TECHNO
Vol.26, No.1, April 2025, Hal. 41~52
P-ISSN: 1410-8607, E-ISSN: 2579-9096

EVALUASI PERBAIKAN PONDASI KONDUIT DENGAN METODE GROUTING

Andy R Irfan[1], Moch solikin [2], Sri Sunaryono[3]
Program Studi Megister Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta
FakultasTeknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Informasi Makalah

Dikirim,
Direvisi,
Diterima,

Kata Kunci*:*

Displacement
Efektivitas
Nilai Lugeon
Grouting

INTISARI

Bendungan Tugu merupakan salah satu Proyek Strategis Nasional yang terletak di Trenggalek, Jawa Timur. Konstruksi bendungan adalah praktik lama, sehingga sejarah bendungan menunjukkan inovasi besar dalam ilmu rekayasa. Inovasi tersebut tidak hanya untuk desain pondasi, tetapi untuk perbaikan kegagalan pondasi. Pada konduit di bendungan Tugu terjadi deformasi sejauh 20 mm - 60 mm. Alternatif perbaikan kegagalan pondasi adalah grouting. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi permasalahan pada keruntuhan pondasi dan mengevaluasi efektivitas grouting berdasarkan nilai lugeon dan nilai displacement yang disimulasikan oleh software. Hasil pengujian tekanan air didapatkan nilai Lugeon pada tanah colluvial dengan kedalaman 15 -28 m adalah 3,54 – 104,13. Setelah pekerjaan grouting dilakukan, nilai Lugeon pada Check Hole adalah 1,01 – 4,95, sehingga efektivitas grouting adalah 75%.

Keyword*:*

Displacement

Effectiveness

Lugeon value

Grouting

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 result of water pressure test is that the Lugeon value on the colluvial soil with a depth of 15 -28 m is 3.54 – 104.13. After grouting works is carried out, the Lugeon value on Check Holes is 1.01 to 4.95, so the effectiveness of grouting is 75%.

Korespondensi Penulis:

Andy Rosyulianta Irfan
Program Studi Magister Teknik Sipil
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. Ahmad Yani, Pabelan, Kartasura, Surakarta 57162, Jawa Tengah – Indonesia
Email: andyrosyulianta10@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Perkembangan infrastruktur sipil di Indonesia saat ini sedang meningkat pesat. Salah satunya adalah bendungan (dam) pemerintah mencanangkan sebanyak 65 buah [1], 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 [2]. 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 [3]. 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 pengeloliaannya dilaksanakan berdasarkan pada Konsepsi

Keamanan bendungan yang terdiri dari 3 pilar keamanan struktur berupa aman terhadap kegagalan stuktural, aman terhadap kegagalan hidraulis, dan aman terhadap kegagalan rembesan. Operasi, pemeliharaan dan pemantauan dan Kesiapsiagaan tindak darurat. Bendungan secara keseluruhan, termasuk tubuh bendungan, pondasi, abutmen (bukit tumpuan) dan lereng sekeliling waduk, harus aman pada semua kondisi (selesainya pembangunan, rembesan tetap, surut cepat, luar biasa) dan kombinasi beban yang bekerja (tanpa gempa dan dengan gempa) serta aman dioperasikan pada segala kondisi [4].

Pondasi merupakan bagian terpenting dalam perencananaan kontruksi. 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 [5]. Pondasi yang tidak kuat mengakibatkan ketidak stabilan suatu bangunan di atasnya sehingga menimbulkan potensi kegagalan infrastruktur bangunan termasuk bangunan konduit, grouting menjadi teknik remediasi geoteknik yang sering diaplikasikan pada fondasi dalam pembangunan bendungan ataupun tanggul tanah (earthen impoundments) [6],[7],[8]. Grouting adalah penyuntikan bahan semi kental (slurry material kedalam tanah atau batuan melalui lubang bor dengan tujuan menutup diskontruksi terbuka, rongga-rongga dan lubang-libang pada lapisan yang dituju untuk meningkatkan kekuatan tanah, pelaksanaan grouting meliputi penentuan titik grouting, uji permeabilitas (uji kelulusan air bertekanan), pemboran dan grouting [9]. Grouting sebagai penginjeksian material perekat ke dalam tanah atau batuan yang lulus air dengan tujuan untuk menutup pori dan rekahan [10].

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 [11]. Hasil uji kelulusan air menunjukkan anomali antara aliran terhadap tekanan, kemudian dari grafik uji kelulusan air bertekanan dapat mengidentifikasikan displacement yang terjadi, yakni plastic atau elastic displacement [12].

