

**PENGARUH GROUTING TERHADAP STABILITAS BENDUNGAN**

**TUGAS AKHIR**

diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program  
Studi Teknik Sipil



**Disusun Oleh :**

**Yuli Siti Sadiyah**

**1800147**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN**

**UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**

**BANDUNG**

**2023**

# **PENGARUH GROUTING TERHADAP STABILITAS BENDUNGAN**

Oleh

Yuli Siti Sadih

Tugas Akhir yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil

© Yuli Siti Sadih 2023

Universitas Pendidikan Indonesia

Agustus 2023

Hak Cipta dilindungi undang-undang

Tugas Akhir ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,

dengan dicetak ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa izin dari penulis

Yuli Siti Sadih, 2023

**PENGARUH GROUTING TERHADAP STABILITAS BENDUNGAN**

Universitas Pendidikan Indonesia | [repository.upi.edu](https://repository.upi.edu) | [perpustakaan.upi.edu](https://perpustakaan.upi.edu)

**LEMBAR PENGESAHAN**

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH GROUTING TERHADAP STABILITAS BENDUNGAN**

**Disetujui dan disahkan oleh pembimbing:**

Pembimbing I



**Dr. Ir. Herwan Dermawan, S.T., M.T., IPM., ASEAN.Eng**

**NIP. 19800128 200812 1 001**

Pembimbing II



**Dr. Ir. Juang Akbardin, ST, MT, IPM,**

**Muhammad Riza H., ST., MT.**

**ASEAN.Eng**

**NIP. 19770307 200812 1 001**

Mengetahui,

Ketua Program Studi  
Teknik Sipil



**Dr. Ir. Juang Akbardin, ST, MT, IPM, ASEAN.Eng**

**NIP. 19770307 200812 1 001**

## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan lembar pernyataan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini dengan judul **“PENGARUH GROUTING TERHADAP STABILITAS BENDUNGAN”** beserta seluruh isinya adalah karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau tindakan plagiat dari sumber lain. Pengutipan materi maupun sumber kajian pendukung lainnya telah sesuai dengan cara-cara dan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko atau sanksi apabila dikemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap tugas akhir ini.

Bandung, Agustus 2023

Pembuat pernyataan

Yuli Siti Sadih

NIM.1800147

## PENGARUH GROUTING TERHADAP STABILITAS BENDUNGAN

Yuli Siti Sadiyah, Herwan Dermawan<sup>1</sup>, Muhammad Riza H<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan,

Universitas Pendidikan Indonesia

E-mail: [yulisisadiyah@upi.edu](mailto:yulisisadiyah@upi.edu)

### ABSTRAK

Kasus kegagalan bendungan yang disebabkan rembesan masih sering terjadi hal ini dapat menyebabkan terganggunya kestabilan bendungan. Pada beberapa kasus, kerusakan bendungan diperbaiki menggunakan grouting pada tubuh bendungan tetapi, disisi lain perbaikan ini dapat menimbulkan kerusakan lainnya yakni, rekahan hidrolis. Sehingga, untuk melihat pengaruh grouting yang sesungguhnya dilakukan pemodelan grouting pada tubuh bendungan menggunakan Finite Element Method Plaxis 3D terhadap rembesan, stabilitas bendungan, dan potensi *hydraulic fracture*. Bendungan yang digunakan merupakan salah satu penelitian terdahulu yang ditulis oleh Priyanka Talukdar dan Arindam Dey, grouting divariasikan terhadap posisi dan jarak yaitu pada tengah, hulu, hilir bendungan dengan jarak 1 m, 1.5 m, serta 2 m. Hasil pemodelan menunjukkan pengurangan debit rembesan yang tidak terlalu berbeda jauh pada grouting dengan variasi posisi sedangkan, grouting dengan variasi jarak menunjukkan pengurangan yang signifikan, grouting juga menyebabkan peningkatan deformasi pada tiga dari sembilan hasil pemodelan. Selain itu, nilai faktor keamanan mengalami peningkatan terlebih pada grouting tengah bendungan. Hasil lain yang didapatkan berupa, hampir keseluruhan hasil menunjukkan peningkatan potensi *hydraulic fracture* dengan grouting posisi tengah bendungan menyebabkan peningkatan potensi *hydraulic fracture* yang cukup kecil diantara ketiga variasi grouting posisi lainnya. Sementara itu, pengurangan potensi *hydraulic fracture* dapat terjadi saat grouting berada di hulu bendungan meski tidak terlalu signifikan. Dan terakhir, peningkatan potensi *hydraulic fracture* pada grouting dengan jarak 1.5 m, serta 2 m lebih sedikit dibandingkan grouting dengan jarak 1 m kecuali, grouting pada hulu bendungan.

**Kata kunci** : Bendungan, Grouting, Plaxis 3D, Rembesan, Stabilitas bendungan, Potensi *hydraulic fracture*

<sup>1</sup>Dosen Penanggung Jawab Kesatu

<sup>2</sup>Dosen Penanggung Jawab Kedua

## EFFECT OF GROUTING ON DAM STABILITY

Yuli Siti Sadiyah, Herwan Dermawan<sup>1</sup>, Muhammad Riza H<sup>2</sup>

Major of Civil Engineering Bachelor, Faculty of Technology and Vocational  
Education, Indonesia University of Education

E-mail: [yulitisadiyah@upi.edu](mailto:yulitisadiyah@upi.edu)

### ABSTRACT

Cases of dam failure caused by seepage are still common, this can cause disruption the stability of the dam. In some cases, dam failure is repaired using grouting on body of dam but, on the other hand this repair can cause other damage, namely hydraulic fractures. So to see the actual effect of grouting, modeling grouting on body of dam is carried out using Finite Element Method Plaxis 3D on seepage, dam stability, and potential hydraulic fracture. The dam used is one of the previous studies written by Priyanka Talukdar and Arindam Dey, grouting varies in position and distance, in the middle, upstream, downstream of dam with a distance of 1 m, 1.5 m and 2 m. The modeling results show decrease seepage discharge were not too different for grouting with variations in position whereas, for grouting with variations in position distance show significant result, grouting also caused increased deformation in three of nine modeling results. In addition, the value of safety factor has increased, especially when grouting in the middle of dam. Other results were obtained in the form that almost all of the results showed an increase in potential hydraulic fracture with grouting in the middle position of dam causing a relatively small increase in potential hydraulic fracture among the three variations of grouting in other positions. Meanwhile, decrease of hydraulic fracturing potential can occur when the grouting is upstream, although not too significant. And lastly, increase of potential hydraulic fracture in grouting with a spacing 1.5 m, and 2 m is less than grouting with a spacing 1 m except for grouting upstream of dam.

**Keywords** : Dam, Grouting, Plaxis 3D, Seepage, Dam stability, Hydraulic fracture potential

<sup>1</sup>First responsible lecturer

<sup>2</sup>Second responsible lecturer

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Pengaruh Grouting Terhadap Stabilitas Bendungan” tepat pada waktunya

Tugas akhir ini disusun sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Indonesia.

