

EVALUASI PERBAIKAN PONDASI KONDUIT DENGAN METODE GROUTING

Andy Rosyulianta Irfan^{1, 2,*}, Mochamad solikin¹, Sri Sunarjono¹

¹Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1, Pabelan, Surakarta, 57102

²PT Wijaya Karya (Persero) Tbk

^{*}Email : andyrosyulianta10@gmail.com

Abstract

The Tugu Dam is one of the National Strategic Projects located in Trenggalek, East Java. Dam construction is an old practice, so history of dam shows great innovations in engineering. The innovations are not only for foundation design, but for foundation failure repairing. In the conduit of the Tugu dam, there is displacement as far as 20 mm - 60 mm. The alternative foundation failure repairing is grouting. The purpose of this study is to identify problems in the foundation failure of Conduit Tugu Dam and to evaluate the effectiveness of grouting based on the lugeon value and displacement value in the simulation by software. The results of the investigation that obtained a colovial layer as deep as 15-28 (m) in the displacement. The Lugeon Value area by testing the water pressure is 3,54 – 104,13. After the grouting work is done and the water pressure test is carried out, the Lugeon value on the Check Hole is 1,01 – 4,95 so that the grouting effectiveness is 75% (good category). The results using sigma/w show that displacement without using grout is -0,394 (m) alternative 1 is -0,027 (m), alternative 2 is -0,051(m), alternative 3 is -0,034 (m) and alternative 4 is -0,026 (m).

Kata kunci : displacement, effectiveness, Lugeon value, grouting

PENDAHULUAN

Perkembangan infrastruktur sipil di Indonesia saat ini sedang meningkat pesat, pemerintah mencanangkan sebanyak 65 buah bendungan/dam (Mulyono, 2017), salah satunya adalah Bendungan Tugu di Trenggalek. Dam adalah sebuah struktur konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air atau sungai bawah tanah yang pada umumnya akan menjadi waduk atau danau *artificial* (Nurnawaty, Suhardiman, dan Ihwan, 2018). Bendungan memiliki bagian, yaitu: tubuh bendung, waduk, pintu outlet, peredam energi, pelimpah, *intake*, dan

pengelak (konduit). Selama pelaksanaan konstruksi. pengelakan sungai mengacu pada SNI 03-6456.1-2000 (BSN, 2000) Konduit atau saluran tertutup berfungsi sebagai air seluruh lebar sungai dengan kombinasi bendungan pengelak.

Menteri Pekerjaan Umum mengeluarkan Peraturan Menteri PUPR nomor 27/PRT/M/2015, pasal 2 dinyatakan bahwa Pembangunan bendungan dan pengelolannya dilaksanakan berdasarkan pada Konsepsi Keamanan bendungan yang terdiri dari 3 pilar keamanan struktur berupa aman terhadap kegagalan

struktural, aman terhadap kegagalan hidraulik, dan aman terhadap kegagalan rembesan. Operasi, pemeliharaan dan pemantauan dan Kesiapsiagaan tindak darurat (PUPR, 2015). Pengaturan keamanan bendungan dimaksudkan untuk mewujudkan tertib penyelenggaraan pembangunan dan pengelolaan bendungan agar layak teknis desain dan konstruksi, aman dalam pengelolaannya, sehingga dapat mencegah atau sekurang-kurangnya mengurangi risiko kegagalan bendungan (Arsyad, 2017),

Pondasi merupakan bagian terpenting dalam perencanaan konstruksi. Pondasi sendiri ialah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beratnya sendiri ke dalam tanah dan batuan yang terletak di bawahnya (Bowles, 1997). Pondasi yang tidak kuat mengakibatkan ketidak stabilan suatu bangunan di atasnya sehingga menimbulkan potensi kegagalan infrastruktur bangunan termasuk bangunan konduktif, grouting menjadi teknik remediasi geoteknik yang sering diaplikasikan pada fondasi dalam pembangunan bendungan ataupun tanggul tanah (*earthen impoundments*) (Bryson, Ortiz, dan Leandre, 2014; Fan dkk, 2016; Sosrodarsono dan Takeda, 1977). Grouting adalah penyuntikan bahan semi kental (*slurry material*) ke dalam tanah atau batuan melalui lubang bor dengan tujuan menutup diskonstruksi terbuka, rongga-rongga dan lubang-lubang pada lapisan yang dituju untuk meningkatkan kekuatan tanah,

pelaksanaan grouting meliputi penentuan titik grouting, uji permeabilitas (uji kelulusan air bertekanan), pemboran dan grouting (Dwiyanto, 2005). Grouting sebagai penginjeksian material perekat ke dalam tanah atau batuan yang lulus air dengan tujuan untuk menutup pori dan rekahan (Budiyanto 2010).

Perhitungan uji kelulusan air dengan menggunakan tekanan yang bervariasi dapat menghasilkan nilai lugeon yang berbeda, tergantung pada kondisi aliran air yang terjadi dalam tanah atau batuan yang diuji (Pearson dan Money, 1977). Hasil uji kelulusan air menunjukkan anomali antara aliran terhadap tekanan, kemudian dari grafik uji kelulusan air bertekanan dapat mengidentifikasi *displacement* yang terjadi, yakni *plastic* atau *elastic displacement* (Ewert dan Hungsbrg, 2018).