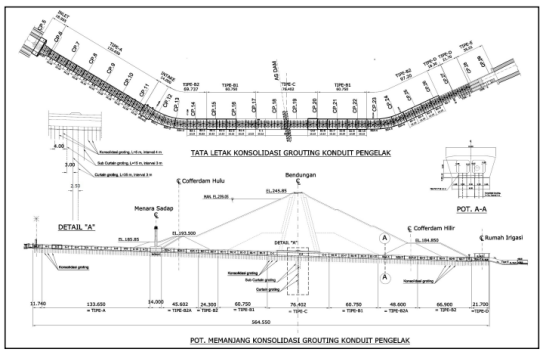
Pada pembangunan Bendungan Tugu memiliki kondisi geologi pondasi yang tidak bisa diprediksi, menyebabkan pondasi yang awalnya di prediksi kuat menahan beban terjadi displacement 20 mm – 60 mm pada konduit setelah dilaksanakan timbunan ±13 m [13]. Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini perlu dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan berkaitan dengan pondasi konduit. Selain itu tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi efektivitas grouting berdasarkan nilai lugeon dan nilai displacement pada simulasi. Identifikasi dilakukan dengan cara pengeboran daerah displacement dengan data tersebut untuk melakukan perbaikan pondasi mengunakan metode grouting dan digunakan juga pada simulasi mengunakan Geo studio.

2. METODE

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah di Bendungan Tugu yang dibangun dengan cara membendung Sungai Keser terletak di Dusun Keser, Desa Nglinggis, Kecamatan Tugu, Kabupaten Trenggalek. Secara geografis, lokasi ini berada pada posisi 1110 34’ - 1110 37’ Bujur Timur, dan 80 1’ - 80 3’ Lintang Selatan. Area tersebut dapat dilalui dengan melewati jalan raya Trenggalek - Ponorogo, di Desa Pucanganak, Kecamatan Tugu (± km 15 dari Trenggalek) belok kiri ke arah Desa Nglinggis yang berjarak ± 1,5 km yang dapat dilihat pada Gambar 1. Dan gambar 2. Menunjukan lokasi daerah penelitian yang terjadi displacement.

(1)



(2)

Gambar 1 Lokasi Bendungan Tugu Trenggalek

Gambar 2 Tata Letak Displacement pada Pondasi Konduit

2.2. Langkah-langkah Kegiatan

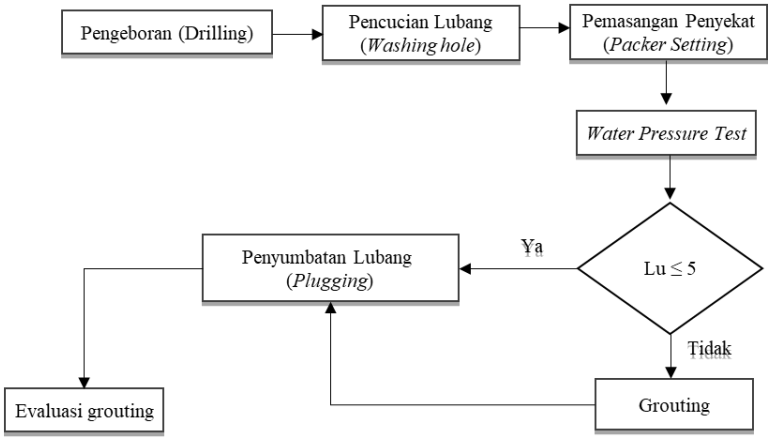
Beberapa hal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

A. Identifikasi permasalahan geologi

Metode yang biasa dilakukan untuk menentukkan kondisi tanah bawah permukaan dan pengambilan contoh menurut [14] adalah dengan melakukan pengeboran pada titik di area tempat pondasi. Setiap jenis peralatan bor dengan kapasitas kedalaman yang cukup dapat dipakai untuk membuat lubang bor. Dua buah metode yang biasa dipakai adalah dengan injeksi air (wash boring) dan bor (auger).

B. Evaluasi efektivitas grouting berdasarkan nilai lugeon

Sebelum perbaikan pondasi mengunakan grouting, tahap awal yang dilakukan adalah pengeboran lubang, pencucian dan memasang packer. Dilanjutkan dengan pengetesan WPT untuk mendapatkan nilai lugeon, hasil lugeon akan menentukan perlu dilakukan groting atau tidak. langkah berikutnya penutupan lubang (plaging) langkah terakhir adalah evaluasi hasil lugeon sebelum dan setelah garouting (check hole) secara ringkas prosedur evaluasi grouting ditunjukan pada gambar 3.