Dalam proses penyusunan tugas ini, penulis banyak mendapatkan bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu, yaitu:

1. Dr. Herwan Dermawan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Muhammad Riza H, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran dan arahan kepada penulis.
3. Dr. Ir. Juang Akbardin, ST, MT, IPM, ASEAN.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Pendidikan Indonesia.
4. Kedua orang tua yaitu Bapak Tarya dan Ibu Euis. Tidak lupa Kakak, dan adik yang sangat saya cintai yaitu Teh Pipit, Adik Opik, Adik Nunu serta seluruh keluarga yang telah mendukung dalam berbagai aspek baik secara moril, materi maupun do'a.
5. Nero yang telah kebersamai penulis sampai saat ini dan juga sampai akhir hayat.
6. Kawan-kawan Pejuang Geotek yang telah menemani penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Rekan-rekan Prodi Teknik Sipil Angkatan 2018
8. Semua Civitas Akademika FPTK UPI atas dukungan dan bantuannya.

9. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa tugas ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kepada pembaca untuk memberikan masukan-masukan yang bersifat membangun untuk kesempurnaan tugas ini. Penulis berharap agar tugas ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Bandung, Agustus 2023

Yuli Siti Sadih



## DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR GRAFIK .....	xix
DAFTAR TABEL .....	xxii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	2
1.3 Pembatasan Masalah.....	2
1.4 Rumusan Masalah.....	3
1.5 Tujuan.....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Bendungan .....	5
2.2 Grouting Pada Tubuh Bendungan .....	10
2.2.1 Penyebab Kerusakan .....	13
2.2.2 Jenis Grouting .....	14
2.2.3 Metode Pelaksanaan .....	15
2.2.4 Pengecekan Sebelum Grouting.....	17
2.2.5 Desain Grouting.....	17
2.2.6 Validasi Grouting .....	21
2.2.7 Efek Grouting .....	22
2.3 Metode Analisis.....	24
2.4 Rembesan.....	25
2.5 Tegangan dan Tekanan Air Pori Tanah.....	27
2.6 <i>Hydraulic fracturing</i> .....	30
2.7 Stabilitas Lereng .....	32
2.7.1. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng .....	32
2.7.2. Deformasi .....	34
2.7.3. Jenis Bidang Gelincir .....	35

2.7.4. Metoda Analisis Stabilitas Lereng.....	36
2.7.5. Metode <i>Reduction Phi-C</i> .....	37
2.8 Kriteria Plaxis 3D .....	39
2.8.1. Model Material .....	39
2.8.2. <i>Drainage type</i> .....	40
2.8.3. Parameter .....	42
2.8.4. <i>Groundwater Model</i> .....	44
2.8.5. <i>Flow Parameter</i> .....	45
2.8.6. Tipe Kalkulasi .....	46
2.9 Koefisien Determinasi .....	46
2.10 Penelitian Terdahulu.....	48
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>58</b>
3. 1 Waktu Penelitian.....	58
3. 2 Metode Penelitian .....	58
3. 3 Populasi dan Variabel Penelitian .....	59
3. 4 Data dan Sumber Data.....	59
3. 5 Instrumen Penelitian .....	60
3. 6 Teknik Analisis.....	61
3. 7 Kerangka Berpikir .....	63
3. 8 Diagram Alir.....	64
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>65</b>
4.1 Umum .....	65
4.2 Parameter Desain.....	68
4.2.1 Parameter Bendungan.....	68
4.2.2 Parameter Grouting .....	70
4.3 Prosedur Pemodelan .....	71
4.4 Hasil dan Pembahasan .....	87
4.4.1 Grouting Pada Tengah Bendungan.....	87
4.4.1.1 Grouting Jarak 1 m.....	87
4.4.1.2 Grouting Jarak 1.5 m.....	105
4.4.1.3 Grouting Jarak 2 m.....	120
4.4.2 Grouting Pada Hulu Bendungan.....	136
4.4.2.1 Grouting Jarak 1 m.....	136
4.4.2.2 Grouting Jarak 1.5 m.....	150

4.4.2.3 Grouting Jarak 2 m.....	161
4.4.3 Grouting Pada Hilir Bendungan .....	173
4.4.3.1 Grouting Jarak 1 m.....	173
4.4.3.2 Grouting Jarak 1.5 m.....	187
4.4.3.3 Grouting Jarak 2 m.....	200
4.4.4 Koefisien Determinasi .....	212
4.4.5 Rekapitulasi .....	234
<b>BAB V KESIMPULAN, IMPLIKASI, REKOMENDASI .....</b>	<b>240</b>
5.1 Kesimpulan.....	240
5.2 Implikasi .....	241
5.3 Rekomendasi .....	241
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Jenis-jenis bendungan Sumber : Diklat Teknis Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar.....	6
Gambar 2.2. Klasifikasi umum bendungan urugan.....	6
Gambar 2.3. Contoh bendungan homogen dengan drainase kaki Sumber : Soediby, 2003.....	7
Gambar 2.4. Contoh bendungan urugan batu berlapis – lapis Sumber : Soediby, 2003.....	8
Gambar 2.5. Contoh bendungan urugan batu dengan lapisan kedap air di muka Sumber : Soediby, 2003 .....	8
Gambar 2.6. Ilustrasi grouting .....	12
Gambar 2.7. Skema grouting .....	18
Gambar 2.8. Ilustrasi urutan grouting .....	20
Gambar 2.9. Definisi Penggunaan FEM pada Analisis Stabilitas Lereng (Sumber: Abramson et al., 2001).....	24
Gambar 2.10. Kondisi tegangan di sekitar retakan bendungan.....	30
Gambar 2.11. Ilustrasi kemungkinan topologi retak hidrolik .....	32
Sumber : Wang, 2019.....	32
Gambar 2.12 Jenis bidang gelincir a. <i>Base Slide</i> , b. <i>Toe Slide</i> , c. <i>Slope Slide</i> .....	35
Gambar 2.13. Titik tengah longsor ( <i>Midpoint Slide</i> ) .....	35
Gambar 2.14. Keruntuhan Mohr-Coulomb Sumber : Dyson & Tolooiyan, 2018	38
Gambar 2.15. Kriteria Mohr-Coulomb (United Stated Society on Dams (USSD), 2007) .....	39
Gambar 2.16. Groundwater parameter untuk Hypres (Wösten, Lilly, Nemes & Bas, 1999)(Bentley, 2021). .....	45
Gambar 4.1. Geometri bendungan .....	66
Gambar 4.2. Boundary condition dan geometri Bendungan Karolinka.....	67
Gambar 4.3. Geometri Grouting .....	67
Gambar 4.4. Kotak dialog quick select Plaxis 3D .....	71
Gambar 4.5. <i>Project properties</i> Plaxis 3D.....	72
Gambar 4.6. Pengaturan <i>project properties</i> .....	72
Gambar 4.7. Kedalaman muka air tanah.....	73
Gambar 4.8. Set material subsoil .....	73
Gambar 4.9. Penggambaran geometri bendungan menggunakan Autocad .....	74
Gambar 4.10. <i>Import</i> geometri bendungan .....	74

