

PENGARUH KEDALAMAN GROUTING SEMEN SEBAGAI LANGKAH MITIGASI PENURUNAN TANAH BERMASALAH PADA BANGUNAN SATU LANTAI DI KABUPATEN WONOSOBO

Rafinda Rahma Rosyada¹, Galuh Chrismaningwang^{1*}, Niken Silmi Surjandari¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

*galuh@ft.uns.ac.id

Diterima: 24/08/2024

Direvisi: 12/02/2025

Dipublikasikan: 21/04/2025

ABSTRACT

Organic soils are characterized by low bearing capacity, which poses significant challenges in construction projects. This issue is exemplified in a one-story shop building located in the Dieng area, Wonosobo Regency, which has suffered severe structural damage after 7 years. One of the remediation methods employed to address this problem is cement grouting. This study aims to assess the impact of grouting depth on the settlement behavior of organic soil. The depths evaluated were 15 cm, 30 cm, and 50 cm. Settlement analysis was conducted using Plaxis 2D software with a Soft Soil Creep model, deemed suitable for calculating both primary and secondary consolidation settlements, representative of organic soils. The initial soil condition without grouting was analyzed as a control for the three variations in grouting depth. The analysis results indicated that the settlement in the initial condition was 42.85 cm. The settlements at depths of 15 cm, 30 cm, and 50 cm were 39.65 cm, 36.21 cm, and 30.86 cm, respectively. The corresponding deviations in settlement for depths of 15 cm, 30 cm, and 50 cm were 7.47%, 15.49%, and 27.99%, respectively. The analysis results demonstrate that greater grouting depths result in reduced settlement magnitudes.

Keywords : cement grouting; depth of grouting; Plaxis; organic soil

ABSTRAK

Tanah organik merupakan tanah yang memiliki daya dukung rendah sehingga menyebabkan permasalahan konstruksi. Seperti pada bangunan ruko satu lantai yang berada di kawasan Dieng, Kabupaten Wonosobo. Setelah 7 tahun, bangunan mengalami kerusakan struktur yang parah. Salah satu upaya menanggulangi permasalahan tersebut yaitu perbaikan tanah metode grouting semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kedalaman grouting semen terhadap penurunan yang terjadi pada tanah organik. Variasi kedalaman yang digunakan yaitu 15 cm, 30 cm dan 50 cm. Analisis penurunan menggunakan software Plaxis 2D dengan material Soft Soil Creep yang dinilai mampu menghitung besar penurunan konsolidasi primer dan konsolidasi sekunder sesuai dengan representasi tanah organik. Kondisi awal tanah tanpa grouting dianalisis sebagai kontrol dari tiga analisis variasi kedalaman grouting yang dilakukan. Hasil analisis menunjukkan penurunan yang terjadi pada kondisi awal yaitu sebesar 42,85,77 cm. Penurunan yang terjadi untuk kedalaman 15 cm, 30 cm dan 50 cm sebesar 39,65 cm; 36,21 cm; dan 30,86 cm. Dari hasil tersebut didapatkan deviasi penurunan yang terjadi pada kedalaman 15 cm yaitu 7,47%, 30 cm sebesar 15,49% dan kedalaman 50 cm sebesar 27,99%. Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin dalam grouting semen yang dilakukan semakin kecil pula besar penurunan yang terjadi.

Kata kunci : grouting semen; kedalaman grouting; Plaxis; tanah organik

A. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki lahan gambut tropis terbesar di dunia, mencapai 13,43 juta hektar, tersebar di tiga pulau utama: Sumatera, Kalimantan, dan Papua (ArcGIS, 2022).

Lahan gambut terbentuk dari tanah gambut yang memiliki lapisan organik yang membusuk (Page & Baird, 2016) pada keadaan jenuh air maupun kekurangan oksigen (Cole et al., 2015). Dieng adalah satu daerah di Jawa Tengah. Meskipun bukan wilayah lahan gambut, salah satu lokasi di daerah Dieng memiliki tanah yang berperilaku seperti tanah gambut tepatnya di Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo. Tanah ini diduga merupakan sedimentasi dari Telaga Warna yang kaya bahan organik, sehingga diklasifikasikan sebagai tanah organik. Bangunan satu lantai di Dieng disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Bangunan satu lantai di Dieng

Lokasi ini berjarak kurang lebih 10 meter dari Telaga Warna. Pada lokasi tersebut terdapat bangunan satu lantai yang digunakan sebagai ruko atau pusat perbelanjaan oleh-oleh. Dibangun pada tahun 2017, ruko tersebut mengalami kerusakan parah dalam kurun 7 tahun, termasuk keretakan balok dan dinding, patahnya balok, dan penurunan fondasi. Kerusakan ini disebabkan oleh tanah organik sebagai dasar fondasi dengan kapasitas dukung rendah.