Gambar 3 Tahap Evaluasi Grouting

B.1 Perhitungan dan Penentuan Nilai Lugeon

Menurut [15] nilai lugeon (LU) untuk uji kelulusan air bertekanan di lapangan dapat dihitung dengan Rumus. 1 dan efektivitas grouting mengunakan Rumus 2

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

dengan:

Q = Debit air yang masuk (liter/menit) melalui lubang bor berukuran NX yaitu berdiamater 75,7 mm,
P = Tekanan uji, (kg/cm2)
L = Panjang bagian yang diuji, (m),
V = Volume air yang diinjeksikan, (liter) ke dalam

Berdasarkan Cendergren (1967) dikutip dalam [16]besarnya efektivitas grouting ditunjukkan oleh besarnya perubahan kelulusan air sebelum dan setelah dilakukan grouting. Rumus yang diterapkan untuk menentukan efektivitas grouting, sebagai berikut:

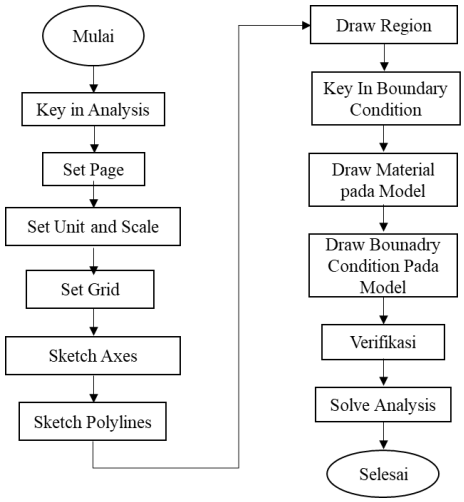
Efs = 100 – (Kg/K)*10 .....(2)

dengan:

Efs = Efektivitas grouting dalam persen (%),
Kg = Kelulusan air sesudah grouting,
K = Kelulusan air sebelum grouting

