



## Analisis Kuat Geser Tanah Berpasir Akibat Perubahan Suhu

Revival G. A. Togas<sup>#a</sup>, Steeva G. Rondonuwu<sup>#b</sup>, Jack H. Ticoh<sup>#c</sup>

<sup>#Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia</sup>

<sup>a</sup>togasrevival25@gmail.com, <sup>b</sup>steeva\_rondonuwu@unsrat.ac.id, <sup>c</sup>jack.ticoh@unsrat.ac.id

### Abstrak

Kuat geser tanah merupakan salah satu parameter penting dalam mendukung stabilitas konstruksi, khususnya pada tanah berpasir yang umumnya memiliki kohesi rendah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan suhu melalui metode pemanasan (induksi thermal) terhadap parameter kuat geser tanah berpasir. Sampel tanah diambil dari Desa Pineleng II dan diuji menggunakan direct shear test dengan variasi suhu 80°C, 100°C, dan 110°C serta durasi 10, 17, dan 30 menit, termasuk pada kondisi siklus basah–kering. Hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan nilai kohesi dan sudut geser dalam setelah perlakuan panas. Nilai kohesi tertinggi dicapai pada suhu 110°C selama 17 menit sebesar 125,68 kPa, sedangkan sudut geser dalam tertinggi diperoleh pada kondisi basah–kering pada suhu 110°C selama 30 menit, yaitu 85,13°. Peningkatan kuat geser ini dipengaruhi oleh berkurangnya kadar air dan meningkatnya kerapatan tanah akibat pemanasan. Namun, pada kondisi tertentu suhu tinggi juga dapat menyebabkan penurunan kekuatan karena degradasi struktur butiran. Kesimpulannya, induksi thermal berpotensi sebagai metode alternatif perbaikan tanah berpasir yang efektif, ramah lingkungan, serta mampu meningkatkan daya dukung tanah fondasi pada konstruksi teknik sipil.

*Kata kunci: kuat geser, tanah berpasir, kohesi, sudut geser dalam, induksi thermal*

### 1. Pendahuluan

Kuat geser tanah merupakan salah satu parameter terpenting dalam bidang geoteknik, karena sangat menentukan stabilitas suatu konstruksi yang didirikan di atas tanah, seperti pondasi, dinding penahan tanah, tanggul, maupun lereng. Tanah berpasir, sebagai salah satu jenis tanah yang memiliki nilai kohesi sangat kecil hingga mendekati nol, banyak digunakan dalam proyek konstruksi, terutama sebagai material urugan atau timbunan. Seiring berkembangnya teknologi, pendekatan rekayasa termal mulai diaplikasikan dalam bidang teknik geoteknik. Salah satunya adalah melalui metode induksi thermal atau pemanasan buatan terhadap sampel tanah. Indonesia sebagai negara tropis dengan suhu tinggi dan fluktuasi kelembaban tanah yang signifikan juga memiliki potensi besar dalam penerapan metode ini. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh suhu dari induksi thermal terhadap kuat geser tanah berpasir.

### 2. Landasan Teori

Tanah berpasir umumnya tersusun atas mineral kuarsa (SiO<sub>2</sub>) yang memiliki sifat keras, stabil, dan tahan pelapukan. Selain itu, terdapat pula feldspar yang dapat mengalami perubahan menjadi mineral lempung, serta mineral lain seperti mika, klorit, hornblende, hingga magnetit pada pasir besi (Das, 1995). Sifat dominan tanah berpasir adalah teksturnya yang kasar, porositas besar, daya serap air rendah, serta kandungan organik yang sedikit.

Dalam konstruksi, tanah berpasir memiliki beberapa kelemahan, antara lain daya dukung rendah, kompresibilitas tinggi, perubahan volume akibat pengaruh kadar air, serta konsolidasi yang relatif lama (Mohr, 2012). Hal ini membuat tanah berpasir memerlukan upaya perbaikan

sebelum digunakan sebagai lapisan pondasi.

Kuat geser tanah merupakan parameter penting untuk menilai kemampuan tanah dalam menahan gaya luar. Menurut kriteria Mohr-Coulomb, kuat geser ( $\tau$ ) ditentukan oleh kohesi ( $c$ ), tegangan normal ( $\sigma$ ), dan sudut geser dalam ( $\phi$ ), yang dirumuskan sebagai  $\tau = c + \sigma \tan \phi$  (Das, 1995). Parameter ini umumnya diperoleh melalui uji geser langsung (direct shear test), yang sederhana dan efektif dalam menentukan kohesi serta sudut geser dalam tanah.