Untuk mengatasi daya dukung rendah, salah satu mitigasi yang dapat dilakukan yaitu melakukan perbaikan tanah dengan metode *grouting* semen (Manalu, 2013). Pemilihan metode dipilih berdasarkan keadaan lapangan. *Grouting* memungkinkan perbaikan tanah tanpa melakukan pembongkaran menyeluruh pada bangunan. Sehingga

dana yang dikeluarkan tentu akan lebih sedikit daripada metode lain yang membutuhkan pembongkaran menyeluruh dan rekonstruksi. Sehingga metode *grouting* dinilai ekonomis dan mudah dilaksanakan pada kasus penurunan tanah di bangunan satu lantai yang berada di Dieng.

Grouting adalah suatu sistem perbaikan tanah yang dilakukan dengan cara menyuntikkan/menginjeksikan material perekat ke dalam tanah atau batuan yang lolos air dengan tujuan untuk menutup pori atau rekahan agar dapat meningkatkan daya dukung tanah Atmanto, (2013) salah satunya yaitu semen (Wulandari et al., 2023). Menurut Warner, (2011) macam *grouting* antara lain *permeation grouting*, *compaction grouting*, *fracture grouting*, *mixing/jet grouting*, *fill grouting*, *vaccum grouting*. *Grouting* juga efektif untuk mengurangi permeabilitas dengan mengisi pori-pori tanah untuk mencegah rembesan air yang dapat merusak struktur (Sari, 2017).

Penambahan material pengencer ataupun zat aditif juga dilakukan agar material dapat terdistribusi dengan maksimal (Said et al., 2023) seperti sika *grout* (Suganda et al., 2023) atau kapur (Eka Putra et al., 2022). *Grouting* dilakukan dengan mesin khusus (Makruf et al., 2024). Tekanan pada saat penginjeksian material juga dikontrol menggunakan mesin tersebut. Kedalaman *grouting* dapat bervariasi tergantung kebutuhan dan keadaan lapangan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kedalaman *grouting* pada penurunan tanah di daerah lokasi penelitian. Penelitian dilakukan dengan pengujian laboratorium untuk mendapatkan parameter tanah dan analisis penurunan dilakukan dengan *modelling* dari *software Plaxis 2D*. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat menjadikan referensi pelaksanaan *grouting* ataupun dijadikan sebagai penelitian berkelanjutan.

Penelitian terdahulu tentang *grouting* dilakukan oleh Indrawati et al., (2022), menyelidiki tentang pengaruh variasi kedalaman *grouting* terhadap beban maksimum yang dapat diterima tanah. Dengan total 6 tipe jenis kedalaman sebaran *grouting* yaitu 3 tipe pada *inter layer subgrade* dan 3 tipe lainnya *upper layer subgrade*. Analisis permodelan menggunakan *software Plaxis 2D*, dengan hasil menunjukkan beban maksimum yang semakin meningkat pada tanah yang diberi *grouting*. Semakin dalam kedalaman *grouting*, semakin besar pula nilai beban maksimum yang dapat diterima serta penurunan yang terjadi juga semakin kecil.

Penelitian tentang variasi kedalaman *grouting* juga dilakukan oleh Yuanita et al., (2022), menganalisis tentang besar penurunan dari variasi kedalaman *grouting* dan juga perbandingan antara tanah asli dan material *grouting*. Variasi panjang sebaran *grouting* yang digunakan yaitu 0,5 m, 2,5 m, 5,5 m dan variasi komposisi campuran parameter tanah asli dengan parameter *grouting* yaitu 10% dan 20% material *grouting*. Hasil analisis didapatkan penurunan tanah sebesar 2,892 cm sebelum diberi perkuatan. Setelah diberi perkuatan dengan kedalaman 0,5 m mengalami pengecilan penurunan dengan rata-rata 38%, untuk kedalaman 2,5 sebanyak 46% dan untuk kedalaman 5,5m mengalami pengecilan sebanyak 72%. Untuk variasi dari perbandingan tanah asli dan *grouting* memiliki nilai yang hampir sama walaupun dalam variasi kedalaman yang berbeda.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Fanica & Susilo, (2019) menganalisis efektivitas kedalaman *grouting* pada tanah lunak, dengan fokus pada dampaknya terhadap daya dukung lateral fondasi tiang. Hasil analisis menunjukkan peningkatan daya dukung yang signifikan seiring dengan kedalaman *grouting* yang diterapkan.