Pada pembangunan Bendungan Tugu memiliki kondisi geologi pondasi yang tidak bisa diprediksi, menyebabkan pondasi yang awalnya di prediksi kuat menahan beban terjadi *displacement* 20 mm – 60 mm pada konduktif setelah dilaksanakan timbunan ± 13 m (Sudaryanto, 2020). Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini perlu dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan berkaitan dengan pondasi konduktif. Selain itu tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi efektifitas grouting berdasarkan nilai lugeon dan nilai *displacement* pada simulasi. Identifikasi dilakukan dengan cara pengeboran daerah *displacement*. Berdasarkan data tersebut, digunakan

untuk melakukan perbaikan pondasi menggunakan metode grouting. Data perbaikan pondasi dan pengeboran digunakan untuk simulasi menggunakan Sigma/w.

METODE PENELITIAN

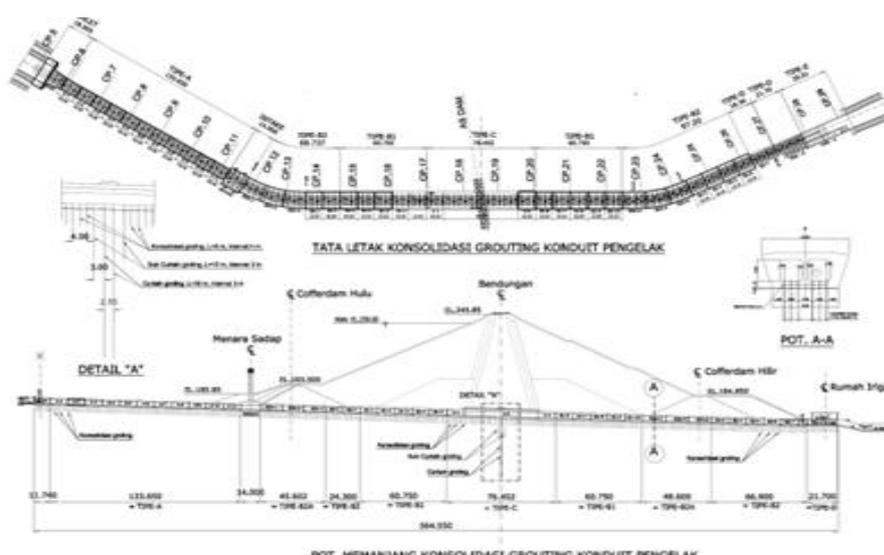
Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah di Bendungan Tugu yang dibangun dengan cara membendung Sungai Keser terletak di Dusun Keser, Desa Nglingsis,

Kecamatan Tugu, Kabupaten Trenggalek. Secara geografis, lokasi ini berada pada posisi $111^{\circ} 34' - 111^{\circ} 37'$ Bujur Timur, dan $8^{\circ} 1' - 8^{\circ} 3'$ Lintang Selatan. Area tersebut dapat dilalui dengan melewati jalan raya Trenggalek - Ponorogo, di Desa Pucanganak, Kecamatan Tugu (\pm km 15 dari Trenggalek) yang dapat dilihat pada Gambar 1, sementara lokasi *displacement* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Lokasi Bendungan Tugu Trenggalek



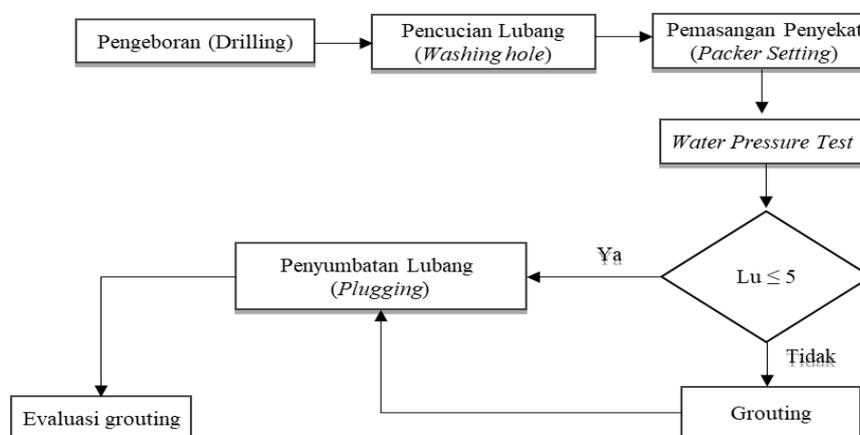
Gambar 2. Lokasi displacement pada pondasi konduit

Identifikasi Permasalahan Geologi

Teknik pengeboran dilakukan untuk mengetahui lapisan tanah (PUPR, 2016), pengambilan contoh tanah (*Undisturb Sample*, UDS) dan mengetahui parameter tanah dari hasil uji lapangan. Terdapat 3 jenis Teknik pengeboran yaitu pengeboran manual (*auger boring*), dengan injeksi air (*wash boring*) dan Pengeboran Inti (*core drilling*). Untuk mengidentifikasi permasalahan yang terjadi menggunakan pengeboran inti dengan Tata cara pencatatan dan identifikasi hasil pengeboran inti menurut SNI 03- 2436-1991 2008 (BSN, 2008b).