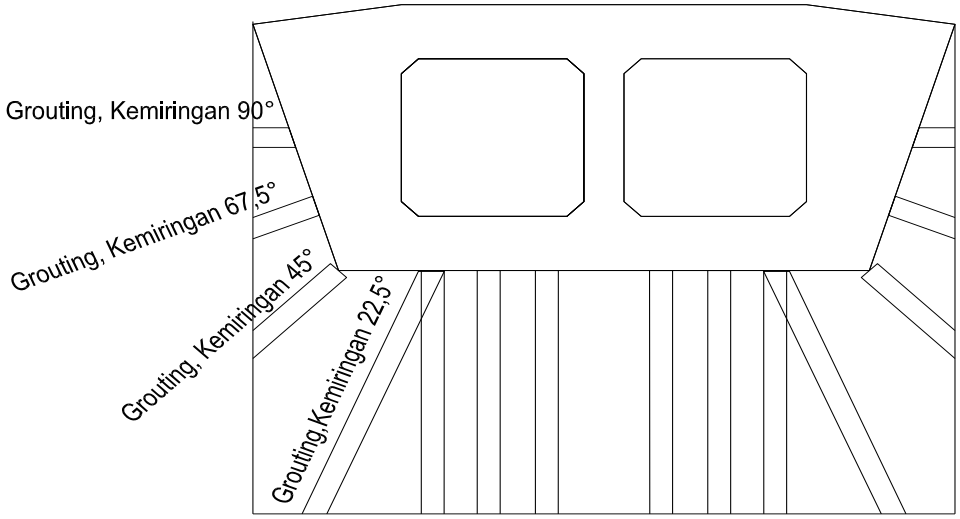
C. Simulasi

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

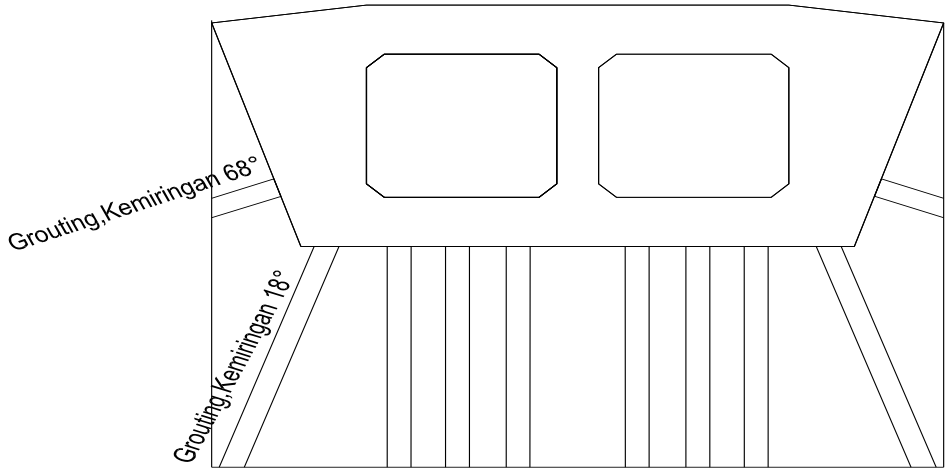


Gambar 4 Langkah SIGMA/W

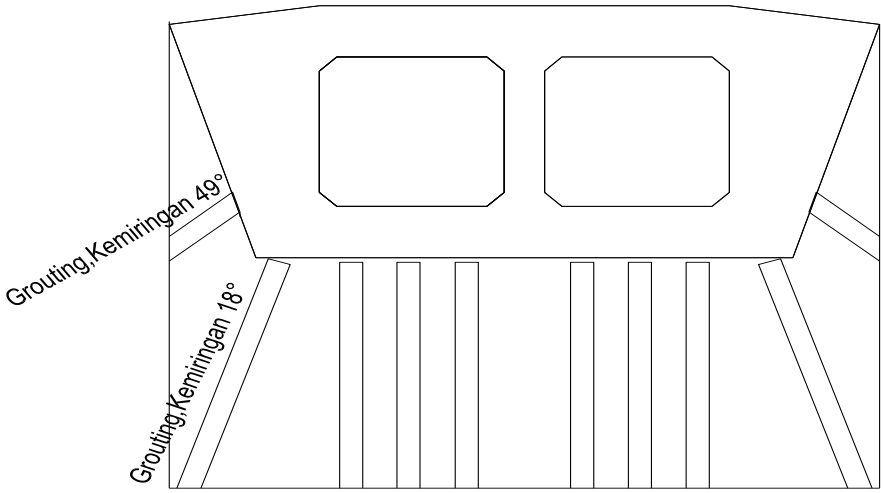
Tahap ini merupakan tahap evaluasi dengan mengunakan sofwere SIGMA/W. Pemodelan ini membuat 4 alternatif. Alternatif 1 adalah alternatif yang digunakan pada kondisi eksisting, perbedaan alternatif 2 sampai alternatif 4 adalah jumlah lubang grouting dan sudut kemiringan grouting.