Penelitian juga dilakukan oleh Eka Putra et al., (2022) tentang pengaruh penggunaan bahan *grouting* pada Jalan Trans Palangka Raya-Kuala Kurun Km 99. Perbandingan penelitian yaitu daya dukung sebelum dilakukan *grouting* dan setelah dilakukan *grouting*. Analisis dilakukan secara empiris dan menggunakan tiga tipe perbedaan jumlah komposisi bahan *grouting*.

Penelitian tentang variasi kedalaman *grouting* terdahulu dilakukan di Ruas Jalan Tuban – Gresik – Lamongan, sedangkan lokasi penelitian ini dilakukan dengan data tanah yang berada pada Kawasan Telaga Warna Dieng Kabupaten Wonosobo yang belum pernah dilakukan oleh penelitian sebelumnya. Variasi kedalaman juga akan dilakukan seperti penelitian oleh Indrawati et al., (2022) dimana peneliti menggunakan variasi sebaran 0,5 m; 2,5m dan 5,5. Penelitian yang akan dilakukan menggunakan variasi kedalaman 15 cm, 30 cm dan 50 cm.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan membandingkan hasil penurunan tanah sebelum *grouting* dan sesudah *grouting* dengan variasi kedalaman *grouting* yaitu 15 cm, 30 cm dan 50 cm. Analisis penurunan dilakukan menggunakan *software Plaxis 2D*.

Model material yang akan digunakan yaitu model *Soft Soil Creep* dan *Mohr Coulomb*. Model *Soft Soil Creep* digunakan sebagai permodelan tanah organik karena

perhitungannya mempertimbangkan konsolidasi primer dan sekunder sesuai karakter dari tanah organik. Sedangkan untuk tanah selain tanah organik menggunakan *Mohr Coulomb*.

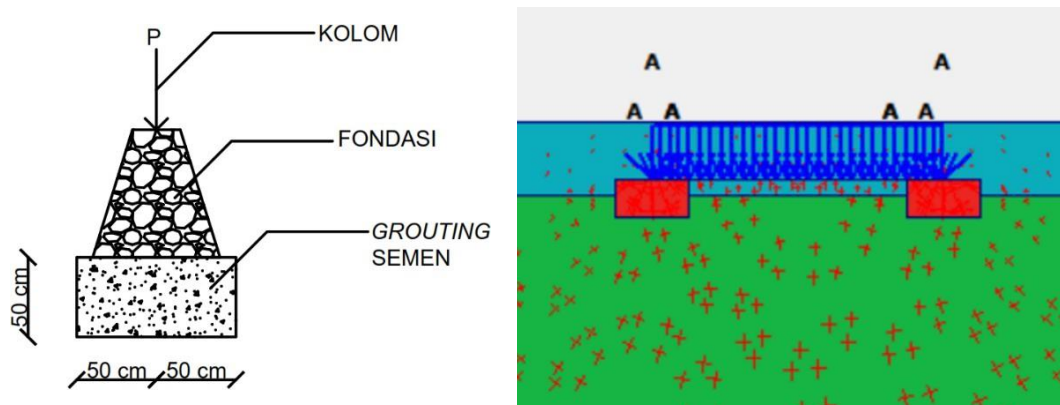
Model geometri tanah pada *Plaxis* dibuat berdasarkan lapis tanah hasil uji sondir. *Input* parameter tanah *Plaxis* didapatkan dari pengujian laboratorium dan data sondir dari lokasi penelitian. Sampel tanah yang digunakan untuk penelitian laboratorium yaitu sampel tanah asli yang diambil dari lokasi penelitian dengan *handbor* sedalam 1 meter. Hasil pengujian digunakan untuk material tanah organik, sedangkan untuk material tanah yang lain menggunakan data sekunder berupa data sondir yang akan dikorelasikan secara empiris untuk mendapatkan nilai parameter model material tanah.