Evaluasi Efektifitas Grouting Berdasarkan Nilai Lugeon

Sebelum memperbaiki Fondasi menggunakan grouting, tahap awal yang dilakukan adalah pengeboran lubang, pencucian dan pemasangan *packer*. Selanjutnya, pengetesan kelulusan air bertekanan pada lubang dilakukan untuk mendapat nilai lugeon. Hasil tersebut dijadikan tolak ukur untuk grouting atau tidak grouting. Tahap selanjutnya dari rangkaian grouting adalah penutupan lubang (*Plaging*). Berdasarkan hal tersebut, rangkaian grouting dinyatakan selesai. Tahap akhir yaitu evaluasi grouting menggunakan lubang (*check hole*). Secara ringkas prosedur evaluasi grouting ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Tahap Evaluasi Grouting

Perhitungan dan Penentuan Nilai Lugeon

Das & Sobhan (2014) mengilustrasikan pada sebuah grafik terkait aliran rembesan atau perkolasi pada fondasi bendungan melalui bentuk flow net. Adanya aliran bawah permukaan tersebut membuat

penyebab tidak stabil pada bendungan utama sehingga harus dilakukan penyelidikan terkait hal tersebut, yakni penyelidikan bawah permukaan dengan metode pengeboran inti yang disertai uji kelulusan air bertekanan (lugeon) dengan standar yang berlaku di Indonesia tercantum pada SNI 2411-

2008 (BSN 2008a) nilai lugeon (LU) untuk uji kelulusan air bertekanan di lapangan dapat dihitung dengan Rumus. 1 dan efektivitas grouting menggunakan Rumus. 2.

$$LU = \frac{10.Q}{p.L} \text{ atau } LU = \frac{10VQ}{p.L.t} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan: Q adalah debit air yang masuk (liter/menit) melalui lubang bor berukuran NX yaitu berdiamater 75,7 mm, p adalah tekanan uji, (kg/cm²) L adalah panjang bagian yang diuji (m), V adalah volume air yang diinjeksikan, (liter).

Besarnya efektivitas grouting ditunjukkan oleh besarnya perubahan kelulusan air sebelum dan setelah dilakukan grouting (SDA 2005),

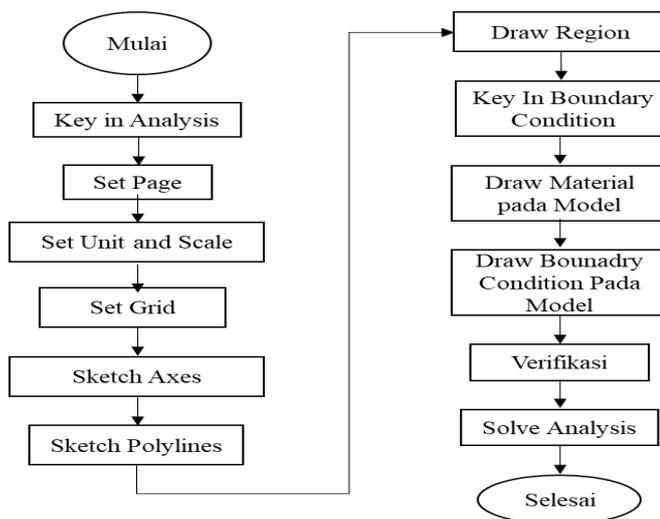
sementara penentuan efektifitas grouting dihitung dengan menggunakan Rumus 2.

$$Efs = 100 - (Kg/K) * 100 \dots\dots\dots (2)$$

Dengan: Efs adalah Efektivitas grouting dalam persen (%), Kg adalah Kelulusan air sesudah grouting, dan K adalah Kelulusan air sebelum grouting.

Simulasi

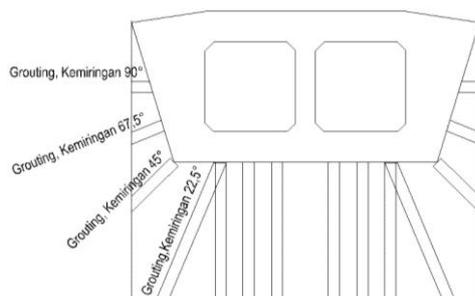
Simulasi perbaikan pondasi dilakukan menggunakan SIGMA/W untuk menganalisis tegangan dan *displacement* pada struktur bangunan. Proses yang dilakukan pada program tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.



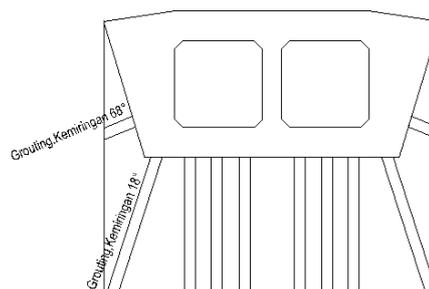
Gambar 4. Langkah SIGMA/W

Tahap ini merupakan tahap evaluasi dengan menggunakan software SIGMA/W. Pemodelan ini dilakukan dengan membuat 4 alternatif. Alternatif pertama adalah alternatif yang digunakan pada kondisi eksisting yang memiliki lubang grouting kemiringan di sudut 90⁰ 67,5⁰ 45⁰

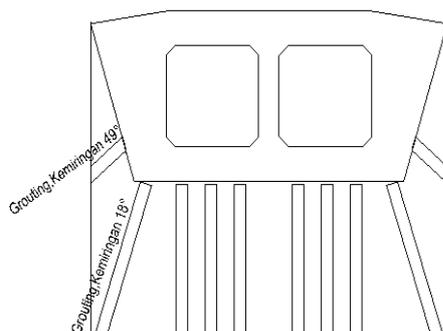
22,5⁰, pada alternatif kedua memiliki sudut 68⁰ 18⁰, pada alternatif ketiga memiliki sudut 49⁰ 18⁰ dan pada alternatif keempat memiliki sudut 90⁰ 49⁰ 18⁰, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8.



