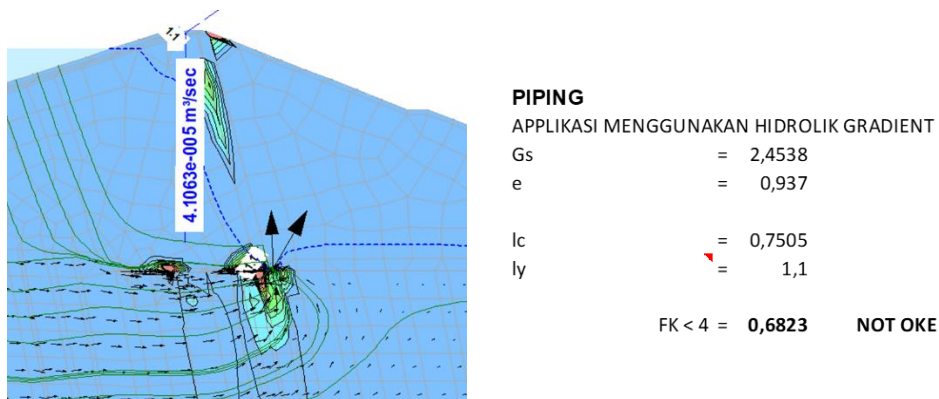
b. Rembesan



Gambar 8. Hasil running perhitungan rembesan tanpa grouting

Dari hasil running program Seep-W geostudio di dapatkan bahwa Debit rembesan melebihi 0,05 % tampungan efektif waduk , hal ini dapat mengakibatkan Piping dan besarnya debit rembesan yang terjadi

c. Piping

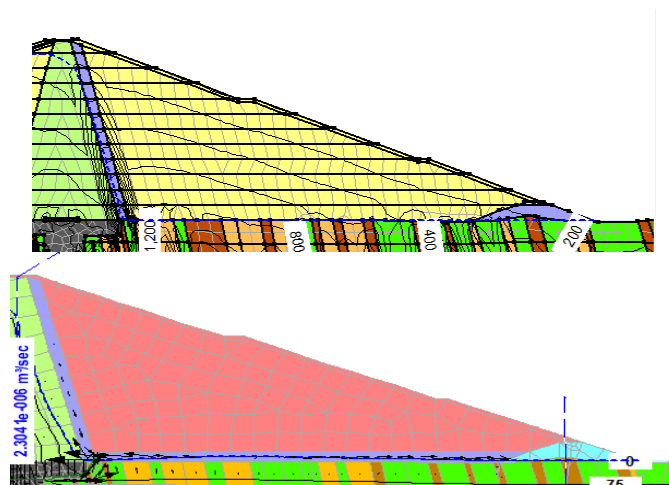


Gambar 9. Hasil gradient hidraulik untuk perhitungan piping tanpa grouting

Dari hasil running program Seep-W geostudio di dapatkan besar gradient hidraulik yang jadi bahwa Faktor keamanan  $0,682 < 4$  (tidak memenuhi syarat).