Model geometri bangunan diambil potongan satu lajur fondasi yang dimodelkan sebagai pelat. Kolom dimodelkan sebagai beban titik diujung pelat serta dinding dimodelkan beban menerus di atas pelat. *Input* beban struktur kolom maupun dinding didapatkan dari data sekunder. Standar pengujian tanah disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar pengujian tanah

Nama Pengujian	Standar	
Kadar air tanah	SNI 1965:2008	ASTM D 2216-98
Berat isi tanah	-	ASTM D 422-63
Berat jenis tanah	SNI 1964:2008	ASTM D 854-02
Analisis Saringan	SNI 03-1968-1990	ASTM D 422-63
Analisis Hidrometer	SNI 3423:2008	ASTM D 422-63
Kuat Geser Langsung	SNI 2813:2008	ASTM D 3080-98
Permeabilitas	SNI 8071:2016	ASTM D 2434-68

Analisis dilakukan untuk kondisi asli sebelum dikalkukan *grouting* dan setelah dilakukan *grouting* dengan kedalaman 15 cm, 30 cm dan 50 cm. Hasil dari analisis didapatkan nilai dari penurunan yang terjadi. Sebaran *grouting* diestimasi sama dengan nilai kedalaman dengan arah sumbu x positif dan sumbu x negatif. Sketsa *grouting* secara gambar dan model di *Plaxis* ditampilkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Sketsa *grouting* manual dan *modelling Plaxis 2D*

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian

Secara fisik, sampel tanah yang diambil berwarna coklat kehitaman sesuai dengan deskripsi tanah organik pada ASTM-D-2488, dengan akar-akar tanaman dan bau khas tanah organik yang membusuk.



Gambar 3. Sampel tanah organik

Tabel 2. Hasil pengujian sampel tanah

No	Pengujian	Paramater	Satuan	Nilai
1	Kadar Air	w	%	174,15
2	Berat Isi Tanah	γ_b	kN/m ³	15,30
3	Berat Jenis Tanah	G_s	-	2,198
4	Analisis Ukuran Butir	<i>Kerikil (G)</i>	%	9,89
		<i>Pasir (S)</i>	%	77,94
		<i>Lanau (M)</i>	%	10,97
		<i>Lempung (C)</i>	%	1,20
5	Permeabilitas	k	m/s	$1,335 \times 10^{-7}$
6	Kuar Geser Langsung	c	kN/m ²	9,83
		ϕ	°	23,27

Pada pengujian kadar air, diambil enam sampel tanah dari tanah yang sama. Dari hasil pengujian kadar air, didapatkan rerata dari keenam sampel yang diuji sebesar 174,15%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tanah tersebut merupakan jenis tanah organik. Hal ini mengacu pada teori yang ada, Pradoto dan Munawir (1992) mengemukakan bahwa tanah yang mengandung kadar air (rerata) lebih besar dari 100% adalah jenis tanah organik.

Nilai *Bulk Density* yang diperoleh dari pengujian juga memenuhi nilai *bulk unit weight* tanah organik pada **Tabel 2**. Begitu juga pada pengujian permeabilitas, nilai yang didapatkan berkisar di angka yang sama dengan referensi tanah organik pada **Tabel 2**. Menurut Sandy & Desiani, (2020), nilai *G_s* pada tanah organik yang mengandung bahan organik sebesar 50% antara 2,1-2,2. Sedangkan nilai yang didapat pada pengujian sampel tanah asli yaitu 2,198 sehingga dapat dikategorikan sampel tanah merupakan tanah organik.

Pada pengujian ukuran butir (grainsize), lebih dari 50% tanah terklasifikasi sebagai kategori pasir. Kondisi ini tampaknya dipengaruhi oleh kehadiran akar-akar tanaman dan puing-puing bangunan yang ditemukan dalam sampel tanah, yang diduga berasal dari proses renovasi di area pengambilan sampel. Akibatnya, material yang tertahan di saringan tidak sepenuhnya mencerminkan komposisi tanah yang diinginkan untuk analisis. Oleh karena itu, hasil pengujian ukuran butir ini mungkin kurang akurat dalam merepresentasikan kondisi tanah sebenarnya. Meskipun demikian, identifikasi faktor-faktor ini memberikan peluang untuk memperbaiki metode pengambilan sampel dan meningkatkan keakuratan hasil pengujian di masa mendatang.