Gambar 4.11. Hasil <i>import</i> geometri bendungan .....	75
Gambar 4.12. <i>Extrude</i> geometri bendungan .....	75
Gambar 4.13. Hasil <i>extrude</i> geometri bendungan.....	75
Gambar 4.14. Hasil set material bendungan .....	76
Gambar 4.15. Penggambaran <i>surface</i> .....	76
Gambar 4.16. <i>Extrude surface</i> .....	77
Gambar 4.17. Penggambaran <i>surface groundwater flow boundary condition</i> .....	77
Gambar 4.18. Hasil penggambaran <i>surface</i> .....	78
Gambar 4.19. Skema grouting pada Autocad .....	78
Gambar 4.20. Penggambaran grouting pada Plaxis 3D .....	79
Gambar 4.21. Geometri grouting hasil <i>extrude</i> .....	79
Gambar 4.22. Pengaturan material grouting .....	80
Gambar 4.23. Pengaturan mesh .....	80
Gambar 4.24. Hasil mesh.....	80
Gambar 4.25. Koordinat <i>water level</i> .....	81
Gambar 4.26. Penggambaran <i>water level</i> .....	81
Gambar 4.27. Kondisi batas pada <i>groundwaterflow</i> .....	82
Gambar 4.28. Pengaturan phase pada <i>initial phase</i> .....	82
Gambar 4.29. Pengaturan <i>phase</i> pada kondisi eksisting .....	83
Gambar 4.30. Pengaturan <i>phase</i> pada kondisi eksisting <i>safety phase</i> .....	84
Gambar 4.31. Jumlah <i>phase</i> pada pemodelan.....	84
Gambar 4.32. Pengaturan <i>surface</i> dan <i>interface</i> .....	85
Gambar 4.33. Set material geometri grouting menjadi inti bendungan pada kondisi eksisting .....	85
Gambar 4.34. Set material geometri grouting menjadi inti bendungan pada kondisi penambahan grouting .....	86
Gambar 4.35. Rembesan potongan A-A grouting tengah bendungan jarak 1 m kondisi eksisting.....	87
Gambar 4.36. Rembesan potongan A-A grouting tengah bendungan jarak 1 m kondisi penambahan grouting .....	87
Gambar 4.37. <i>Groundwater flow</i> grouting tengah bendungan jarak 1 m kondisi eksisting.....	88
Gambar 4.38. <i>Groundwater flow</i> grouting tengah bendungan jarak 1 m kondisi penambahan grouting .....	88

Gambar 4.39. Shading <i>total displacements</i> grouting tengah bendungan jarak 1 m kondisi eksisting.....	89
Gambar 4.40. Shading <i>total displacements</i> grouting tengah bendungan jarak 1 m kondisi penambahan grouting .....	89
Gambar 4.41. Bidang gelincir grouting tengah bendungan jarak 1 m kondisi eksisting.....	91
Gambar 4.42. Bidang gelincir grouting tengah bendungan jarak 1 m kondisi penambahan grouting .....	91
Gambar 4.43. Ilustrasi pengamatan potensi retak hidrolik a) Sisi depan b) Sisi tengah c) Sisi belakang.....	95
Gambar 4.44. Titik penambahan potensi <i>hydraulic fracture</i> pada grouting tengah jarak 1 m.....	101
Gambar 4.45. Ilustrasi penyajian bagian bendungan yang mengalami potensi <i>hydraulic fracture</i> .....	101
Gambar 4.46. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting tengah bendungan jarak 1 m a. Sisi depan b. Sisi tengah c. Sisi belakang .....	102
Gambar 4.47. Tekanan air pori grouting tengah bendungan jarak 1 m saat kondisi eksisting dan kondisi penambahan grouting .....	103
Gambar 4.48. Rembesan potongan A-A grouting tengah bendungan jarak 1.5 m kondisi eksisting.....	105
Gambar 4.49. Rembesan potongan A-A grouting tengah bendungan jarak 1.5 m kondisi penambahan grouting .....	105
Gambar 4.50. <i>Groundwater flow</i> grouting tengah bendungan jarak 1.5 m kondisi eksisting.....	106
Gambar 4.51. <i>Groundwater flow</i> grouting tengah bendungan jarak 1.5 m kondisi penambahan grouting .....	106
Gambar 4.52. Shading <i>total displacements</i> grouting tengah bendungan jarak 1.5 m kondisi eksisting.....	107
Gambar 4.53. Shading <i>total displacements</i> grouting tengah bendungan jarak 1.5 m kondisi penambahan grouting .....	107
Gambar 4.54. Bidang gelincir grouting tengah bendungan jarak 1.5 m kondisi eksisting.....	108
Gambar 4.55. Bidang gelincir grouting tengah bendungan jarak 1.5 m kondisi penambahan grouting .....	108
Gambar 4.56. Ilustrasi pengamatan potensi retak hidrolik a) Sisi depan b) Sisi tengah c) Sisi belakang.....	111
Gambar 4.57. Titik penambahan potensi <i>hydraulic fracture</i> pada grouting tengah jarak 1.5 m.....	117

Gambar 4.58. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting tengah bendungan jarak 1.5 m a. Sisi depan b. Sisi tengah c. Sisi belakang .....	118
Gambar 4.59. Tekanan air pori grouting tengah bendungan jarak 1.5 m saat kondisi eksisting dan kondisi penambahan grouting .....	119
Gambar 4.60. Rembesan potongan A-A grouting tengah bendungan jarak 2 m kondisi eksisting.....	120
Gambar 4.61. Rembesan potongan A-A grouting tengah bendungan jarak 2 m kondisi penambahan grouting .....	121
Gambar 4.62. <i>Groundwater flow</i> grouting tengah bendungan jarak 2 m kondisi eksisting.....	121
Gambar 4.63. <i>Groundwater flow</i> grouting tengah bendungan jarak 2 m kondisi penambahan grouting .....	121
Gambar 4.64. Shading <i>total displacements</i> grouting tengah bendungan jarak 2 m kondisi eksisting.....	123
Gambar 4.65. Shading <i>total displacements</i> grouting tengah bendungan jarak 2 m kondisi penambahan grouting .....	123
Gambar 4.66. Bidang gelincir grouting tengah bendungan jarak 2 m kondisi eksisting.....	124
Gambar 4.67. Bidang gelincir grouting tengah bendungan jarak 2 m kondisi penambahan grouting .....	124
Gambar 4.68. Ilustrasi pengamatan potensi retak hidrolik a) Sisi depan b) Sisi tengah c) Sisi belakang.....	127
Gambar 4.69. Titik penambahan potensi <i>hydraulic fracture</i> pada grouting tengah jarak 2 m.....	133
Gambar 4.70. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting tengah bendungan jarak 2 m a. Sisi depan b. Sisi tengah c. Sisi belakang .....	134
Gambar 4.71. Tekanan air pori grouting tengah bendungan jarak 2 m saat kondisi eksisting dan kondisi penambahan grouting .....	135
Gambar 4.72. Rembesan potongan A-A grouting hulu bendungan jarak 1 m kondisi eksisting.....	136
Gambar 4.73. Rembesan potongan A-A grouting hulu bendungan jarak 1 m kondisi penambahan grouting .....	136
Gambar 4.74. <i>Groundwater flow</i> grouting hulu bendungan jarak 1 m kondisi eksisting.....	137
Gambar 4.75. <i>Groundwater flow</i> grouting hulu bendungan jarak 1 m kondisi penambahan grouting .....	137
Gambar 4.76. Shading <i>total displacements</i> grouting hulu bendungan jarak 1 m kondisi eksisting.....	138