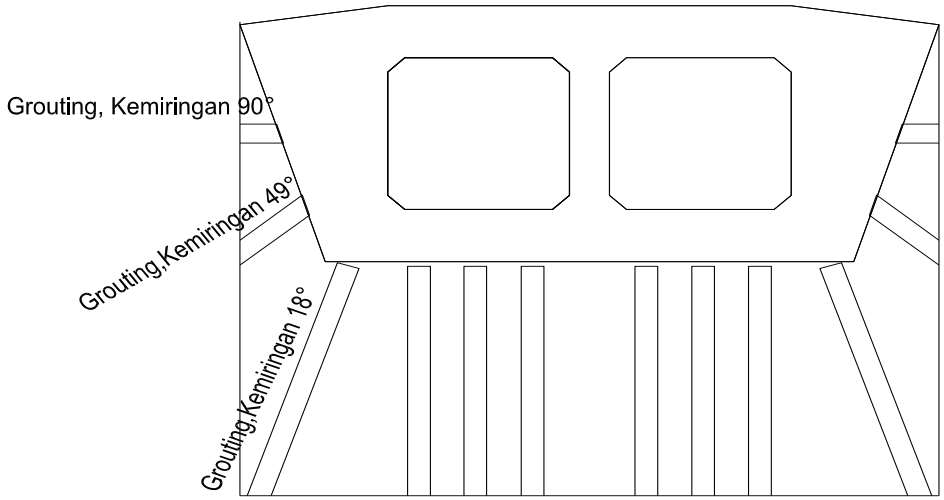
Gambar 5 Alternatif 1



Gambar 6 Alternatif 2



Gambar 7 Alternatif 3

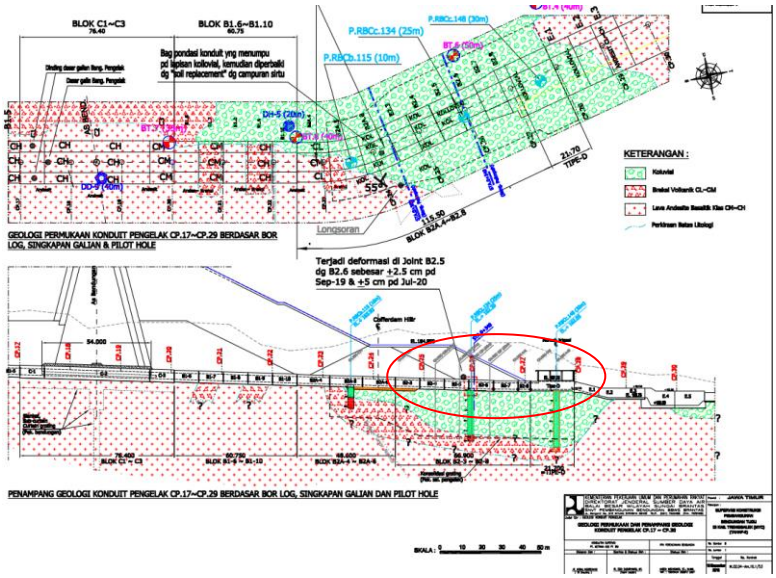


Gambar 8 Alternatif 4

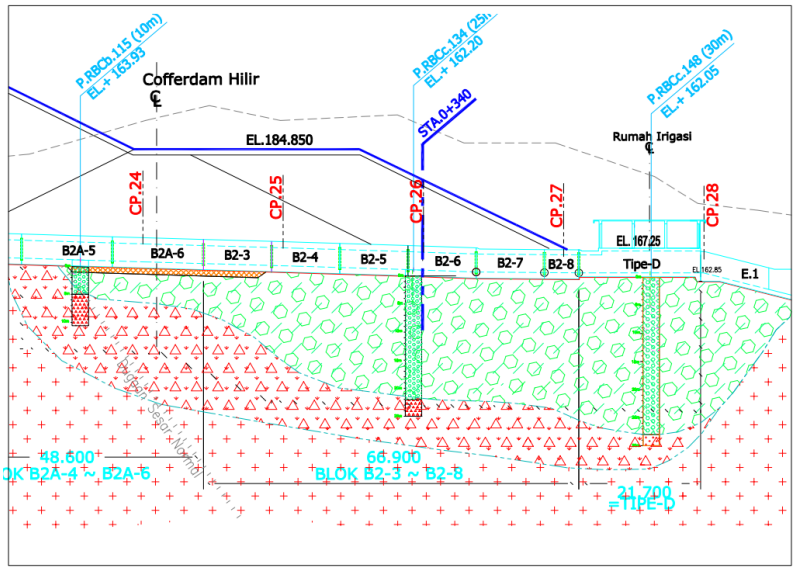
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Identifikasi Kinerja Pondasi Konduit di Bendungan Tugu Trenggalek

Pelaksanaan pekerjaan konduit sampai dapat di fungsikan tidak terjadi masalah, tetapi pada saat timbunan naik ±13 m terjadi displacement (defprmasi) pada CP 24 sampai CP 27. Oleh karena itu, pekerjaan tersebut di hentikan supaya tidak terlalu parah displacementnya. 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 mengambarkan 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 kollovial dengan warna abu-abu kecoklatan kondisi batuan tersebut padat lapuk lanjut fragmentnya rendah dapat di patahkan dengan tangan dan daya dukung rendah, sedangkan Breksi Volkanik 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 di tunjukan pada tabel 2.



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



Gambar 10 Denah Jenis dan Klas Batuan detail

Tabel 1 Diskripsi Geologi Daerah Displacement

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

Tabel 2 Jenis Pondasi dan Hasil Investigasi

No	Jenis Pondasi	Gambar
1	Koluvial	
2	Breksi Vulkanik	

Tabel 1 menunjukan bahwa pada bagian konduit CP 24- CP 28 hasil investigasi geologi pondasi konduit terdapat lapisan koluvial dengan kedalaman 5 m – 28 m.. Dan tabel 2 menunjukan 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.

3.2. Evaluasi Efektivitas Grouting Berdasarkan Nilai Lugeon

Penilaian keberhasilan grouting tergantung pada sifat lubang grouting dalam menerima injeksi semen atau bahan lainya. Lubang uji atau check hole adalah suatu pelaksanaan metode uji bor pengambilan inti batuan (core box), uji water pressure test, dan uji permeabiltas. Dengan cara itu dapat mengestimasi efektivitas dari grouting. Untuk itu pada batuan pondasi konduit dilakukan uji check hole.

Pengetesasn awal mengunakan tes WPT dengan mengunakan tekanan yang sudah ditentukan, setelah dilakukan pengetesan diketahui lubang itu harus dilakukan grouting atau tidak. Hasil pengujian WPT disebut dengan nilai Lugeon seperti yang ditunjukan 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	23.70
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 menunjukan 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 menunjukan bahawa 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.

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**

Check hole berfungsi sebagai evaluasi keberhasilan grouting yang telah dilaksanakan, Tabel 4 menunjukan check hole sebanyak 27 lubang. Rata-rata nilai lugeon 3,10 – 3,92 menunjukan 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.