Seiring berkembangnya metode perbaikan tanah, salah satu pendekatan yang mulai dikaji adalah pemanfaatan induksi thermal. Induksi thermal merupakan proses pemanasan material menggunakan energi listrik untuk memodifikasi sifat fisik dan mekanik tanah (Yavari et al., 2016). Dalam konteks geoteknik, metode ini terbukti dapat meningkatkan kuat geser tanah, menstabilkan kondisi tanah ekspansif, serta menurunkan kadar air tanah melalui proses evaporasi (Hu et al., 2018).

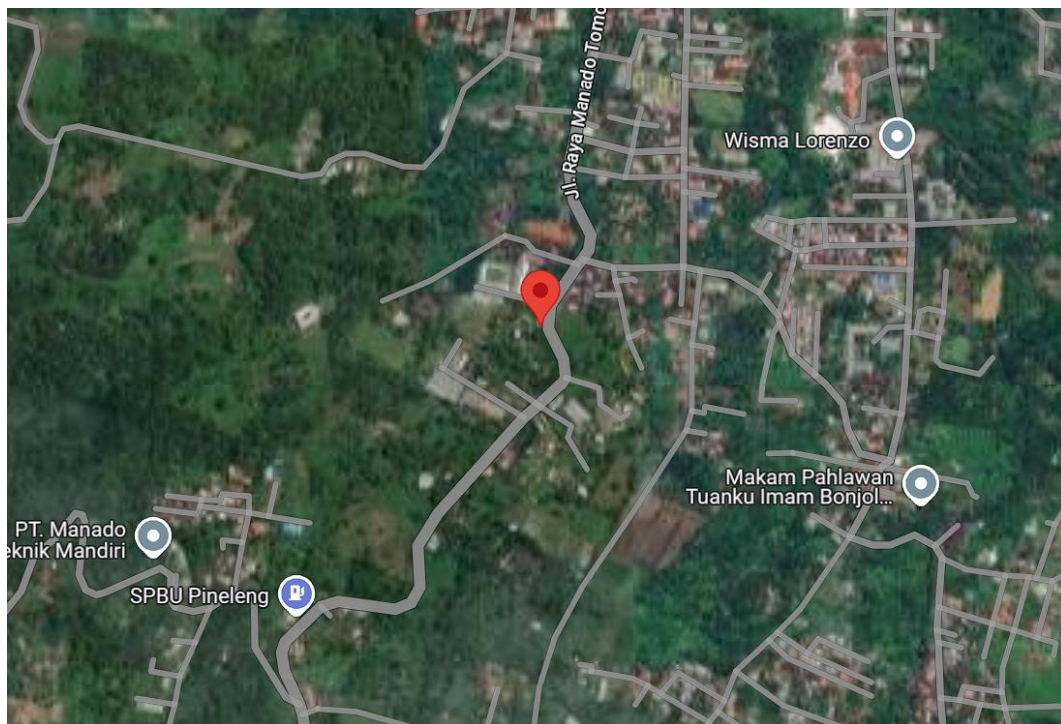
Mekanisme perpindahan panas pada tanah yang dipanaskan terutama terjadi melalui konduksi, di mana energi panas merambat dari permukaan tanah ke bagian dalam butiran dan air pori. Proses pemanasan oven menyebabkan air pori menguap, densitas tanah meningkat, struktur mikro lebih rapat, dan sudut geser dalam bertambah (Ridwan & Harwadi, 2015). Perubahan ini berimplikasi pada meningkatnya kekuatan geser serta kestabilan tanah terhadap beban.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menegaskan pengaruh suhu terhadap sifat mekanik tanah, namun masih terbatas dalam mengkaji penerapan induksi thermal sebagai metode stabilisasi. Penelitian oleh Yavari et al. (2016) menunjukkan peningkatan suhu dapat mengubah nilai kohesi dan sudut geser dalam, sementara Hu et al. (2018) menemukan peningkatan signifikan pada kuat geser pasir kering setelah dipanaskan. Akan tetapi, kajian yang membahas secara spesifik hubungan antara pengurangan kadar air akibat pemanasan dan peningkatan parameter geser tanah masih jarang dilakukan.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam memperkaya metode alternatif perbaikan tanah, khususnya dengan memanfaatkan induksi thermal sebagai upaya meningkatkan kuat geser tanah berpasir.

### 3. Metode Penelitian

#### 3.1 Lokasi dan Sampel



**Gambar 1.** Lokasi Penelitian  
(Sumber: Google Earth 1°17'11"N 124°52'51"E)

Sampel tanah diambil dari Desa Pineleng, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara. Berdasarkan klasifikasi Unified Soil Classification System (USCS), tanah tergolong SC (pasir berlempung), sedangkan menurut AASHTO masuk kategori A-2-7 (pasir berlempung).