Gambar 4.77. Shading <i>total displacements</i> grouting hulu bendungan jarak 1 m kondisi penambahan grouting .....	138
Gambar 4.78. Bidang gelincir grouting hulu bendungan jarak 1 m kondisi eksisting .....	139
Gambar 4.79. Bidang gelincir grouting hulu bendungan jarak 1 m kondisi penambahan grouting .....	139
Gambar 4.81. Titik pengurangan potensi <i>hydraulic fracture</i> pada grouting hulu bendungan jarak 1 m .....	147
Gambar 4.80. Titik penambahan potensi <i>hydraulic fracture</i> pada grouting hulu bendungan jarak 1 m .....	147
Gambar 4.. Potensi <i>hydraulic fracture</i> a. Sisi depan b. Sisi tengah c. Sisi belakang .....	148
Gambar 4.82. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hulu bendungan jarak 1 m a. Sisi depan b. Sisi tengah c. Sisi belakang .....	148
Gambar 4.83. Tekanan air pori grouting hulu bendungan jarak 1 m saat kondisi eksisting dan kondisi penambahan grouting .....	149
Gambar 4.84. Rembesan potongan A-A grouting hulu bendungan jarak 1.5 m kondisi eksisting.....	150
Gambar 4.85. Rembesan potongan A-A grouting hulu bendungan jarak 1.5 m kondisi penambahan grouting .....	150
Gambar 4.86. <i>Groundwater flow</i> grouting hulu bendungan jarak 1.5 m kondisi eksisting.....	151
Gambar 4.87. <i>Groundwater flow</i> grouting hulu bendungan jarak 1.5 m kondisi penambahan grouting .....	151
Gambar 4.88. Shading <i>total displacements</i> grouting hulu bendungan jarak 1.5 m kondisi eksisting.....	152
Gambar 4.89. Shading <i>total displacements</i> grouting hulu bendungan jarak 1.5 m kondisi penambahan grouting .....	152
Gambar 4.90. Bidang gelincir grouting hulu bendungan jarak 1.5 m kondisi eksisting.....	153
Gambar 4.91. Bidang gelincir grouting hulu bendungan jarak 1.5 m kondisi penambahan grouting .....	153
Gambar 4.92. Titik penambahan potensi <i>hydraulic fracture</i> pada grouting hulu bendungan jarak 1.5 m .....	159
Gambar 4.93. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hulu bendungan jarak 1.5 m a. Sisi depan b. Sisi tengah c. Sisi belakang .....	160
Gambar 4.94. Tekanan air pori grouting hulu bendungan jarak 1.5 m saat kondisi eksisting dan kondisi penambahan grouting .....	161



Gambar 4.95. Rembesan potongan A-A grouting hulu bendungan jarak 2 m kondisi eksisting.....	161
Gambar 4.96. Rembesan potongan A-A grouting hulu bendungan jarak 2 m kondisi penambahan grouting .....	162
Gambar 4.97. <i>Groundwater flow</i> grouting hulu bendungan jarak 2 m kondisi eksisting.....	162
Gambar 4.98. <i>Groundwater flow</i> grouting hulu bendungan jarak 2 m kondisi penambahan grouting .....	162
Gambar 4.99. Shading <i>total displacements</i> grouting hulu bendungan jarak 2 m kondisi eksisting.....	163
Gambar 4.100. Shading <i>total displacements</i> grouting hulu bendungan jarak 2 m kondisi penambahan grouting .....	164
Gambar 4.101. Bidang gelincir grouting hulu bendungan jarak 2 m kondisi eksisting .....	164
Gambar 4.102. Bidang gelincir grouting hulu bendungan jarak 2 m kondisi penambahan grouting .....	165
Gambar 4.103. Titik pengurangan potensi <i>hydraulic fracture</i> pada grouting hulu bendungan jarak 2 m .....	170
Gambar 4.. Potensi <i>hydraulic fracture</i> a. Sisi depan b. Sisi tengah c. Sisi belakang .....	170
Gambar 4.104. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hulu bendungan jarak 2 m a. Sisi depan b. Sisi tengah c. Sisi belakang .....	171
Gambar 4.105. Tekanan air pori grouting hulu bendungan jarak 2 m saat kondisi eksisting dan kondisi penambahan grouting .....	172
Gambar 4.106. Rembesan potongan A-A grouting hilir bendungan jarak 1 m kondisi eksisting.....	173
Gambar 4.107. Rembesan potongan A-A grouting hilir bendungan jarak 1 m kondisi penambahan grouting .....	173
Gambar 4.108. <i>Groundwater flow</i> grouting hilir bendungan jarak 1 m kondisi eksisting.....	174
Gambar 4.109. <i>Groundwater flow</i> grouting hilir bendungan jarak 1 m kondisi penambahan grouting .....	174
Gambar 4.110. Shading <i>total displacements</i> grouting hilir bendungan jarak 1 m kondisi eksisting.....	175
Gambar 4.111. Shading <i>total displacements</i> grouting hilir bendungan jarak 1 m kondisi penambahan grouting .....	175
Gambar 4.112. Bidang gelincir grouting hilir bendungan jarak 1 m kondisi eksisting .....	176

Gambar 4.113. Bidang gelincir grouting hilir bendungan jarak 1 m kondisi penambahan grouting .....	176
Gambar 4.. Potensi <i>hydraulic fracture</i> a. Sisi depan b. Sisi tengah c. Sisi belakang .....	184
Gambar 4.114. Titik penambahan potensi <i>hydraulic fracture</i> pada grouting hilir jarak 1 m dari kanan dan kiri bendungan .....	184
Gambar 4.115. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hilir bendungan jarak 1 m a. Sisi depan b. Sisi tengah c. Sisi belakang .....	185
Gambar 4.116. Tekanan air pori grouting hilir bendungan jarak 1 m saat kondisi eksisting dan kondisi penambahan grouting .....	186
Gambar 4.117. Rembesan potongan A-A grouting hilir bendungan jarak 1.5 m kondisi eksisting.....	187
Gambar 4.118. Rembesan potongan A-A grouting hilir bendungan jarak 1.5 m kondisi penambahan grouting .....	187
Gambar 4.119. <i>Groundwater flow</i> grouting hilir bendungan jarak 1.5 m kondisi eksisting.....	188
Gambar 4.120. <i>Groundwater flow</i> grouting hilir bendungan jarak 1.5 m kondisi penambahan grouting .....	188
Gambar 4.121. Shading <i>total displacements</i> grouting hilir bendungan jarak 1.5 m kondisi eksisting.....	189
Gambar 4.122. Shading <i>total displacements</i> grouting hilir bendungan jarak 1.5 m kondisi penambahan grouting .....	189
Gambar 4.123. Bidang gelincir grouting hilir bendungan jarak 1.5 m kondisi eksisting.....	190
Gambar 4.124. Bidang gelincir grouting hilir bendungan jarak 1.5 m kondisi penambahan grouting .....	190
Deformasi pada bendungan muncul.....	190
Gambar 4.125. Titik penambahan potensi <i>hydraulic fracture</i> pada grouting hilir bendungan jarak 1.5 m .....	197
Gambar 4.126. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hilir bendungan jarak 1.5 m a. Sisi depan b. Sisi tengah c. Sisi belakang .....	198
Gambar 4.127. Tekanan air pori grouting hilir bendungan jarak 1.5 m saat kondisi eksisting dan kondisi penambahan grouting .....	199
Gambar 4.128. Rembesan potongan A-A grouting hilir bendungan jarak 2 m kondisi eksisting.....	200
Gambar 4.129. Rembesan potongan A-A grouting hilir bendungan jarak 2 m kondisi penambahan grouting .....	200