Tabel 5 Pengaruh dan Efektivitas Grouting pada Konduit

Stage	Depth	Presurre (kg/cm^2)	PILOT HOLES Lugeon (Lu)	PRIMARY HOLES Lugeon (Lu)	SECONDARY HOLES Lugeon (Lu)	CHECK HOLES Lugeon (Lu)	EFFECT. GROUTING %	REMARKS
(1)	(2)	(3)	(5)	(6)	(7)	(8)	5) = 100 - {(8)/(5)}*100	
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 (baik)
3	5.00	5.0	14.66	9.42	7.38	3.67	75.0	Good (baik)
4	5.00	7.0	14.42	7.36	5.77	3.76	74.0	Good (baik)
5	5.00	10.0	6.94	5.36	4.80	3.20	53.9	acceptable (cukup)
6	5.00	13.0	4.35			3.10		Target Lugeon < 5, terpenuhi
Median							**75.0**	

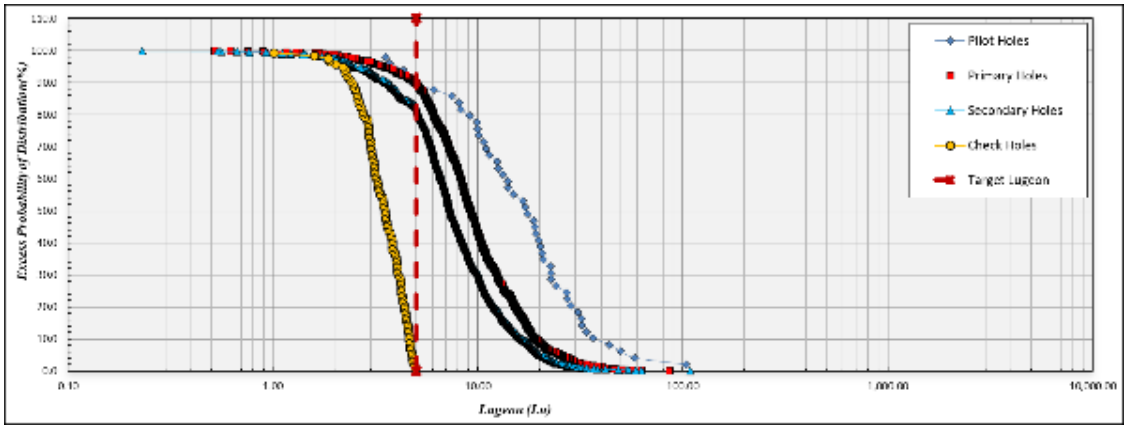
Remarks :

* The formula used to calculate the Grout Efective by Ced*Percen Calculation to the Grouting Effect :

Efs = 100 - (kg/k)100

Efs = Efektivitas grouting in persen (%)
Kg = Passing water after Grouting
K = Passing water before Grouting

Percen (%)	Effects
> 90	excellent (baik sekali)
60 - 90	Good (baik)
30 - 60	acceptable (cukup)
10 - 30	less (kurang)
< 10	poor (jelek