Pengujian batas cair dan batas plastis tidak dapat dilakukan pada tanah ini karena tanah mudah runtuh. Hal ini berarti tanah tersebut merupakan tanah non plastis yang mengindikasikan tanah termasuk tanah organik.

Dari hasil pengujian laboratorium dan *visual* dari sampel tanah, dapat dikonfirmasi bahwa asumsi tanah yang berada pada bangunan satu lantai kawasan Dieng merupakan tanah organik.

Penentuan parameter model *Plaxis*

Geometri tanah dan banyak lapisan tanah didapat dari data sekunder berupa sondir. Nilai parameter tanah selain lapisan tanah pertama didapatkan dari korelasi empiris sondir sehingga didapatkan input data tanah pada *Plaxis* sebagai berikut

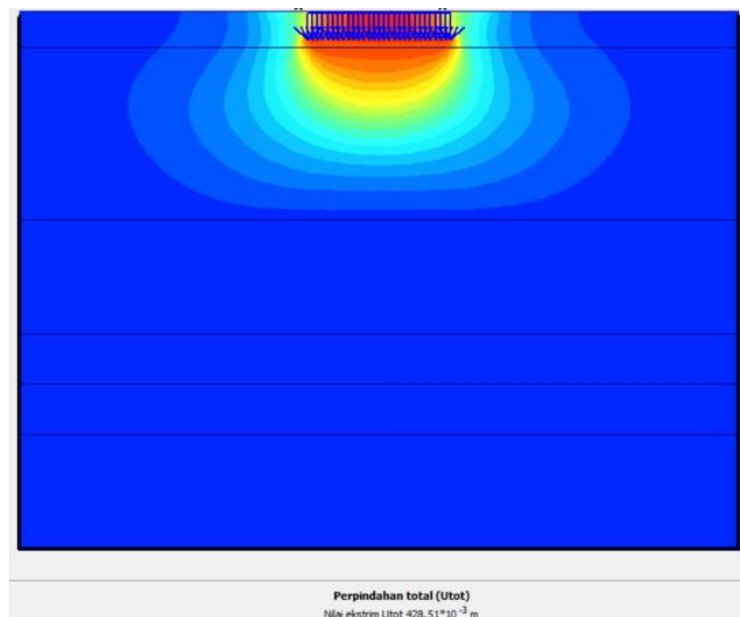
Tabel 3. Data parameter tanah model *soft soil creep*

<i>Soft Soil Creep</i>		Tanah Lapis 1	Tanah Lapis 2
Jenis		Tak terdrainase	Tak terdrainase
γ_{unsat}	kN/m ³	15,3	12,65
γ_{sat}	kN/m ³	15,3	12,65
k_x	m/hari	$1,15 \times 10^{-2}$	$8,64 \times 10^{-2}$
k_y	m/hari	$1,15 \times 10^{-2}$	$8,64 \times 10^{-2}$
c_c	-	3,41	3,41
c_s	-	0,22	0,22
c_a	-	0,2	0,2
e_{awal}	-	7,55	7,55
c	kN/m ²	9,64	8
φ	°	23,64	13

Tabel 4. Data parameter tanah *mohr-coulomb*

<i>Mohr-Coulomb</i>		Tanah Lapis 3	Tanah Lapis 4	Tanah Lapis 5	Tanah Lapis 6
Tipe Drainase		Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase
γ_{unsat}	kN/m ³	17	17	18,5	21
γ_{sat}	kN/m ³	17	20	21,5	23
k_x	m/hari	$8,64 \times 10^{-3}$	$8,64 \times 10^{-1}$	8,64	86,4
k_y	m/hari	$8,64 \times 10^{-3}$	$8,64 \times 10^{-1}$	8,64	86,4
E	kN/m ²	3000	15000	25000	50000
ν	-	0,4	0,3	0,3	0,3
c_{ref}	kN/m ²	2,2	4,5	10	20
φ	°	20	28	30	36