Gambar 4.130. <i>Groundwater flow</i> grouting hilir bendungan jarak 2 m kondisi eksisting.....	201
Gambar 4.131. <i>Groundwater flow</i> grouting hilir bendungan jarak 2 m kondisi penambahan grouting .....	201
Gambar 4.132. Shading <i>total displacements</i> grouting hilir bendungan jarak 2 m kondisi eksisting.....	202
Gambar 4.133. Shading <i>total displacements</i> grouting hilir bendungan jarak 2 m kondisi penambahan grouting .....	202
Gambar 4.134. Bidang gelincir grouting hilir bendungan jarak 2 m kondisi eksisting .....	203
Gambar 4.135. Bidang gelincir grouting hilir bendungan jarak 2 m kondisi penambahan grouting .....	203
Gambar 4.136. Titik penambahan potensi <i>hydraulic fracture</i> pada grouting hilir bendungan jarak 2 m kanan dan kiri bendungan.....	210
Gambar 4.. Potensi <i>hydraulic fracture</i> a. Sisi depan b. Sisi tengah c. Sisi belakang .....	210
Gambar 4.137. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hilir bendungan jarak 2 m a. Sisi depan b. Sisi tengah c. Sisi belakang .....	211
Gambar 4.138. Tekanan air pori grouting hilir bendungan jarak 2 m saat kondisi eksisting dan kondisi penambahan grouting .....	212

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. <i>Volumetric water content function</i> .....	69
Grafik 4.2. $\Sigma M_{sf}$ vs $ u $ grouting tengah bendungan jarak 1 m.....	92
Grafik 4.3. <i>Factor safety vs cohesion</i> setelah grouting pada jurnal Grouting Design For Slope Stability of Kedung Uling Earthfill Dam (Najib et al., 2018).....	93
Grafik 4.6. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting tengah bendungan jarak 1 m sisi belakang .....	100
Grafik 4.5. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting tengah bendungan jarak 1 m sisi tengah .....	100
Grafik 4.4. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting tengah bendungan jarak 1 m sisi depan .....	100
Grafik 4.7. $\Sigma M_{sf}$ vs $ u $ grouting tengah bendungan jarak 1.5 m.....	109
Grafik 4.10. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting tengah bendungan jarak 1.5 m sisi belakang .....	116
Grafik 4.9. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting tengah bendungan jarak 1.5 m sisi tengah .....	116
Grafik 4.8. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting tengah bendungan jarak 1.5 m sisi depan .....	116
Grafik 4.11. Reservoir Water Elevation vs Seepage Quantity sebelum dan sesudah perbaikan grouting jurnal (Chun et al., 2006).....	122
Grafik 4.12. $\Sigma M_{sf}$ vs $ u $ grouting tengah bendungan jarak 2 m .....	125
Grafik 4.15. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting tengah bendungan jarak 2 m sisi belakang .....	132
Grafik 4.14. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting tengah bendungan jarak 2 m sisi tengah .....	132
Grafik 4.13. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting tengah bendungan jarak 2 m sisi depan .....	132
Grafik 4.16. $\Sigma M_{sf}$ vs $ u $ grouting hulu bendungan jarak 1 m .....	140
Grafik 4.19. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting hulu bendungan jarak 1 m sisi belakang .....	146
Grafik 4.18. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting hulu bendungan jarak 1 m sisi tengah	146
Grafik 4.17. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting hulu bendungan jarak 1 m sisi depan	146
Grafik 4.20. $\Sigma M_{sf}$ vs $ u $ grouting hulu bendungan jarak 1.5 m .....	154
Grafik 4.23. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting hulu bendungan jarak 1.5 m sisi belakang .....	158
Grafik 4.22. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting hulu bendungan jarak 1.5 m sisi tengah .....	158

Grafik 4.21. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting hulu bendungan jarak 1.5 m sisi depan .....	158
Grafik 4.24. $\Sigma Msf$ vs $ u $ grouting hulu bendungan jarak 2 m .....	165
Grafik 4.27. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting hulu bendungan jarak 2 m sisi belakang .....	169
Grafik 4.26. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting hulu bendungan jarak 2 m sisi tengah	169
Grafik 4.25. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting hulu bendungan jarak 2 m sisi depan	169
Grafik 4.28. $\Sigma Msf$ vs $ u $ grouting hilir bendungan jarak 1 m .....	177
Grafik 4.31. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting hilir bendungan jarak 1 m sisi belakang .....	183
Grafik 4.30. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting hilir bendungan jarak 1 m sisi tengah	183
Grafik 4.29. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting hilir bendungan jarak 1 m sisi depan	183
Grafik 4.32. $\Sigma Msf$ vs $ u $ grouting hilir bendungan jarak 1.5 m .....	191
Grafik 4.35. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting hilir bendungan jarak 1.5 m sisi belakang .....	196
Grafik 4.34. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting hilir bendungan jarak 1.5 m sisi tengah .....	196
Grafik 4.33. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting hilir bendungan jarak 1.5 m sisi depan .....	196
Grafik 4.36. $\Sigma Msf$ vs $ u $ grouting hilir bendungan jarak 2 m .....	204
Grafik 4.39. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting hilir bendungan jarak 2 m sisi belakang .....	209
Grafik 4.38. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting hilir bendungan jarak 2 m sisi tengah	209
Grafik 4.37. Elevasi vs $\sigma'/p_{active}$ grouting hilir bendungan jarak 2 m sisi depan	209
Grafik 4.40. Grafik heterokedastisitas rembesan posisi tengah .....	213
Grafik 4.41. Grafik heterokedastisitas rembesan posisi hulu .....	214
Grafik 4.42. Grafik heterokedastisitas rembesan posisi hilir .....	215
Grafik 4.43. Grafik heterokedastisitas rembesan jarak 1 m .....	217
Grafik 4.44. Grafik heterokedastisitas rembesan jarak 1.5 m .....	218
Grafik 4.45. Grafik heterokedastisitas rembesan jarak 2 m .....	219
Grafik 4.46. Grafik heterokedastisitas deformasi posisi tengah .....	220
Grafik 4.47. Grafik heterokedastisitas msf posisi tengah .....	222
Grafik 4.48. Grafik heterokedastisitas deformasi posisi hulu .....	223
Grafik 4.49. Grafik heterokedastisitas msf posisi hulu .....	224
Grafik 4.50. Grafik heterokedastisitas deformasi posisi hilir .....	225

Grafik 4.51. Grafik heterokedastisitas msf posisi hilir .....	227
Grafik 4.52. Grafik heterokedastisitas deformasi jarak 1 m .....	228
Grafik 4.53. Grafik heterokedastisitas msf jarak 1 m .....	229
Grafik 4.54. Grafik heterokedastisitas deformasi jarak 1.5 m .....	230
Grafik 4.55. Grafik heterokedastisitas msf jarak 1.5 m .....	231
Grafik 4.56. Grafik heterokedastisitas deformasi jarak 2 m .....	233
Grafik 4.57. Grafik heterokedastisitas msf jarak 2 m .....	234