d. Uplift

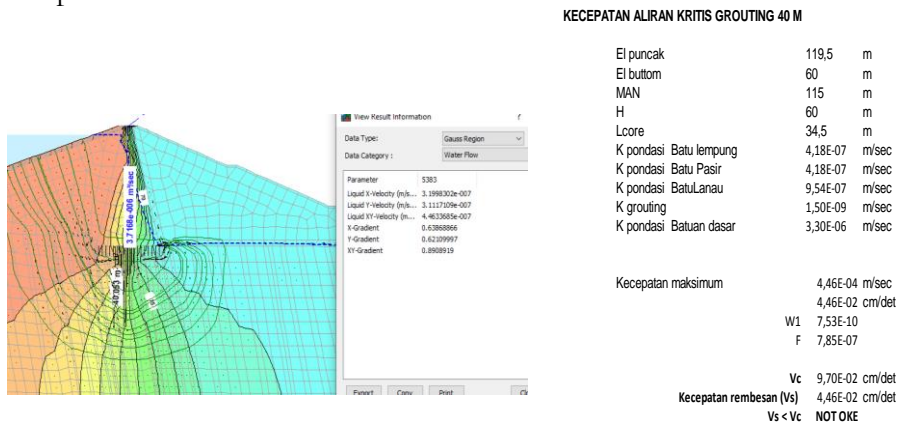




Gambar 10. Hasil running sigma-W dan seep-W

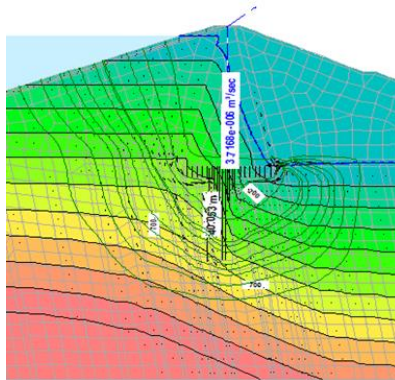
**Safety Factor Uplift =  $\gamma$  total stress / Pore Pressure  $\geq 2$**  ( Pendekatan pore pressure dari sigma lihat bawah) Angka keamanan uplift terjadi pada kaki hilir bendungan sebesar = 2,6 > 2 OK (= 200 / 75).

- 2. Kedalaman 40 m
  - d. Kecepatan aliran filtrasi



Gambar 11. Hasil running perhitungan kecepatan aliran kritis pada grouting kedalaman 40 m  
 Dari hasil running program Seep-W geostudio di disimpulkan bahwa kecepatan maksimum melebihi kecepatan aliran kritis, hal ini dapat mengakibatkan Piping dan besarnya debit rembesan yang terjadi.

- e. Rembesan



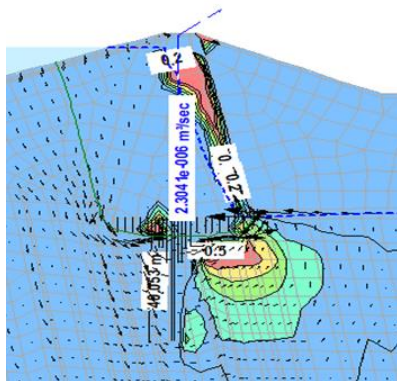
**REMBESAN GROUTING 40 M**

Debit rembesan (q) per meter ' =	3,72E-06 m3/det/m
	3,72E-03 l/det/m'
	2,23E-01 l/menit/m'
Luas Penampang rembesan bendungan (A) =	49042,37 m2
Tinggi muka air hingga sisi atas Cap (H) =	55 m'
Lebar efektif bendungan (B = A/H) =	891,68 m'
Debit rembesan =	3,314 l/det
=	198,85 l/menit
=	4772,44 l/day
	0,003314 m3/sec
	286,35 m3/day

Gambar 12. Hasil running perhitungan rembesan dengan grouting 40 m

Dari hasil running program Seep-W geostudio di dapatkan bahwa Debit rembesan melebihi 0,05 % tumpangan efektif waduk, hal ini dapat mengakibatkan Piping dan besarnya debit rembesan yang terjadi

f. Piping



**PIPING**

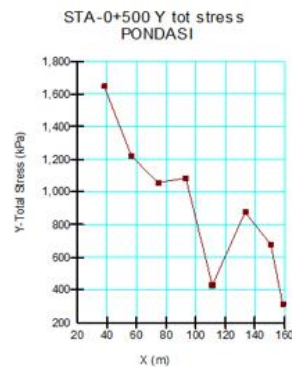
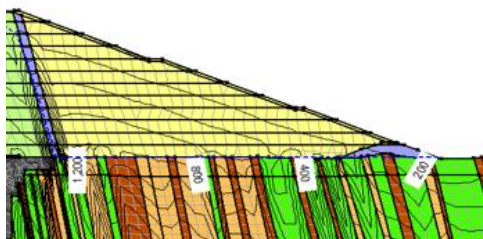
APLIKASI MENGGUNAKAN HIDROLIK GRADIENT