### 3.2 Prosedur Pengujian

- Pengujian sifat fisis tanah meliputi kadar air, berat jenis, batas Atterberg, dan analisis saringan.
- Pengujian kuat geser (direct shear test) dilakukan sesuai ASTM D-3080-04 pada kondisi asli dan setelah perlakuan pemanasan.
- Variasi pemanasan: suhu 80°C, 100°C, dan 110°C dengan durasi 10, 17, dan 30 menit.
- Siklus basah-kering: sampel dipanaskan, ditimbang, ditambah air kembali, lalu dipanaskan ulang untuk mensimulasikan kondisi tropis.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Pengujian Pendahuluan

Pengujian pendahuluan adalah pengujian yang dilakukan sebelum tanah asli dicampurkan dengan bakteri *Bacillus Subtilis*. Pada pengujian pendahuluan ini, dilakukan pengujian sifat fisis dan mekanis antara lain kadar air, berat jenis, batas-batas Atterberg, dan pemadatan serta berdasarkan hasil pengujian karakteristik tanah, dilakukan penentuan klasifikasi tanah yang digunakan sebagai benda uji.

#### 4.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Tanah

**Tabel 1.** Hasil Pengujian Karakteristik Tanah

No	Jenis Pengujian	Nilai
1	Kadar Air	0,53%
2	Berat Jenis	1,96 gr/cm <sup>3</sup>
3	Batas Cair	0,75%
4	Batas Plastis	0,40%
5	Group Index (GI)	-0,448
6	Lolos Saringan No.4	99,68%
7	Lolos Saringan No.40	2,56%
8	Lolos Saringan No.200	0,20%

Berdasarkan pada Tabel 1 menunjukkan hasil dari pengujian karakteristik tanah yang digunakan sebagai benda uji pada penelitian ini.

#### 4.1.2 Klasifikasi Tanah

Dalam AASHTO dikatakan tanah berbutir apabila tanah lolos ayakan #200  $\leq 35\%$ . Sementara menurut USCS dikatakan tanah berbutir kasar apabila 50% tanah tertahan ayakan #200. Berdasarkan klasifikasi Unified tanah pada penelitian ini tergolong ke dalam golongan SC yaitu Pasir berlempung, campuran pasir-lempung dan berdasarkan klasifikasi AASHTO, tergolong pada kelompok Klasifikasi A-2-7 (Pasir Berlempung).

### 4.2. Pengujian Utama

Setelah melakukan analisis terhadap komponen kuat geser (kohesi dan sudut geser dalam) maka dapat melakukan perhitungan terhadap kuat geser sehingga memperoleh nilai seperti pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Kuat Geser Tanah

Tanah Uji	No	Berat Beban (Kg)	F (cm <sup>2</sup> )	Teg. Normal (kPa)	Kuat Geser (kPa)
Tanah Asli	I	3	31,156	9,629	64,369
	II	6	31,156	19,258	111,661
	III	9	31,156	28,886	158,952
Variasi 30m 110°	I	3	31,156	9,629	54,728
	II	6	31,156	19,258	56,471
	III	9	31,156	28,886	58,214
Variasi 30m 100°	I	3	31,156	9,629	128,976
	II	6	31,156	19,258	137,532
	III	9	31,156	28,886	146,087
Variasi 30m 80°	I	3	31,156	9,629	69,860
	II	6	31,156	19,258	78,415
	III	9	31,156	28,886	86,969
Variasi 17m 110°	I	3	31,156	9,629	114,513
	II	6	31,156	19,258	103,351
	III	9	31,156	28,886	92,188
Variasi 17m 100°	I	3	31,156	9,629	73,147
	II	6	31,156	19,258	75,792
	III	9	31,156	28,886	78,438
Variasi 17m 80°	I	3	31,156	9,629	96,793
	II	6	31,156	19,258	99,438
	III	9	31,156	28,886	102,084
Variasi 10m 110°	I	3	31,156	9,629	91,303
	II	6	31,156	19,258	86,706
	III	9	31,156	28,886	82,110
Variasi 10m 100°	I	3	31,156	9,629	31,640
	II	6	31,156	19,258	37,883
	III	9	31,156	28,886	44,126
Variasi 10m 80°	I	3	31,156	9,629	211,678
	II	6	31,156	19,258	324,829
	III	9	31,156	28,886	437,981
Variasi Basah Kering 30m 110°	I	3	31,156	9,629	31,939
	II	6	31,156	19,258	34,976
	III	9	31,156	28,886	38,014