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kemungkinan pelaksanaan sementasi dari atas permukaan timbunan	23
Tabel 2.2. <i>Shear Strength, Pore Pressure, and Unit Weights for Stability Analysis</i> (after Duncan, 1992)	41
Tabel 2.3. Berat isi tanah jenuh	43
Tabel 2.4. $\mu$	44
Tabel 2.5. Penelitian Terdahulu	49
Tabel 3.1. Waktu penelitian	58
Tabel 3.2. Instrumen penelitian	60
Tabel 4.1. Penelitian terdahulu mengenai bendungan yang mengalami rembesan	70
Tabel 4.2. Parameter grouting	71
Tabel 4.3. Hasil penelitian jurnal <i>Experimental Study on Grouting Effect and Mechanical Properties of the Rockfill Materials Grouted with SCM</i> (Deng et al., 2020b)	90
Tabel 4.4. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting tengah bendungan jarak 1 m sisi depan	95
Tabel 4.5. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting tengah bendungan jarak 1 m sisi tengah	97
Tabel 4.6. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting tengah bendungan jarak 1 m sisi belakang	98
Tabel 4.7. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting tengah bendungan jarak 1.5 m sisi depan	111
Tabel 4.8. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting tengah bendungan jarak 1.5 m sisi tengah	113
Tabel 4.9. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting tengah bendungan jarak 1,5 m sisi belakang	114
Tabel 4.10. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting tengah bendungan jarak 2 m sisi depan	127
Tabel 4.11. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting tengah bendungan jarak 2 m sisi tengah	129
Tabel 4.12. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting tengah bendungan jarak 2 m sisi belakang	130
Tabel 4.13. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hulu bendungan jarak 1 m sisi depan	141
Tabel 4.14. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hulu bendungan jarak 1 m sisi tengah	142

Tabel 4.15. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hulu bendungan jarak 1 m sisi belakang .....	144
Tabel 4.16. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hulu bendungan jarak 1.5 m sisi depan .....	155
Tabel 4.17. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hulu bendungan jarak 1.5 m sisi tengah .....	156
Tabel 4.18. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hulu bendungan jarak 1.5 m sisi belakang .....	157
Tabel 4.19. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hulu bendungan jarak 2 m sisi depan .....	166
Tabel 4.20. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hulu bendungan jarak 2 m sisi tengah .....	167
Tabel 4.21. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hulu bendungan jarak 2 m sisi belakang .....	168
Tabel 4.22. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hilir bendungan jarak 1 m sisi depan .....	178
Tabel 4.23. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hilir bendungan jarak 1 m sisi tengah .....	179
Tabel 4.24. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hilir bendungan jarak 1 m sisi belakang .....	181
Tabel 4.25. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hilir bendungan jarak 1.5 m sisi depan .....	192
Tabel 4.26. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hilir bendungan jarak 1.5 m sisi tengah .....	193
Tabel 4.27. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hilir bendungan jarak 1.5 m sisi belakang .....	194
Tabel 4.28. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hilir bendungan jarak 2 m sisi depan .....	205
Tabel 4.29. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hilir bendungan jarak 2 m sisi tengah .....	206
Tabel 4.30. Potensi <i>hydraulic fracture</i> grouting hilir bendungan jarak 2 m sisi belakang .....	207
Tabel 4.31. Data rembesan variabel X dan Y posisi tengah .....	212
Tabel 4.32. Uji normalitas rembesan posisi tengah .....	213
Tabel 4.33. Koefisien determinasi rembesan posisi tengah .....	213
Tabel 4.34. Data rembesan variabel X dan Y posisi hulu .....	214
Tabel 4.35. Uji normalitas rembesan posisi hulu .....	214
Tabel 4.36. Koefisien determinasi rembesan posisi hulu .....	214



Tabel 4.37. Data rembesan variabel X dan Y posisi hilir .....	215
Tabel 4.38. Uji normalitas rembesan posisi hilir .....	215
Tabel 4.39. Koefisien determinasi rembesan posisi hilir .....	216
Tabel 4.40. Data rembesan variabel X dan Y jarak 1 m .....	216
Tabel 4.41. Uji normalitas rembesan jarak 1 m .....	216
Tabel 4.42. Koefisien determinasi rembesan jarak 1 m .....	217
Tabel 4.43. Data rembesan variabel X dan Y jarak 1.5 m .....	217
Tabel 4.44. Uji normalitas rembesan jarak 1.5 m .....	217
Tabel 4.45. Koefisien determinasi rembesan jarak 1.5 m .....	218
Tabel 4.46. Data rembesan variabel X dan Y jarak 2 m .....	218
Tabel 4.47. Uji normalitas rembesan jarak 2 m .....	219
Tabel 4.48. Koefisien determinasi rembesan jarak 2 m .....	219
Tabel 4.49. Data deformasi variabel X dan Y posisi tengah.....	220
Tabel 4.50. Uji normalitas deformasi posisi tengah.....	220
Tabel 4.51. Koefisien determinasi deformasi posisi tengah .....	221
Tabel 4.52. Data msf variabel X dan Y posisi tengah.....	221
Tabel 4.53. Uji normalitas msf posisi tengah.....	221
Tabel 4.54. Koefisien determinasi msf posisi tengah .....	222
Tabel 4.55. Data deformasi variabel X dan Y posisi hulu .....	222
Tabel 4.56. Uji normalitas deformasi posisi hulu .....	222
Tabel 4.57. Koefisien determinasi deformasi posisi hulu .....	223
Tabel 4.58. Data msf variabel X dan Y posisi hulu .....	224
Tabel 4.59. Uji normalitas msf posisi hulu .....	224
Tabel 4.60. Koefisien determinasi msf posisi hulu .....	224
Tabel 4.61. Data deformasi variabel X dan Y posisi hilir.....	225
Tabel 4.62. Uji normalitas deformasi posisi hilir.....	225
Tabel 4.63. Koefisien determinasi deformasi posisi hilir .....	226
Tabel 4.64. Data msf variabel X dan Y posisi hilir.....	226
Tabel 4.65. Uji normalitas msf posisi hilir.....	226
Tabel 4.66. Koefisien determinasi msf posisi hilir .....	227
Tabel 4.67. Data deformasi variabel X dan Y jarak 1 m.....	227
Tabel 4.68. Uji normalitas deformasi jarak 1 m.....	228
Tabel 4.69. Koefisien determinasi deformasi jarak 1 m .....	228
Tabel 4.70. Data msf variabel X dan Y jarak 1 m.....	229