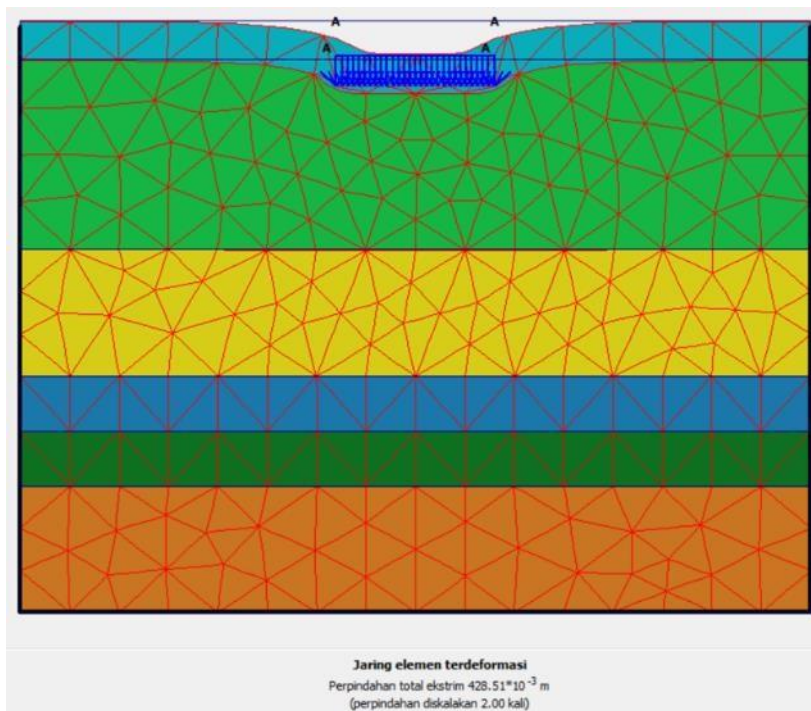
Analisis penurunan sebelum *grouting*



Gambar 4. Perpindahan total kondisi asli

Gambar 4 menunjukkan bahwa setelah tanah diberikan beban dari bangunan, terjadi deformasi total sebesar 42,85 cm, dengan muka air tanah berada di permukaan tanah. Tanah organik cenderung memiliki kadar air tinggi karena strukturnya yang berongga. Kadar air yang tinggi ini meningkatkan tekanan air pori, mengurangi kekuatan efektif tanah, membuatnya lebih mudah terkompresi di bawah beban, dan menyebabkan penurunan yang signifikan.

Tanah organik memiliki kohesi dan sudut geser dalam yang rendah, yang berarti ikatan partikel tanah lemah dan tanah tidak dapat menahan beban geser yang besar. Modulus elastisitas yang rendah pada tanah organik juga menyebabkan tanah tidak kaku dan mengalami deformasi signifikan ketika diberi beban. Selain itu, permeabilitas tanah organik yang rendah menghambat aliran air keluar dari tanah saat beban diterapkan, menyebabkan tekanan air pori berlebih bertahan lebih lama, memperlambat proses konsolidasi, dan meningkatkan penurunan tanah.



Gambar 5. Jaring elemen terdeformasi kondisi asli

Beban yang diterapkan pada permukaan tanah meningkatkan tekanan air pori dalam tanah, menyebabkan penurunan tanah lebih cepat karena tekanan air pori berlebih mempercepat proses konsolidasi primer, diikuti oleh konsolidasi sekunder. Deformasi tanah organik karena beban ditampilkan pada **Gambar 5**.

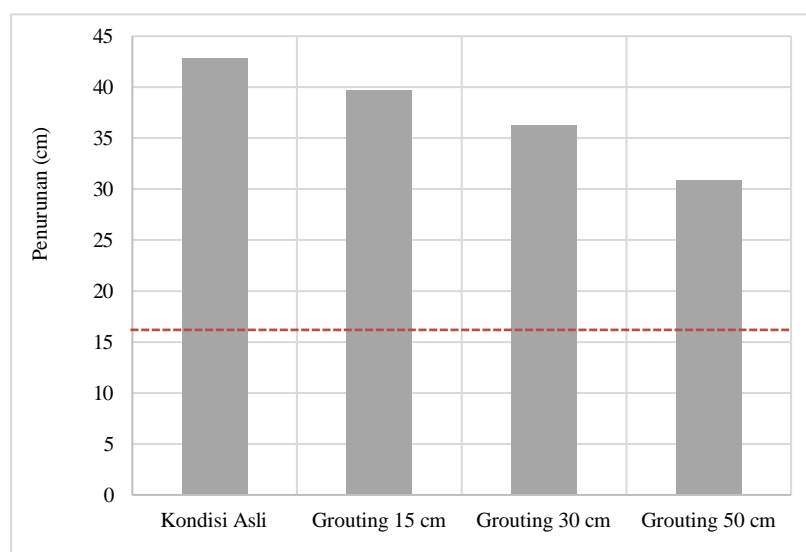
Analisis kondisi setelah *grouting*

Parameter tanah yang telah di *grouting* didapatkan dari hasil korelasi dimana perbandingan semen yang digunakan yaitu 10%. Data parameter menggunakan model elastis linier. *Grouting* dimodelkan dengan kedalaman 15 cm, 30 cm dan 50 cm.