(Sumber : Hasil Pengolahan Data, 2025)

Tabel 2 menunjukkan data hasil pengujian kuat geser langsung tanah. Pengujian dilakukan terhadap tanah asli dan tanah yang dipanaskan di oven. Dari hasil pengujian diperoleh hubungan antara nilai tegangan normal dan tegangan geser. Rumus untuk mendapatkan nilai tegangan normal dan tegangan geser adalah:

$$\text{Tegangan normal } (\sigma) = \frac{\text{Gaya Normal (N)}}{\text{Luas Penampang (A)}}$$

$$\text{Tegangan Geser} = \frac{\text{Gaya Geser (T)}}{\text{Luas Penampang (A)}}$$

### 1. Nilai Kuat Geser Tanah Asli

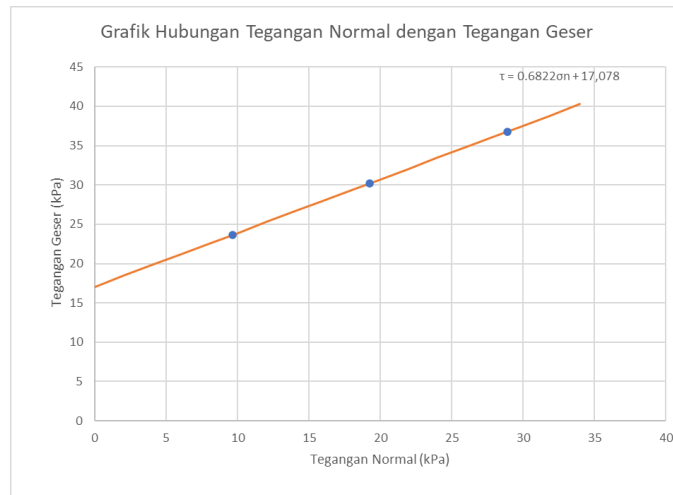
Gambar 2 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi ( $c$ ) = 17,08 kPa dan nilai sudut geser dalam ( $\Phi$ ) = 34,31°.

### 2. Variasi 30 menit 110°

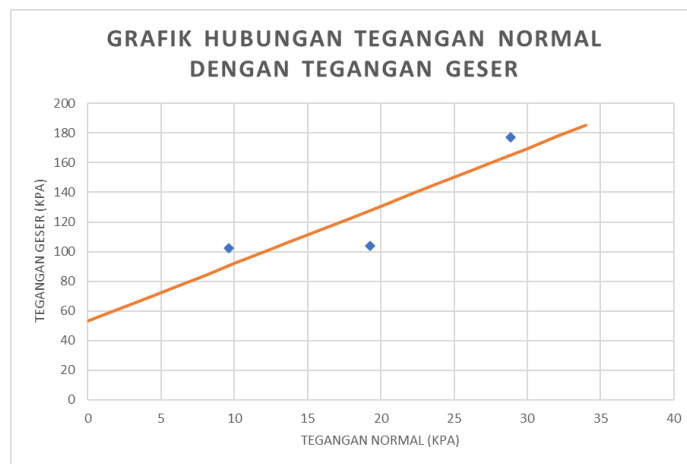
Gambar 3 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi ( $c$ ) = 52,98 kPa dan nilai sudut geser dalam ( $\Phi$ ) = 75,57°.

### 3. Variasi 30 menit 100°

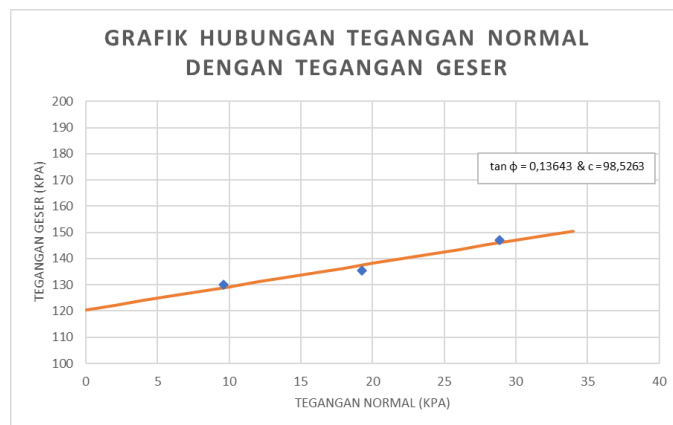
Gambar 4 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi ( $c$ ) = 120,42 kPa dan nilai sudut geser dalam ( $\Phi$ ) = 41,56°.