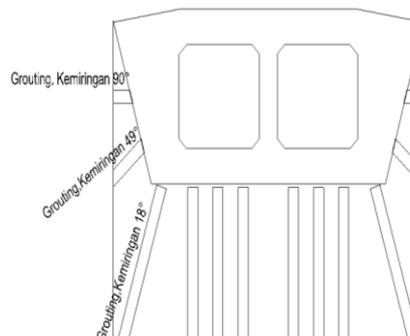
Gambar 5. Alternatif 1



Gambar 6. Alternatif 2



Gambar 7. Alternatif 3



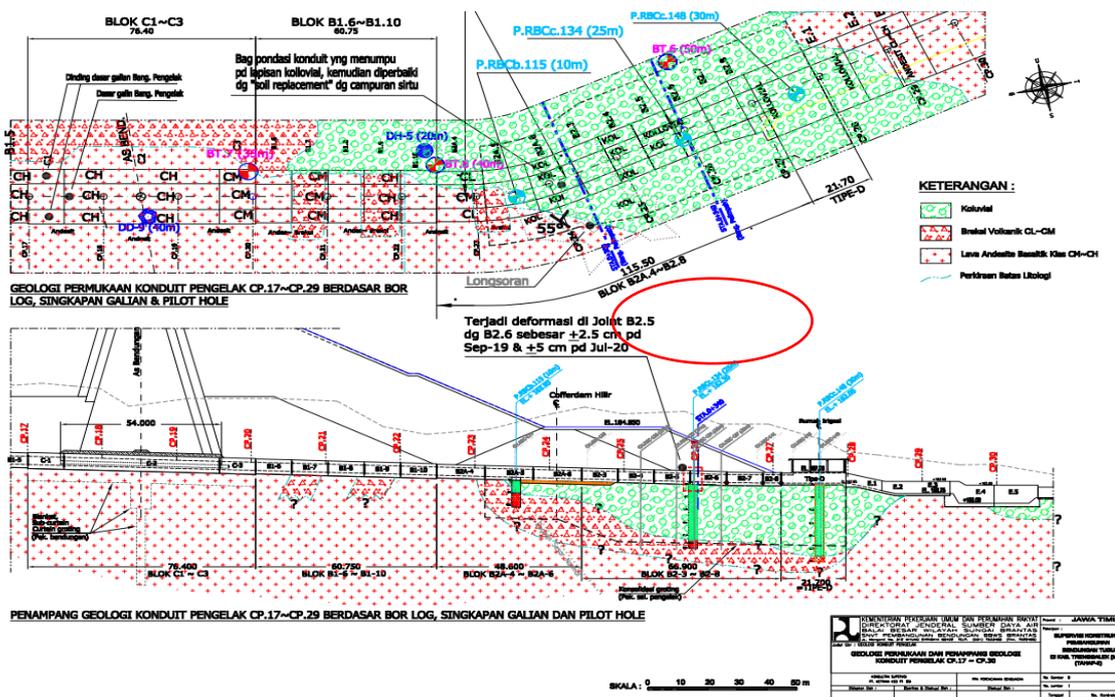
Gambar 8. Alternatif 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

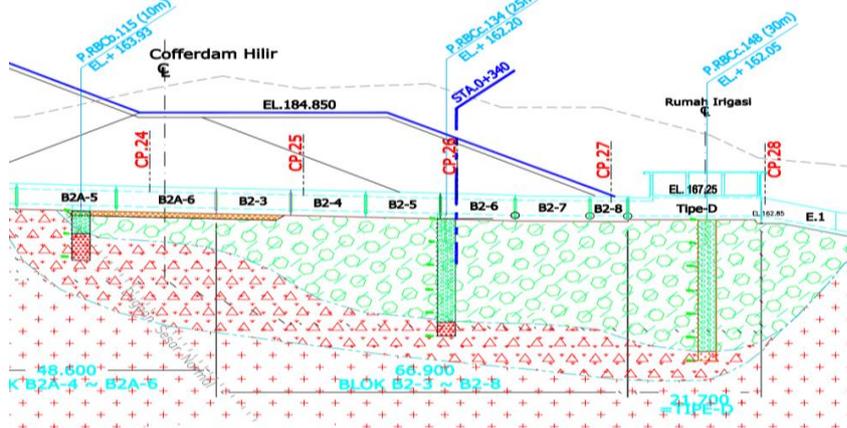
Identifikasi Kinerja Pondasi Konduit di Bendungan Tugu Trenggalek

Identifikasi kinerja pondasi konduit di Bendungan Tugu Trenggalek dilakukan setelah konduit dapat di fungsikan tidak terjadi masalah, tetapi pada saat timbunan naik ± 13 m terjadi *displacement* (defrmasi) pada CP 24 sampai CP 27. Oleh karena itu, pekerjaan tersebut di hentikan supaya tidak terlalu parah *displacement*nya. Kondisi pondasi perlu dilakukan bor investigasi dengan pengeboran pilot hole sebanyak 3 titik. Berdasarkan hasil investigasi didapatkan Diskripsi Pengeboran Investigasi pemeriksaan pondasi dengan pengeboran pilot hole digabungkan untuk menggambarkan

geologi pondasi Konduit yang di tunjukan pada Gambar 9 dan Gambar 10. Bagian yang terjadi *displacement* adalah segmen di hilir as bendungan dari CP 24 s/d Outlet. Pada Tabel 1 menjelaskan diskripsi hasil investigasi berupa lapisan koluvial dengan warna abu-abu kecoklatan kondisi batuan tersebut padat lapuk lanjut fragmentnya rendah dapat di patahkan dengan tangan dan daya dukung rendah, sedangkan Breksi Vulkanik dengan kondisi batuan berwarna abu-abu, segar, komponen frakmen andesit, diameter 3 cm - 6 cm, menyudut tanggung. Semen terdiri dari lempung, tuf, tersemen baik dan sangat baik, sulit dihancurkan dengan palu geologi yang ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 9. Denah Jenis Dan Klas Batuan Galian Pondasi, Lokasi Pilot Hole Dan Penampang Geologi Konduyt Pengelak Bagian Hilir.