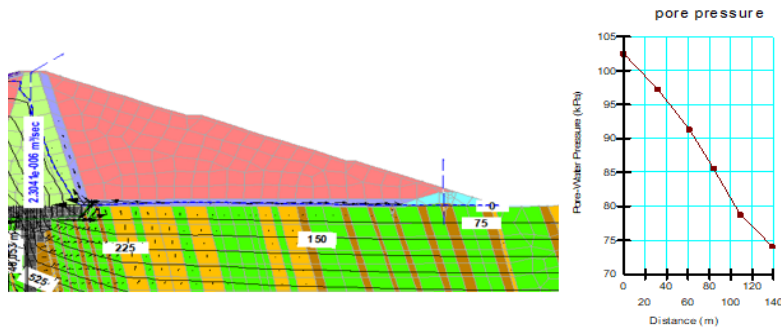
Gs =	2,651
e =	0,89
lc =	0,873545
ly =	0,45
Fk Tanpa filter > 4 =	1,941211 NOT OKE
FK dengan filter > 2 =	1,941211 NOT OKE

Gambar 13. Hasil gradient hidraulik untuk perhitungan piping dengan grouting 40 m

Dari hasil running program Seep-W geostudio di dapatkan besar gradient hidraulik yang jadi bahwa Faktor keamanan  $1,94 < 4$  (tidak memenuhi syarat).

g. Uplift

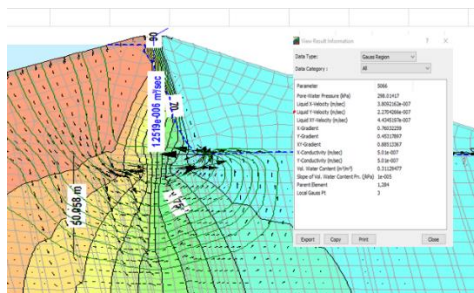




Gambar 14. Hasil running sigma-W dan seep-W

$SF \text{ Uplift} = \frac{\text{Y total stress}}{\text{Pore Pressure}} \geq 2$  ( Pendekatan pore pressure dari sigma lihat bawah) Angka keamanan uplift terjadi pada kaki hilir bendungan sebesar = 2,6 > 2 OK (= 200 / 75).

- 3. Kedalaman 50 m
  - a. Kecepatan aliran filtrasi



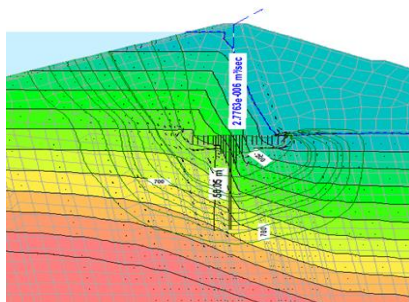
**KECEPATAN ALIRAN KRITIS GROUTING 50 M**

El puncak	119,5	m
El bottom	60	m
MAN	115	m
H	60	m
Lcore	34,5	m
K pondasi Batu lempung	4,18E-07	m/sec
K pondasi Batu Pasir	4,18E-07	m/sec
K pondasi Batu Lanau	9,54E-07	m/sec
K grouting	1,50E-09	m/sec
K pondasi Batuan dasar	3,30E-06	m/sec
Kecepatan maksimum	3,89E-07	m/sec
	3,89E-05	cm/det
W1	7,53E-10	
F	7,85E-07	
Kecepatan aliran kritis Vc	9,70E-02	cm/det
Kecepatan rembesan (Vs)	3,89E-05	cm/det
Vs < Vc	OK	

Gambar 15. Hasil running perhitungan kecepatan aliran kritis pada grouting kedalaman 50 m

Dari hasil running program Seep-W geostudio di disimpulkan bahwa kecepatan maksimum melebihi kecepatan aliran kritis, hal ini dapat mengakibatkan Piping dan besarnya debit rembesan yang terjadi.