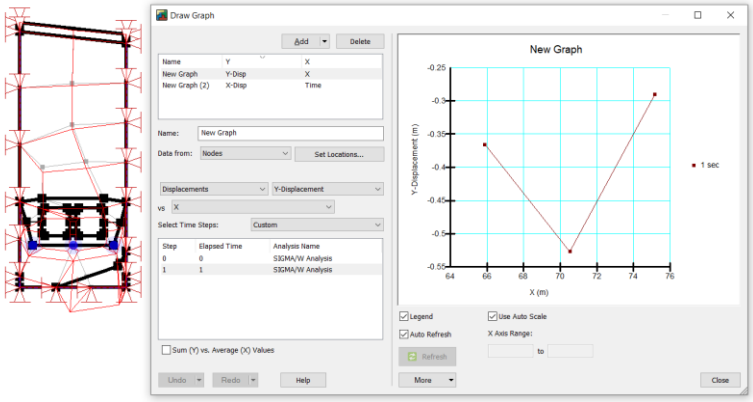


Gambar 11 Grafik Evaluasi Lugeon

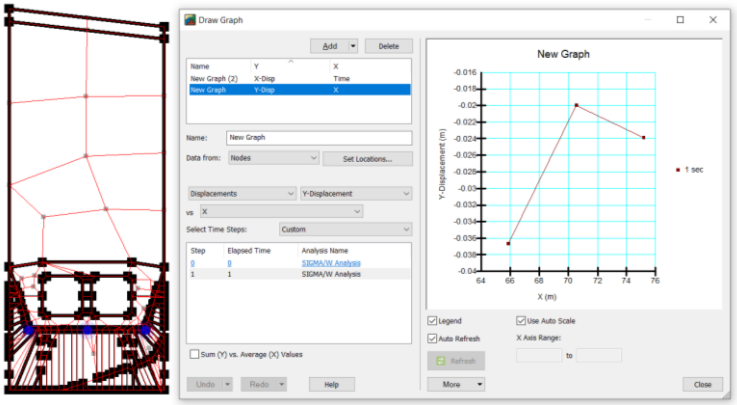
Perbaikan pondasi mengunakan grouting dilakukan dengan kedalaman 15 m – 25 m yang terdiri dari 272 lubang primer dan 285 lubang sekunder. untuk memperbaiki pondasi koluvial. Metode yang digunakan pekerjaan grouting yaitu metode lompat katak dengan down stage. Hasil Test Lugeon pada pilot hole memperoleh 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 pengetesan 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 75.0% masuk dalam kategori Baik.

3.3. Evaluasi Efektivitas Grouting Berdasarkan Nilai Displacement pada Simulasi

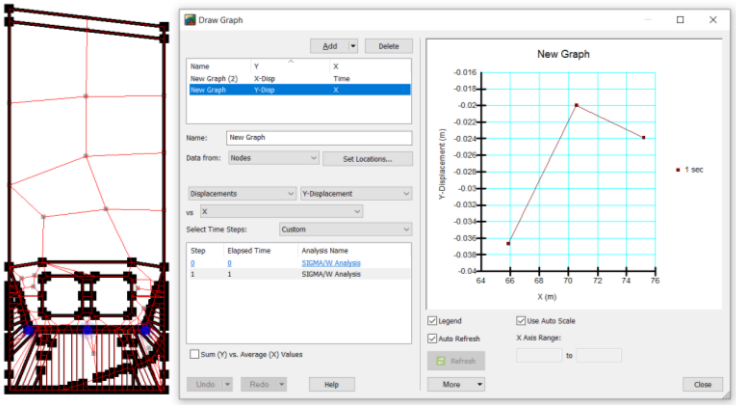
Simulasi mengunakan sofwere Sigma/W dengan tinjauan displacement. Pengumpulan data dan pemodelan menggunakan data perencanaan dari konsultan dengan pendekatan pengambilan material yang di uji. Pemodelan potongan dengan kondisi geologi mengunakan beban maksimal timbunan sesuai dengan desain Bendungan Tugu Trenggalek. Ditunjakan pada gambar 12 sampai gambar 16.



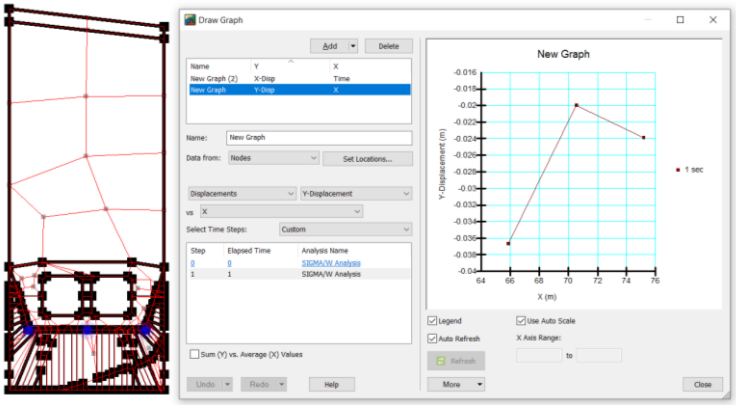
Gambar 12 Tanpa Grouting



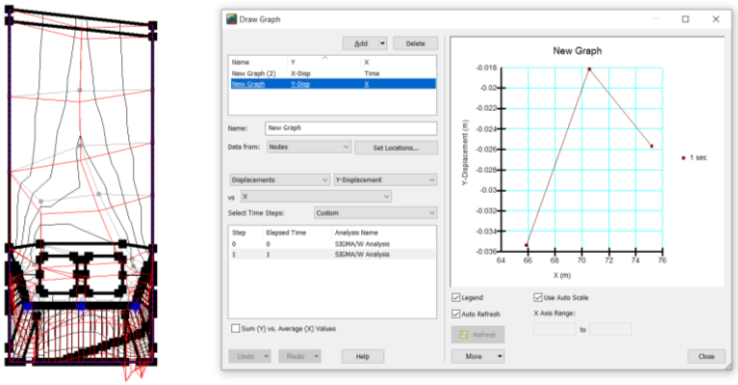
Gambar 13 Alternatif 1



Gambar 14 Alternatif 2



Gambar 15 Alternatif 3



Gambar 16 Alternatif 4

Setelah melakukan analisis mengunakan sigma/w data yang diambil adalah data displacement mendapatkan efektivitas seperti tabel 6.