Gambar 10. Denah Jenis dan Klas Batuan detail

Tabel 1. Deskripsi geologi daerah *displacement*

No	Lokasi	Batuan	Kedalaman (m)
1	CP 24	Pondasi Koluvial	0-15
		Breksi Vulkanik	≥15
2	CP 25	Pondasi Koluvial	0-23
		Breksi Vulkanik	≥23
3	CP 26	Pondasi Koluvial	0-23
		Breksi Vulkanik	≥23
4	CP 27	Pondasi Koluvial	0-24
		Breksi Vulkanik	≥24
5	CP 28	Pondasi Koluvial	0-25
		Breksi Vulkanik	≥25

Tabel 2. Jenis pondasi dan hasil investigasi

NO	Jenis Pondasi	Gambar
1	Koluvial	
2	Breksi Vulkanik	

Tabel 1 menunjukkan bahwa pada bagian konduit CP 24 - CP 28 hasil investigasi geologi pondasi konduit terdapat lapisan Koluvial dengan kedalaman 5 m – 28 m, sementara Tabel 2 menunjukkan bahwa kondisi investigasi pada pondasi Koluvial terlihat pondasi Koluvial merupakan endapan batuan di kaki bukit berukuran bongkah sebagai hasil jatuhan atau longsoran batuan dan merupakan endapan yang belum terkonsolidasi, sedangkan breksi vulkanik pembentukan breksi vulkanik adalah dibagian bawah sebuah singkapan, dimana puing-puing pelapukan mekanik menumpuk. Selanjutnya hasil pelapukan mekanik tersebut akan terbawa oleh aliran dan terendapkan dekat dengan singkapannya.

Evaluasi efektivitas grouting berdasarkan nilai *Lugeon*

Evaluasi efektifitas grouting berdasarkan nilai *Lugeon* dilakukan dengan penilaian keberhasilan grouting tergantung pada sifat lubang grouting dalam menerima injeksi semen atau bahan lainnya. Lubang uji atau check hole adalah suatu pelaksanaan metode uji bor pengambilan inti batuan (*core box*), uji *water pressure test*, dan uji permeabilitas. Dengan cara itu dapat mengestimasi efektifitas dari grouting. Untuk itu pada batuan pondasi konduit dilakukan uji *check hole*. Pengetesan awal menggunakan tes WPT dengan menggunakan tekanan yang sudah ditentukan, setelah dilakukan pengetesan diketahui lubang itu harus dilakukan grouting atau tidak. Hasil pengujian WPT disebut dengan nilai *Lugeon* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data *Lugeon*

SEQ	Stage	Jumlah Stage	Total Lugeon	Average (Lu/stg)	Total (Kg/stg)	Unit (m)	Total (m)	Average (Kg/m)
PH	1	12	425,45	35,45	15.702,89	5,00	60,00	261,71
	2	12	240,86	20,07	10.870,90	5,00	60,00	181,18
	3	12	175,93	14,66	8.567,27	5,00	60,00	142,79
	4	9	129,81	14,42	5.375,01	5,00	44,27	121,41

	5	2	13,87	6,94	281,82	5,00	10,00	28,18
	6	1	4,35	4,35	0,00	5,00	5,00	0,00
	Sub Total	48			40.797,90		239,27	170,51
P	1	272	4.535,72	16,68	131.918,11	5,00	1.360,00	97,00
	2	272	3.413,34	12,55	93.355,70	5,00	1.360,00	68,64
	3	272	2.560,99	9,42	74.914,20	5,00	1.366,36	54,83
	4	217	1.597,87	7,36	44.166,81	5,00	1.110,17	39,78
	5	94	503,87	5,36	12.541,26	5,00	459,42	27,30
	Sub Total	1.127			356.896,07		5.655,95	63,10
S	1	285	3.915,89	13,74	95.471,15	5,00	1.425,00	67,00
	2	285	2.961,13	10,39	77.834,81	5,00	1.425,00	54,62
	3	285	2.102,86	7,38	56.929,35	5,00	1.430,30	39,80
	4	227	1.310,64	5,77	27.114,25	5,00	1.161,66	23,34
	5	95	455,60	4,80	7.561,79	5,00	465,94	16,23
	Sub Total	1.177			264.911,35		5.907,90	44,84

Tabel 3 menunjukkan bahwa dari setiap titik grouting yang membentuk segitiga sama kaki dengan jarak horizontal 2 m dan vertikal 1 m. Pada stage 1 – 5 lubang primer (P) rata-rata lugeon adalah 10,27 dan pada lubang sekunder (S) memiliki rata-rata 8,42. Rata-rata tersebut menunjukkan bahwa grouting pada lubang primer (P) berhasil karena lubang sekunder (S) lugeon memiliki nilai lebih kecil dari lubang primer (P) sedangkan lubang primer (P) lebih kecil daripada lubang pilot hole (PH). Keberhasilan grouting tersebut dapat dilihat dari titik Check Hole seperti ditampilkan pada Tabel 4. *Check hole* berfungsi sebagai evaluasi keberhasilan grouting yang telah dilaksanakan, Tabel 4 menunjukkan *check hole* sebanyak 27 lubang. Rata-rata nilai lugeon 3,10 – 3,92 menunjukkan bahwa nilainya lebih kecil dari lugeon 5 dapat diartikan bahwa nilai lugeon sudah sesuai dengan persyaratan yang ditentukan.