Tabel 5. Rekapitulasi besar penurunan semua variasi hasil *Plaxis 2D*

Kondisi	Kedalaman	Penurunan	Deviasi
Asli	-	42,85 cm	-
	15 cm	39,65 cm	7,47%
	30 cm	36,21 cm	15,59%
	50 cm	30,86 cm	30,86%

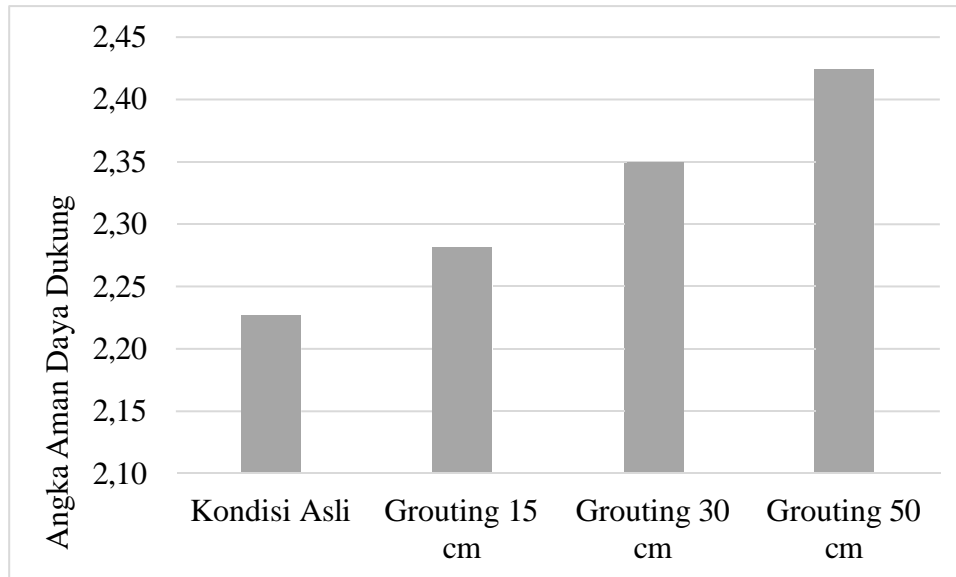
Dari **Tabel 5** dapat dilihat bahwa semakin dalam *grouting* dilakukan, penurunan yang terjadi juga berkurang. Hal ini disebabkan karena semakin dalam *grouting*, semakin banyak volume tanah yang dipadatkan dan distabilkan oleh semen, sehingga mengurangi kemampuan tanah untuk terkompresi. *Grouting* pada kedalaman yang lebih besar juga membantu mendistribusikan beban struktur lebih merata ke lapisan tanah yang lebih dalam dan lebih stabil. Selain itu, *grouting* dapat menurunkan tekanan air pori di dalam tanah karena semen mengisi ruang pori tanah dan mengurangi kandungan air, meningkatkan kekuatan efektif tanah dan mempercepat proses konsolidasi. Parameter tanah seperti modulus elastisitas juga meningkat setelah *grouting*, yang berbanding terbalik dengan besar penurunan tanah.



Penurunan izin
(SNI 8460:2018)

Gambar 6. Besar penurunan pada berbagai variasi *grouting*

Grafik perbandingan hasil penurunan tanah asli dan variasi *grouting* menunjukkan hubungan antara kedalaman *grouting* dan penurunan tanah. Penelitian oleh Yuanita et al. (2022) mendukung hal ini, dengan hasil bahwa semakin dalam *grouting*, penurunan semakin kecil. Penurunan yang lebih kecil juga berdampak pada nilai angka aman yang meningkat seiring dengan kedalaman *grouting*.