Tabel 6 Displacement dan Efektivitas Simulasi pada Pondasi Konduit

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	100-(b/a).100	100-(c/a).100	100-(d/a).100	100-(e/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**

Memperoleh hasil kondisi tanpa perbaikan pondasi dan melakukan beberapa alternatif menunjukan bahwa displacement terjadi di semua simulasi tetapi hasil dari simulasi tanpa mengunakan grouting menunjukan 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 ditunjukan pada alternatif 1 memiliki displacement yang terbaik dari beberapa alternatif dengan displacement rata-rata 0.027 m dan bisa dilakukan penghematan dengan pengurangan lubang grouting perubahan desain dengan acuan mendekati pada batasan penurunan yaitu 40 mm [17], ditunjukan pada alternatif 3 memiliki nilai displacement 0.034 m dan alternatif 4 yaitu 0.026 m.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan beberapa analisis data yang dikumpulkan, dapat disimpulkan bahwa. Tanah pada pondasi konduit Bendungan Tugu Trenggalek memiliki tanah asli di area displacement kurang baik yang menyebabkan terjadinya kasus displacement pada bangunan konduit antara 20 mm sampai dengan 60 mm yakni dominan tanah koluvial dengan ketebalan 15 m sampai dengan 28 m yang terdapat pada gambar 10. Selanjutnya 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 efektivitas grouting 53.9 ~ 89.6 % atau rata-rata 75.0% masuk dalam kategori Baik

Kesimpulan terakhir didapatkan hasil simulasi mengunakan Sigma/W menunjukan hasil displacement yang paling kecil adalah alternatif 1 (kondisi pekerjaan lapangan) dan desain tersebut bisa dikembangkan untuk mendapatkan hasil yang lebih mendekati dari batasan penurunan mengunakan alternatif 3 dan alternatif 4.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Mulyono J, "Konsepsi Keamanan Bendungan," *Jurnal Infrastruktur*, vol. 3, pp. 62–69, 2017.
[2] Suhardiman and Nurnawaty, "Analisis Rembesan Pada Bendungan Tipe Urugan (Uji Simulasi Lab)," *Jurnal Teknik Hidro*, vol. 11, no. 1, pp. 12–22, 2018.
[3] BSN, "Tata Cara Pengontrolan Sungai Bag-1," 2000
[4] M. S. Arsyad, "Modul Pengaturan dan Konsepsi Keamanan Bendungan," Bandung, 2017.
[5] J. E. Bowles, *Foundation Analysis and Design International Student*, Third Edition. Mc Graw-Hill, 1981.
[6] L. S. Bryson, R. Ortiz, and J. Leandre, "Effects of a Grout Curtain on Hydraulic and Electrical Conductivity in a Laboratory-Scale Seepage Model," in *Geo-Congress 2014 Technical Papers*, Reston, VA: American Society of Civil Engineers, Feb. 2014, pp. 3233–3242. doi: 10.1061/9780784413272.314.
[7] Fan G, Zhong D, and Yan F, "A Hybrid Fuzzy Evaluation Method for Curtain Grouting Efficiency Assessment Based on an AHP Method Extended by D Numbers," *Expert Syst Appl*, 2016.
[8] Sosrodarsono S and Takeda K, *Bendungan Type Urugan*, Second Edition. Jakarta, 1977.
[9] J. S. Dwiyanto, "Hand Out Geotehnik," in *Hand Out Geotehnik*, Bandung: Departemen Pekerjaan Umum, 2005.
[10] K. Budiyanto, "Pelaksanaan Grouting Bendungan Sangiran," Ngawi, 2010.
[11] Pearson R and Money S, "Improvement in the Lugeon or Packertest Permeability Test," *Q. Jl Eng Geology1*, vol. 10, pp. 221–239, 1977.
[12] F. K. Ewert and Hungsbrg, "Rock Grouting at Dam Sites," *Springer*, 2018.
[13] E. Sudaryanto, "Laporan Konsultan Bulan Maret," Trenggalek, 2020.
[14] J. E. Bowles, *Sifat–sifat Fisis dan GeoteknisTanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga, 1991.
[15] BSN, "Cara Uji Kelulusan Air Bertekanan Di Lapangan," 2008
[16] SDA PUPR, "Pedoman Grouting Untuk Bendungan," Jakarta, 2005.
[17] D. H. Skempton, A.W, and Macdonald, "A Survey of Comparisons between Calculated and Observed Settlement of Structures on Clay," in *Correlation of Calculated and Observed Stresses and Displacemen*, 1955, pp. 318–337.