Efektivitas grouting dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 11.

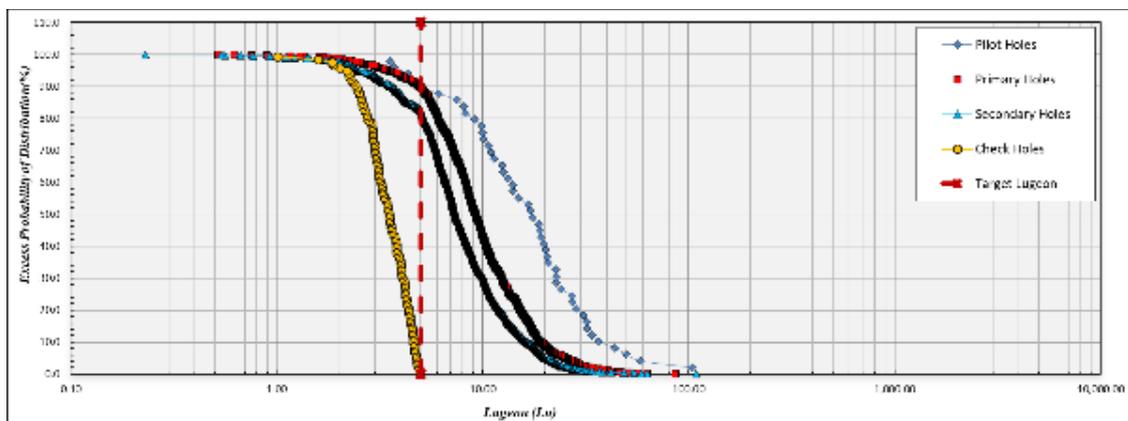
Perbaikan pondasi menggunakan grouting dilakukan dengan kedalaman 15 m – 25 m yang terdiri dari 272 lubang primer dan 285 lubang sekunder. untuk memperbaiki pondasi Koluvial. Metode yang digunakan pekerjaan grouting yaitu metode lompat katak dengan down stage. Hasil Test Lugeon pada pilot hole memperoleh nilai antara Lu 3,54 s/d Lu 104,13. Nilai lugeon titik sebelum di lakukan perbaikan pondasi dengan grouting pada lubang primer (P) rata-rata nilai lugeon adalah 10,27 dan pada lubang sekunder (S) memiliki rata-rata nilai lugeon 8,42. Setelah melakukan grouting dilakukan pengtesan lugeon didapatkan nilai Chek Hole Lugeon 1,01 s/d Lu 4,95 dengan syarat yaitu lugeon 5. Nilai efektivitas grouting 53,9 ~ 89,6 % atau rata-rata 75% masuk dalam kategori Baik.

Tabel 4. Rata-rata nilai *Lugeon Check Hole*

SEQ	Stage	Jumlah Stage	Total Lugeon	Average (Lu/stg)	Total (Kg/stg)	Unit (m)	Total (m)	Average (Kg/m)
CH	1	27	99,10	3,67	0,00	5,00	135,00	0,00
	2	27	105,92	3,92	69,75	6,00	135,00	0,52
	3	27	99,09	3,67	42,88	7,00	137,65	0,31
	4	23	86,38	3,76	25,04	8,00	114,00	0,22
	5	15	47,96	3,20	0,00	9,00	73,25	0,00
	6	1	3,10	3,10	0,00	10,00	5,00	0,00
Sub Total		120			137,67		599,90	0,23
Total		2.472			662.742,98		12.403,02	53,43

Tabel 5. Pengaruh dan efektifitas grouting pada Konduit

Stage	Depth (m)	Presurre (kg/cm ²)	Pilot Holes	Primary Holes	Secondary Holes	Check Holes	Effect Grouting	Remarks
			Lugeon (Lu)	Lugeon (Lu)	Lugeon (Lu)	Lugeon (Lu)	%	
1	5,00	2,0	35,45	16,68	13,74	3,67	89,6	
2	5,00	3,0	20,07	12,55	10,39	3,92	80,5	Good
3	5,00	5,0	14,66	9,42	7,38	3,67	75,0	Good
4	5,00	7,0	14,42	7,36	5,77	3,76	74,0	Good
5	5,00	10,0	6,94	5,36	4,80	3,20	53,9	Acceptable
6	5,00	13,0	4,35			3,10		Target Lugeon < 5
Median							75,0	