Gambar 7. Nilai angka aman hasil analisis *Plaxis* 2D

Data menunjukkan bahwa angka aman meningkat dari 2,23 pada kondisi awal menjadi 2,42 pada kedalaman *grouting* 50 cm, menunjukkan peningkatan stabilitas tanah yang signifikan dan optimal dengan *grouting* pada kedalaman ini.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi Asli tanah organik di bangunan satu lantai Kawasan Dieng, Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo, mengalami penurunan sebesar 42,85 cm. Sedangkan pengaruh kedalaman *grouting* terhadap penurunan tanah adalah sebesar 39,65 cm untuk kedalaman *grouting* 15 cm, sebesar 36,21 cm untuk kedalaman 30 cm dan 30,86 cm untuk kedalaman 50 cm. Sehingga semakin dalam kedalaman *grouting* yang diterapkan, semakin kecil penurunan tanah yang terjadi.

E. DAFTAR PUSTAKA

Atmanto, I. D. (2013). PENGENALAN STABILISASI Tanah Dengan Jet Grouting. 66(1997), 37–39.

- Cole, L. E. S., Bhagwat, S. A., & Willis, K. J. (2015). Long-Term Disturbance Dynamics And Resilience Of Tropical Peat Swamp Forests. *Journal Of Ecology*, 103(1), 16–30. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12329>
- Eka Putra, E. O., Gandi, S., & Sarie, F. (2022). Pengaruh Penggunaan Bahan Grouting Kombinasi Semen Dan Kapur Pada Tanah Lempung Terhadap Nilai Daya Dukung Dan Penurunan. *Jurnal Deformasi*, 7(2), 102. <https://doi.org/10.31851/Deformasi.V7i2.8237>
- Fanica, F., & Susilo, A. J. (2019). Analisis Efektivitas Kedalaman Grouting Untuk Meningkatkan Daya Dukung Lateral Fondasi Tiang Beton Pracetak. *Jmts: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(2), 183. <https://doi.org/10.24912/Jmts.V2i2.4307>
- Indrawati, E., Indarto, I., 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(0), 53–66. <https://doi.org/10.12962/J26151847.V6i0.12079>
- Makruf, A. F., Ardheva, A., Faradzilla, A. R., & Listyawan, A. B. (2024). *Pelaksanaan Pekerjaan Grouting Struktur Kolom Pada Proyek Pembangunan Gedung Fkg, Fkm, & Gkb Iii Universitas*.
- Manalu, A. M. M. (2013). Peningkatan Daya Dukung Tanah Urugan Dengan Metode. *Geological Engineering E-Journal*, 8(3), 1–16.
- Page, S. E., & Baird, A. J. (2016). Peatlands And Global Change: Response And Resilience. *Annual Review Of Environment And Resources*, 41, 35–57. <https://doi.org/10.1146/Annurev-Environ-110615-085520>
- Said, S., Djamaluddin, R., & Irmawaty, R. (2023). Pengaruh Penambahan Sika Grout Pada Balok Beton Bertulang Dengan Kondisi Spalling. *Konstruksia*, 14(2), 9. <https://doi.org/10.24853/Jk.14.2.9-18>
- Sandy, J., & Desiani, A. (2020). Parameter Konsolidasi Tanah Organik Berdasarkan Uji Laboratorium Akibat Pengaruh Kandungan Batu Bara. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(1), 38–53. <https://doi.org/10.28932/Jts.V16i1.2768>
- Sari, A. N. (2017). *Metode Pelaksanaan Pekerjaan Grouting Dan Analisis Perbaikan Tanah Berdasarkan Permeabilitasnya Pada Proyek Pembangunan Bendungan Logung Kudus*. 5–6.
- Suganda, R., Lutfi, H., & Prasetiawan, J. (2023). Pengaruh Variasi Campuran Sika Grout 215 New Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton. *Department Of Civil*

Engineering, Universitas Islam Al-Azhar Mataram (Unizar), 1–7.

Warner, J. (2011). *Practical Handbook*.

Wulandari, Andriani, & Hakam, A. (2023). Pengaruh Perbaikan Tanah Dengan Menggunakan Metode Grouting Semen Terhadap Daya Dukung Pasir Lepas. *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia*, Vol. 8, No. <https://jurnal.syntaxliterate.co.id/index.php/syntaxliterate/article/view/13807/8958>

Yuanita, I., Indarto, I., Soemitro, R. A. A., & Permadi, N. (2022). Analisis Penurunan Tanah Dengan Perkuatan Water Cement Grouting Pada Proyek Preservasi Ruas Tuban – Babat – Lamongan – Gresik. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 6(0), 21–36. <https://doi.org/10.12962/J26151847.V6i0.12077>