- b. Rembesan



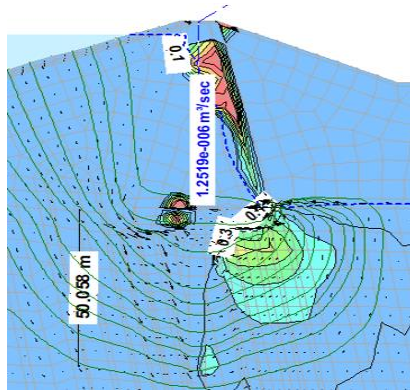
**REMBESAN GROUTING 50 M**

Debit rembesan (q) per meter '	=	2,78E-06	m³/det/m'
		2,78E-03	l/det/m'
		1,67E-01	l/menit/m'
Luas Penampang rembesan bendungan (A)	=	49042,37	m²
Tinggi muka air hingga sisi atas Cap (H)	=	55	m'
Lebar efektif bendungan (B = A/H)	=	891,68	m'
Debit rembesan	=	2,476	l/det
	=	148,53	l/menit
		3564,82	l/day
		0,002476	m³/det
		213,8892	m³/day

Gambar 16. Hasil running perhitungan rembesan dengan grouting 50 m

Dari hasil running program Seep-W geostudio di dapatkan bahwa Debit rembesan kurang dari 0,05 % tampungan efektif waduk , hal ini dapat mengakibatkan Piping dan besarnya debit rembesan yang terjadi

c. Piping



PIPING

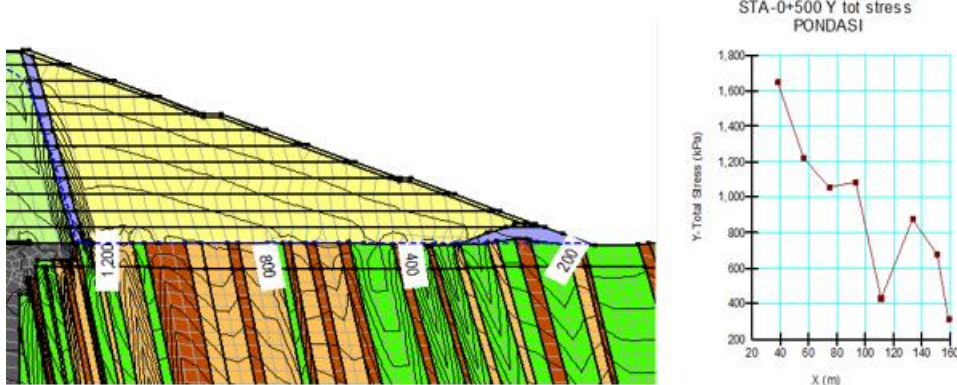
APLIKASI MENGGUNAKAN HIDROLIK GRADIENT

Gs	=	2,651
e	=	0,89
lc	=	0,873545
ly	=	0,2
Fk Tanpa filter > 4	=	4,367725 OK
Fk dengan filter > 2	=	4,367725 OK

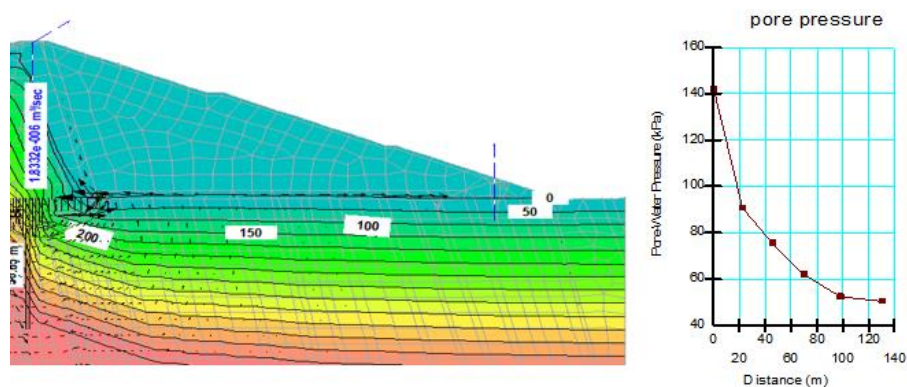
Gambar 17. Hasil gradient hidraulik untuk perhitungan piping dengan grouting 50 m