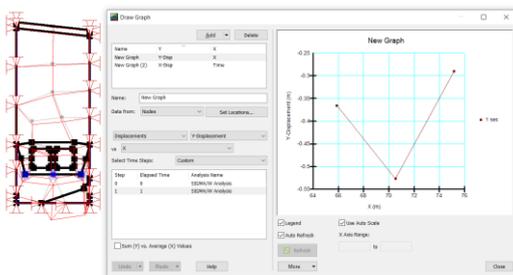


Gambar 11. Grafik Evaluasi Lugeon

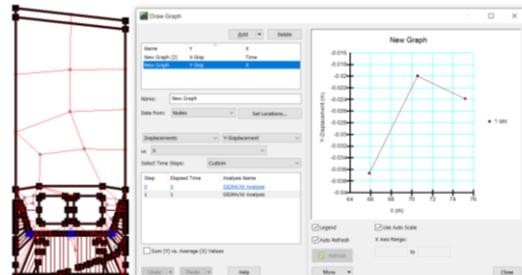
Evaluasi efektivitas grotting berdasarkan nilai displacement pada simulasi

Evaluasi efektifitas grotting berdasarkan nilai *displacement* dilakukan dengan simulasi menggunakan software Sigma/W dengan tinjauan *displacement*. Pengumpulan data dan pemodelan menggunakan data perencanaan dari konsultan dengan pendekatan pengambilan material yang di uji. Pemodelan potongan dengan kondisi geologi menggunakan beban maksimal timbunan sesuai dengan desain Bendungan Tugu Trenggalek ditunjukkan pada Gambar 12 sampai Gambar 16. Tabel 6 menunjukkan hasil analisis menggunakan Sigma/w dengan kondisi tanpa perbaikan pondasi dan melakukan beberapa alternatif. Hasil analisis menunjukkan bahwa *displacement* terjadi di semua

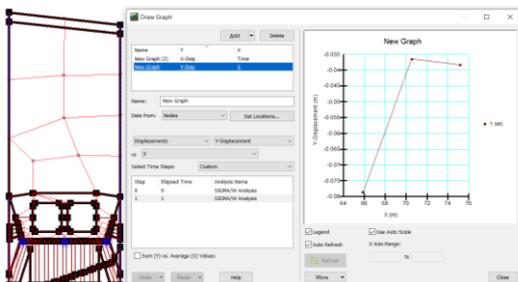
simulasi, akan tetapi hasil dari simulasi tanpa menggunakan grotting lebih besar dari syarat penurunan maksimum yaitu 40 mm. Penurunan yang diizinkan dari suatu bangunan tergantung pada beberapa faktor seperti jenis, tinggi, kekakuan, dan fungsi bangunan, besar dan kecepatan penurunan serta distribusinya. Hasil dari perbaikan pondasi di lapangan yang ditunjukkan pada alternatif 1 memiliki *displacement* yang terbaik dari beberapa alternatif dengan *displacement* rata-rata 0,027 m dan bisa dilakukan penghematan dengan pengurangan lubang grotting perubahan desain dengan acuan mendekati pada batasan penurunan yaitu 40 mm (Skempton dan Macdonald 1955), sementara nilai *displacement* alternatif 3 adalah 0,034 m dan alternatif 4 sebesar 0,026 m.



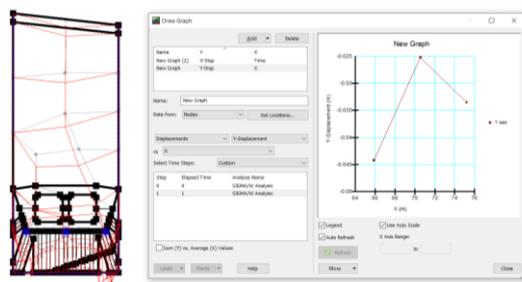
Gambar 12. Tanpa grotting



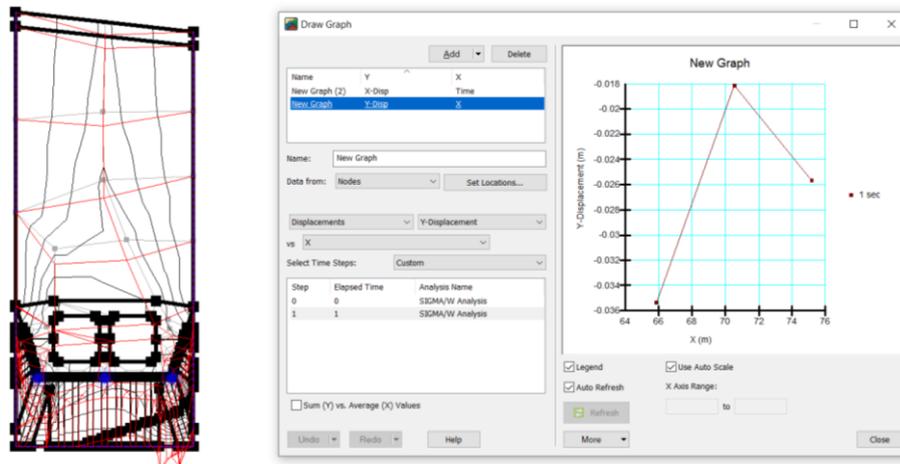
Gambar 13. Alternatif 1



Gambar 14. Alternatif 2



Gambar 15. Alternatif 3



Gambar 16. Alternatif 4

Tabel 6. *Displacement* dan efektifitas simulasi pada pondasi conduit

X (m)	Y-Displacement (m)					Efektivitas Dalam Simulasi (%)			
	Tanpa grouting	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
	a	b	c	d	e	(d/a).100	(e/a).100	(f/a).100	(g/a).100
65,88	-0,366	-0,037	-0,079	-0,044	-0,035	89,99	78,51	87,91	90,34
70,53	-0,527	-0,020	-0,037	-0,025	-0,018	96,21	93,07	95,21	96,56
75,18	-0,290	-0,024	-0,038	-0,034	-0,026	91,77	86,77	88,44	91,14
Rata-rata	-0,394	-0,027	-0,051	-0,034	-0,026	92,66	86,11	90,52	92,68