Tabel 4.71. Uji normalitas msf jarak 1 m.....	229
Tabel 4.72. Koefisien determinasi msf jarak 1 m .....	229
Tabel 4.73. Data deformasi variabel X dan Y jarak 1.5 m.....	230
Tabel 4.74. Uji normalitas deformasi jarak 1.5 m.....	230
Tabel 4.75. Koefisien determinasi deformasi jarak 1.5 m .....	230
Tabel 4.76. Data msf variabel X dan Y jarak 1.5 m.....	231
Tabel 4.77. Uji normalitas msf jarak 1.5 m.....	231
Tabel 4.78. Koefisien determinasi msf jarak 1.5 m .....	232
Tabel 4.79. Data deformasi variabel X dan Y jarak 2 m.....	232
Tabel 4.80. Uji normalitas deformasi jarak 2 m.....	232
Tabel 4.81. Koefisien determinasi deformasi jarak 2 m .....	233
Tabel 4.82. Data msf variabel X dan Y jarak 2 m.....	233
Tabel 4.83. Uji normalitas msf jarak 2 m.....	234
Tabel 4.84. Koefisien determinasi msf jarak 2 m .....	234
Tabel 4.85. Ringkasan hasil pemodelan grouting tubuh bendungan .....	235
Tabel 4.86. Ringkasan koefisien determinasi .....	236
Tabel 4.87. Ringkasan potensi <i>hydraulic fracture</i> .....	236

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. (2015). *Metodologi Penelitian Kuantitatif* (1st ed.). Aswaja Pressindo.
- Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, Sunil., & Boyce, G. M. (2001). *Slope Stability and Stabilization Method* (Inc. John Wiley & Son, Ed.; Second).
- Arsan Haq, Mh., Mhm, A., & Jurusan Teknik, P. (2013). ANALISIS MODEL TARIKAN PERGERAKAN PADA RUMAH SAKIT (STUDI KASUS DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA). *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 310.
- Astuti, Y., Masrevaniah, A., & Marsudi, S. (2012). Analisa Rembesan Bendungan Bajulmati terhadap Bahaya Piping untuk Perencanaan Perbaikan Pondasi. *Jurnal Teknik Pengairan*, 3.
- Baba, K., Bahi, L., Ouadif, L., & Akhssas, A. (2012). Slope Stability Evaluations by Limit Equilibrium and Finite Element Methods Applied to a Railway in the Moroccan Rif. *Open Journal of Civil Engineering*, 02(01), 27–32. <https://doi.org/10.4236/ojce.2012.21005>
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *SNI 2411:2008 Cara uji kelulusan air bertekanan di lapangan*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *SNI 8065:2016 Metode Analisis dan Cara Pengendalian Rembesan Air Untuk Bendungan Tipe Urugan*.
- Balai Bendungan. (n.d.). *Diklat Teknis Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar*.
- Bentley. (2021). *PLAXIS CONNECT Edition V21.01 PLAXIS 3D-Reference Manual*.
- Bentley Systems, Inc. (2021). *PLAXIS CONNECT Edition V21.01 PLAXIS 3D-Reference Manual*. Plaxis 3D.
- Bredy, S., & Jandora, J. (2019a). Numerical Modelling of a Diaphragm wall Process in Karolinka Dam. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR) International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, 48(7), 93–109. <http://gssrr.org/index.php?journal=JournalOfBasicAndApplied>
- Bredy, S., & Jandora, J. (2019b). Three-dimensions modelling of a jet pile construction in the Karolinka dam. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 67(3), 637–648. <https://doi.org/10.11118/actaun201967030637>
- Bria, K., Isjudarto, A., Teknologi, S. T., & Jogjakarta, N. (n.d.). *ANALISIS KESTABILAN LERENG PADA TAMBANG BATUBARA TERBUKA PIT*

*D SELATAN PT. ARTHA NIAGA CAKRABUANA JOB SITE CV. PRIMA MANDIRI DESA DONDANG KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA PROVINSI KALIMANTAN TIMUR.*

- Cadden', A., Jesus Gfimez, P. E. ;, Graham, P. E. ;, Smith, C. G., & Traylor, R. (2003). Flexibility in Grouting: Solutions for Old Dams. In L. F. Johnsen, D. A. Bruce, & M. J. Byle (Eds.), *Third International Conference on Grouting and Ground Treatment*. ASCE.
- Chun, B. S., Lee, Y. J., & Chung, H. I. (2006). Effectiveness of Leakage Control after Application of Permeation Grouting to Earth Fill Dam. *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 10(6), 405.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1* (N. E. Mochtar & I. B. Mochtar, Eds.; 1st ed.). Erlangga.
- Deng, C. J., Dang, F. N., Chen, X. Z., Miao, Z., & Chen, L. L. (2020a). Experimental Study on Grouting Effect and Mechanical Properties of the Rockfill Materials Grouted with SCM. *Advances in Civil Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8834686>
- Deng, C. J., Dang, F. N., Chen, X. Z., Miao, Z., & Chen, L. L. (2020b). Experimental Study on Grouting Effect and Mechanical Properties of the Rockfill Materials Grouted with SCM. *Advances in Civil Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8834686>
- Departemen Pekerjaan Umum. (2005). *Pedoman Grouting Untuk Bendungan*.
- Djarwadi, D., Suryolelono, K. B., Suhendro, B., & Hardiyatmo, D. H. C. (2013). RETAK HIDROLIS PADA BENDUNGAN URUGAN BATU; FAKTOR PENYEBAB DAN CARA UNTUK MENGHINDARINYA (209G). *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7)*, 7(7), 24–26.
- Dyson, A. P., & Tolooiyan, A. (2018). Optimisation of strength reduction finite element method codes for slope stability analysis. *Innovative Infrastructure Solutions*, 3(1). <https://doi.org/10.1007/s41062-018-0148-1>
- Federal Emergency Management Agency. (2011). *Filters for Embankment Dams Best Practices for Design and Construction*. Filter for embankment dam.
- Gabriella, V., Pangemanan, M., Turangan, A. E., & Sompie, O. B. A. (2014). ANALISIS KESTABILAN LERENG DENGAN METODE FELLENIUS (Studi Kasus: Kawasan Citraland). *Jurnal Sipil Statik*, 2(1), 37–46.
- Geo-SLOPE International Ltd. (n.d.). *Unit Weight Definition*. [www.geo-slope.com](http://www.geo-slope.com)

- Ghozali, I. (2011). *Aplikasi Analisis Multivariate Dengan Program IBM SPSS 21 Update PLS Regresi* (7th ed.). Badan Penerbit Universitas Diponegoro.  
[https://www.researchgate.net/publication/289671928\\_Aplikasi\\_Analisis\\_Multivariate\\_Dengan\\_Program\\_IBM\\_SPSS\\_21\\_Update\\_PLS\\_Regresi](https://www.researchgate.net/publication/289671928_Aplikasi_Analisis_Multivariate_Dengan_Program_IBM_SPSS_21_Update_PLS_Regresi)
- Hadi, S., & Ratnadewi, S. A. (1996). *Penggunaan Sementasi Pada Pondasi Bendungan*. Universitas Islam Indonesia.
- Hamdhan, I. N., Iskandar, F. F., & Maulana, G. (2018, September). Analisis Debit Rembesan Di Bawah Tubuh Bendung Dengan Pendekatan Metode Grafis Dan Numerik. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 12*.
- Han, J. (2015). *Principles and Practices of Ground Improvement*. John Wiley & Sons, Inc.
- Haryanto, W., Prasetio, A., Mulyo, A., & Zakaria, Z. (2015). Geotechnical Stability Performance of Batubesi Dam A Review of Seismicity Impact on Structural Dam Safety. *International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN*. <https://doi.org/10.21275/ART20176679>
- Hidayah, S., & Gratia, Y. R. (2007). *Program Analisis Stabilitas Lereng*. Universitas Diponegoro.
- Indrawati, E., Indarto, Soemitro, R. A. A., & Permadi, N. (2022). Pengaruh Perkuatan Grouting Terhadap Beban Maksimum Yang Dapat Diterima Tanah Dasar Pada Ruas Jalan Lamongan - Gresik. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 6, 2022.
- Isakov, A., & Moryachkov, Y. (2014). Estimation of Slope Stability Using Two-Parameter Criterion of Stability. *International Journal of Geomechanics*, 14(3). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gm.1943-5622.0000326](https://doi.org/10.1061/(asce)gm.1943-5622.0000326)
- Javanmardi, F., & Léger, P. (2005). Grouting of cracks in concrete dams: Numerical modelling and structural behaviour. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 7(4), 161–173.  
<https://doi.org/10.1002/pse.201>
- Kovacich, J. R. (2020). *Supplemental Grouting at NEELUM JHELUM DAM*.
- Koven, W. (2014). *Pemodelan Potensi Hydraulic Fracture Pada Saat Pengisian Waduk Pertama Bendungan Rockfill*. Universitas Komputer Indonesia.
- Liong, G. T., & Herman, D. J. G. (2012). *ANALISA STABILITAS LERENG LIMIT EQUILIBRIUM vs FINITE ELEMENT METHOD*.
- Lontoh, R. J., Manoppo, F. J., & Sompie, O. B. A. (2020). Analisa Kestabilan Bendungan Lolak 1. *Jurnal Sipil Statik*, 8.