Dari hasil running program Seep-W geostudio di dapatkan besar gradient hidraulik yang jadi bahwa Faktor keamanan  $4,36 < 4$  (tidak memenuhi syarat).

d. Uplift



Gambar 18. Hasil running Sigma-W untuk perhitungan uplift dengan grouting 50 m



Gambar 19. Hasil running Seep-W untuk perhitungan uplift dengan grouting 50 m

$SF \text{ Uplift} = Y \text{ total stress} / \text{Pore Pressure} \geq 2$  ( Pendekatan pore pressure dari sigma lihat bawah) Angka keamanan uplift terjadi pada kaki bendungan sebesar  $= 4 > 2$  OK ( $= 200 / 50$ ).



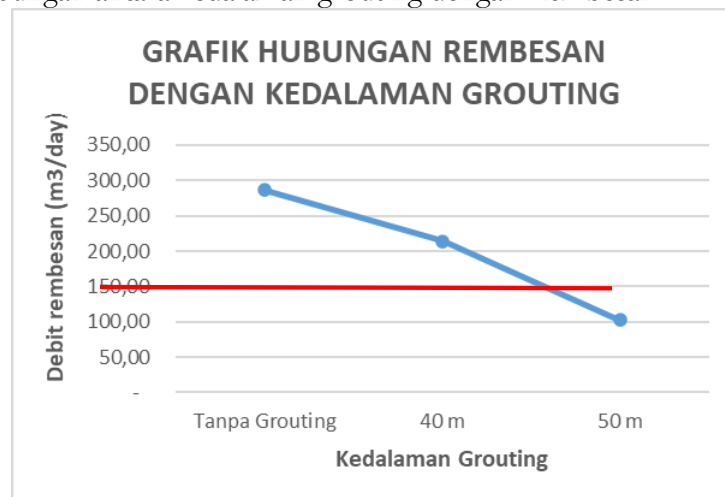
4. Berikut rekapitulasi perhitungan disajikan dalam sebuah grafik hubungan kedalaman grouting dengan Faktor keamanan bendungan yang di tinjau dari berbagai aspek.

a. Grafik hubungan antara kedalaman grouting dengan Kecepatan aliran kritis



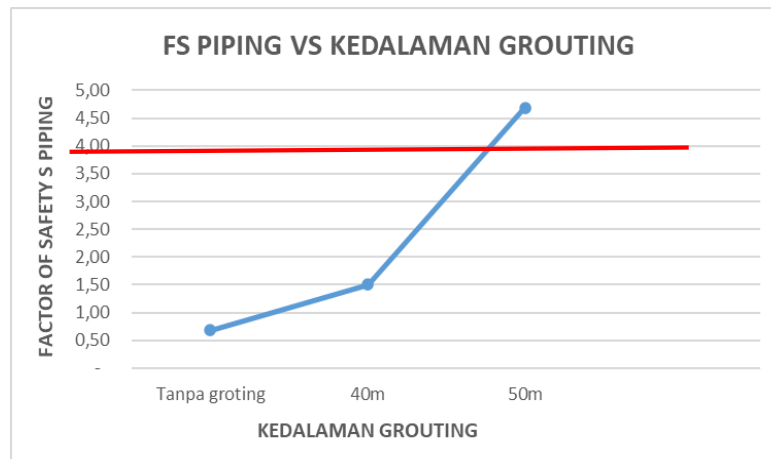
Gambar 20. Grafik hubungan kecepatan aliran kritis dengan kedalaman grouting