SIMPULAN

Berdasarkan beberapa analisis data yang dikumpulkan, dapat disimpulkan bahwa tanah pada pondasi conduit Bendungan Tugu Trenggalek memiliki tanah yang kurang baik di lokasi *displacement*. Hal tersebut menyebabkan terjadinya kasus *displacement* pada bangunan conduit antara 20 mm sampai dengan 60 mm dengan struktur dominan tanah Koluvial memiliki ketebalan 15 m sampai dengan 28 m. Pada lokasi *displacement* memperoleh hasil Test Lugeon pada pilot hole memperoleh nilai antara Lu 3.54 s/d Lu 104.13. Setelah melakukan grouting

dilanjutkan pengetesan lugeon didapatkan nilai Chek Hole Lugeon 1,01 s/d Lu 4,95 dengan syarat yaitu lugeon 5 mendapatkan nilai Nilai efektifitas grouting 53,9 ~ 89,6 % atau rata-rata 75% masuk dalam kategori Baik. Dengan simulasi menggunakan Sigma/W menunjukkan hasil *displacement* yang terkecil adalah alternatif 1 (kondisi pekerjaan lapangan) dengan nilai *displacement* - 0,027 dan desain tersebut bisa dikembangkan untuk mendapatkan hasil yang lebih mendekati dari batasan penurunan menggunakan alternatif 3 yang memiliki nilai *displacement* -

0,034 dan alternatif 4 mempunyai nilai *displacement* -0,026.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana berkat dukungan untuk memperoleh data dari tim Pembangunan Bendungan Tugu Di Kab Trenggalek yang dikerjakan oleh WIKA-APTA, untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada tim tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, M.S., 2017, *Modul Pengaturan Dan Konsepsi Keamanan Bendungan*, Bandung: Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Sumber Daya Air Dan Konstruksi.
- Bowles, J.E., 1997, *Foundation Analysis and Design International Student Edition Third Edition*, New York: Mc Graw-Hill.
- Bryson, L.S., R. Ortiz, dan J. Leandre, 2014, "Effects of a Grout Curtain on Hydraulic and Electrical Conductivity in a Laboratory-Scale Seepage Model", *Geo-Congress 2014 Technical Papers* 234(Geo-Characterization and Modeling for Sustainability): 3233–42.
- BSN, 2000, *Tata Cara Pengontrolan Sungai Bag-1 (SNI 03-6456. 1-2000)*, Indonesia: Badan Standardisasi Nasional.
- BSN, 2008a, *Cara Uji Kelulusan Air Bertekanan Di Lapangan (SNI 2411-2008)*, Indonesia: Badan Standardisasi Nasional.
- BSN, 2008b, *Tata cara pencatatan dan identifikasi hasil pengeboran inti (SNI 2436:2008)*, Indonesia: Badan Standardisasi Nasional.
- Budiyanto, Kadar, 2010, *Pelaksanaan Grouting Bendungan Sangiran*, Ngawi: Tim Pelaksanaan Boring dan Grouting Bendungan Sangiran Ngawi.
- Das, Braja M., dan Khaled Sobhan, 2014, *Principles of Geotechnical Engineering, Eighth Edition*, SI. Stamford: Cengage Learning.
- Dwiyanto, J.S., 2005, *Hand Out Geoteknik*, Bandung : Dep Pekerjaan Umum.
- Ewert, Friedrich-Karl, dan Ulrich Hungsbrg, 2018, *Rock Grouting at Dam Sites*, frankfurt: Springer.
- Fan, G., D. Zhong, F. Yan, dan P. Yue., 2016, "A hybrid fuzzy evaluation method for curtain grouting efficiency assessment based on an AHP method extended by D numbers, Expert Systems with Applications", *Expert Systems with Applications* 44:289–303.
- Mulyono, Joko, 2017, "Konsepsi Keamanan Bendungan." *Junal Infrastruktur* 3:62–69.
- Nurnawaty, Suhardiman, dan Ihwan, 2018, "Analisis Rembesan Pada Bendungan Tipe Urugan (Uji Simulasi Lab)." *Jurnal Teknik Hidro* 11(1):12–22.
- Pearson, R., dan S. Money, M., 1977, "Improvement in the Lugeon or Packertest Permeability test." *Q. Jl Eng Geology* 10:221–39.
- PUPR, 2015, *Peraturan Menteri PUPR nomor 27/PRT/M/2015*. Jakarta: JDIH Kementerian

- PUPR.
- PUPR, 2016, *Petunjuk Teknis Pengujian Tanah*, Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- SDA, 2005, *Pedoman Grouting Untuk Bendungan*, Jakarta: Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.
- Skempton, A., dan D. Macdonald, 1955, "A Survey of Comparisons between Calculated and Observed Settlement of Structures on Clay", *Correlation of Calculated and Observed Stresses and Displacements* 318–37.
- Sosrodarsono, Suyono, dan Kansaku Takeda, 1977, *Bendungan Type Urugan (Edisi ke-2)*, Jakarta: PT. Pradndya Paramita.
- Sudaryanto, Eddi, 2020, *Laporan Konsultan Bulan Maret*, Trenggalek: Tim Konsultan Bendungan Tugu Trenggalek.