- Look, B. G. (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. Taylor & Francis/Balkema.
- Maasland, M., & Kirkham, D. (1955). DIVISION I-SOIL PHYSICS Theory and Measurement of Anisotropic Air Permeability in Soil 1. *SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA PROCEEDINGS*, 19(4).
- Marini, A. E., Mingsi Anaperta, Y., & Gamela Saldy, T. (n.d.). Analisis Kestabilan Lereng Area Highwall Section B Tambang. *Jurnal Bina Tambang*, 4(4).
- Matthews, C., Farook, Z., & Helm, P. (2014). *Technical-Paper-Slope-Stability-Analysis1*.
- Najib, Setyawan, A., & Joko Suprpto, D. (2018). Grouting design for slope stability of kedung uling earthfill dam. *MATEC Web of Conferences*, 147. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814707001>
- Park, D. S., & Oh, J. (2018). Permeation grouting for remediation of dam cores. *Engineering Geology*, 233, 63–75. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.12.011>
- Pengetahuan Dan Karakteristik Bahan*. (2005).
- Poudel, S., & Ngambi, A. (2017). Mechanism of Hydraulic Fracturing in Cohesive Zone of Embankment Dam Cores-A Review. *S. Fracturing in Cohesive Zone of Embankment Dam Cores Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(7), 1202–1213. [http://www.iaeme.com/ijciet/IJCIET\\_Paper.asp?sno=8554http://http://www.iaeme.com/ijciet/issues.asp?JType=IJCIET&VType=8&IType=7http://www.iaeme.com/IJCIET/issues](http://www.iaeme.com/ijciet/IJCIET_Paper.asp?sno=8554http://http://www.iaeme.com/ijciet/issues.asp?JType=IJCIET&VType=8&IType=7http://www.iaeme.com/IJCIET/issues).
- Pratomo, D. A. P., Suharyanto, & Atmojo, P. S. (2021). Deformasi Bendungan Cirata berdasarkan Analisis Data Instrumen Patok Geser. *Jurnal Teknik*, 19(2), 96–106. <https://doi.org/10.37031/jt.v19i2.166>
- Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Sumber Daya Air Dan Konstruksi. (2017). *MODUL 12 ANALISA STABILITAS BENDUNGAN: PERHITUNGAN REMBESAN*.
- Republik Indonesia. (2010). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2010 Tentang Bendungan*.
- Santoso, Y. A., Sulandari, N., & Pranata, Y. A. (2012). Studi Pendahuluan Simulasi Numerikal Metode Elemen Hingga Sambungan Balok-Kolom Baja Tipe Clip-Angle. *Jurnal Teknik Sipil*, 8.
- Sari, M., & Asmendri. (2020). Penelitian Kepustakaan (Library Research) dalam Penelitian Pendidikan IPA. *Natural Science : Jurnal Penelitian Bidang IPA Dan Pendidikan IPA*, 6, 41.

- Shanlong Kuang. (1996). Geodetic network analysis and optimal design: concepts and applications. *Geodetic Network Analysis and Optimal Design: Concepts and Applications*. [https://books.google.com/books/about/Geodetic\\_Network\\_Analysis\\_and\\_Optimal\\_De.html?hl=id&id=BvZMAQAIAAJ](https://books.google.com/books/about/Geodetic_Network_Analysis_and_Optimal_De.html?hl=id&id=BvZMAQAIAAJ)
- Sherard, J. L. (1986). HYDRAULIC FRACTURING IN EMBANKMENT DAMS 3. *J. Geotech. Engrg.*
- Shiferaw, H. M. (2021). Study on the influence of slope height and angle on the factor of safety and shape of failure of slopes based on strength reduction method of analysis. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s43088-021-00115-w>
- Soedibyo. (2003). *Teknik Bendungan*. PT Pradnya Paramita.
- Sosrodarsono, S., & Takeda, K. (1981). *Bendungan Type Urugan*. Pradnya Paramita.
- Talukdar, P., & Dey, A. (2021). Finite element analysis for identifying locations of cracking and hydraulic fracturing in homogeneous earthen dams. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s40703-020-00139-8>
- Training Aids for Dam Safety. (2011). *Evaluation of Embankment Dam Stability and Deformation*.
- United States Society on Dams (USSD). (2007). *Strength of Materials for Embankment Dams*. [www.usdams.org/c\\_mater.html](http://www.usdams.org/c_mater.html).
- U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation. (2014). *Embankment Dams Chapter 8: Seepage Phase 4 (Final)* (Patent No. 13). Embankment Dams.
- Wang, H. Y. (2019). Hydraulic fracture propagation in naturally fractured reservoirs: Complex fracture or fracture networks. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 68. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2019.102911>
- Wu, K., & Ma, M. (2012). Evaluation of the Grouting Effect of the Change of Grout Hole Spacing in Splitting Grouting for Dams. *Applied Mechanics and Materials*, 151, 295–299. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.151.295>
- Wu, K., Ma, M., Hao, D., & Chen, R. (2012). Numerical analysis on mechanics of interaction between slurry and soil in earth dam by splitting grouted. *Procedia Engineering*, 28, 351–355. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.732>

Yuanita, I., Asih, R., Soemitro, A., Permadi, N., Superspesialis, M., Jalan, P., Kondisi, P., Sulit, G. T., Umum, K. P., Rakyat, P., Jenderal, D., Marga, B., Pelaksanaan, B. B., Nasional, J., Timur -Bali, J., Kerja, S., Jalan, P., Wilayah, N., Provinsi, I. V, & Timur, J. (2022). Analisis Penurunan Tanah dengan Perkuatan Water Cement Grouting Pada Proyek Preservasi Ruas Tuban-Babat-Lamongan-Gresik. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur Dan Fasilitas*, 6.

Zhang, S., & Johansson, F. (2021). *On the required thickness of grout curtains under dams*. <http://www.diva-portal.orghttp://urn.kb.se/>