b. Grafik hubungan antara kedalaman grouting dengan Rembesan



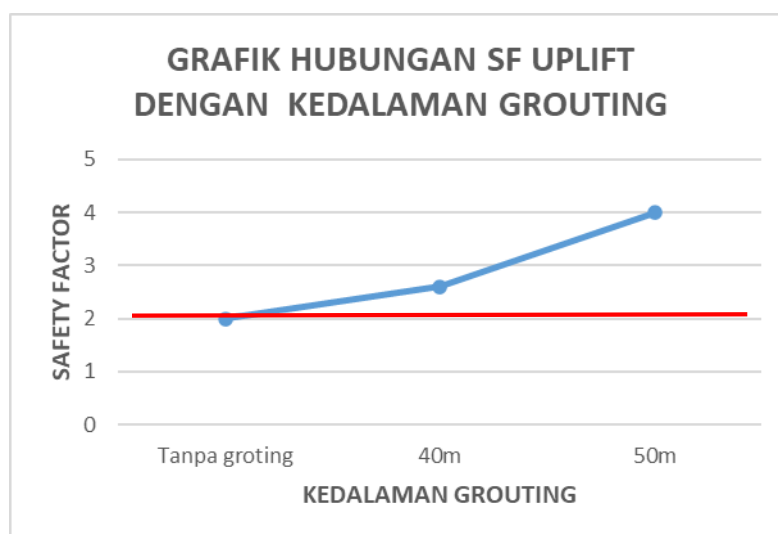
Gambar 21. Grafik hubungan Debit Rembesan dengan kedalaman grouting

c. Grafik hubungan antara kedalaman grouting dengan Piping



Gambar 22. Grafik hubungan Faktor keamanan Piping dengan kedalaman grouting

- d. Grafik hubungan antara kedalaman grouting dengan Uplift



Gambar 23. Grafik hubungan Faktor keamanan Uplift dengan kedalaman grouting

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis perhitungan, kedalaman grouting mempengaruhi faktor keamanan bendungan. Dalam analisis perhitungan di coba pada 3 kondisi yaitu tanpa menggunakan grouting, dengan grouting kedalaman 40 m dan kedalaman 50 m. Pada analisis perhitungan memperhatikan beberapa aspek keamanan bendungan di antaranya keamanan terhadap rembesan, kemanan terhadap piping, keamanan terhadap *uplift*. Percobaan pada kondisi tanpa menggunakan grouting dinyatakan tidak aman terhadap semua aspek keamanan bendungan. Kondisi grouting kedalaman 40 m memenuhi syarat untuk faktor keamanan terhadap *uplift*, namun untuk keamanan rembesan dan *piping* belum memenuhi syarat keamanan bendungan, sehingga direkomendasikan untuk menambah kedalaman grouting. Setelah dilakukan penambahan kedalaman menjadi 50 m di dapatkan hasil analisis memenuhi persyaratan keamanan terhadap rembesan, piping, dan uplift. Grouting dengan kedalaman 50 m mengacu pada elevasi pondasi yang terdalam. Pada pelaksanaan di lapangan kedalaman grouting disesuaikan dengan elevasi pondasi.





## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2016) *Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan*, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum (2005). *Pedoman Grouting untuk Bendungan*, Jakarta
- Departemen permukiman dan Prasarana Wilayah (2003), *Pedoman Kriteria Umum Desain Bendungan*, Jakarta.
- Fell Robin,(2014) *Geotechnical Engineering Of Dams*, London UK, CRC Press/Belkema
- S. Sosrodarsono dan K. Nakazawa (1987) , *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Soedibyo (2003.), *Teknik Bendungan*, Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Sosrodarsono Suyono, Kensaku Takeda. (1977). *Bendungan Type Urugan*, Jakarta Pradnya Paramita
- Sosrodarsono Suyono. (2016) *Bendungan Type Urugan*, Jakarta, Pradnya Paramita
- Supervisi Bendungan Jragung, *Justifikasi Teknis Pelaksanaan Grouting*, Semarang , 2022.