**Gambar 2.** Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser (Tanah Asli)



**Gambar 3.** Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser



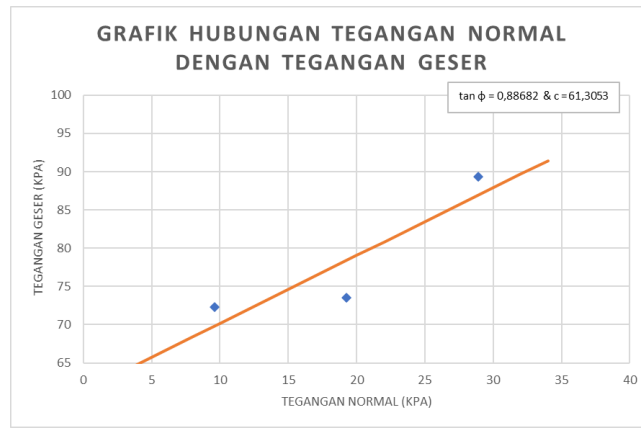
**Gambar 4.** Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser

**4. Variasi 30 menit 80°**

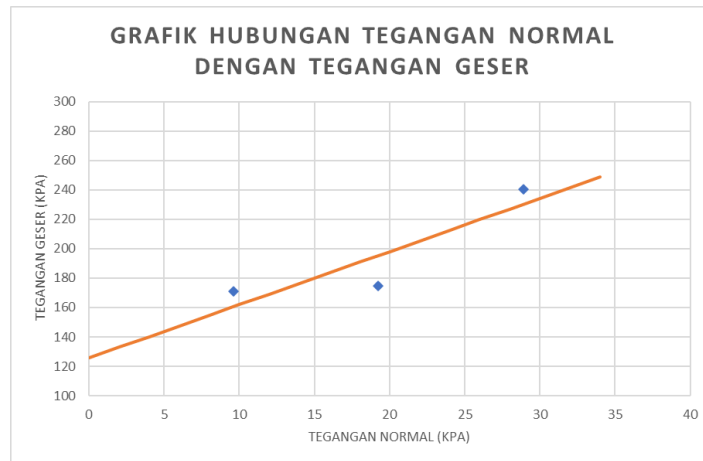
Gambar 5 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi (c) = 61,31 kPa dan nilai sudut geser dalam (Φ) = 41,56°.

**5. Variasi 17 menit 110°**

Gambar 6 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi (c) = 125,67 kPa dan nilai sudut geser dalam (Φ) = 74,53°.



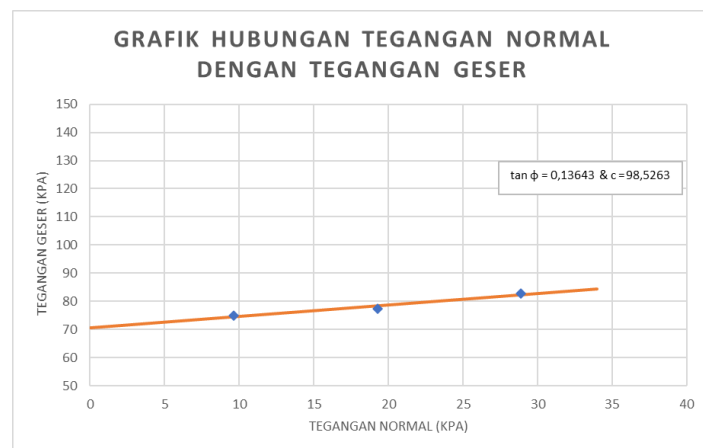
**Gambar 5.** Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser



**Gambar 6.** Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser

#### 6. Variasi 17 menit 100°

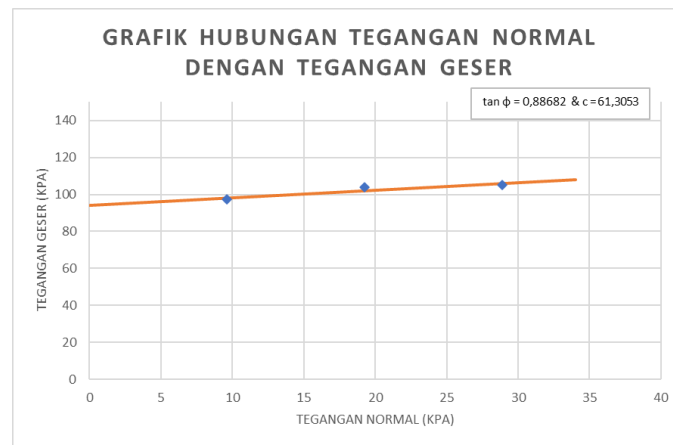
Gambar 7 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi ( $c$ ) = 70,51 kPa dan nilai sudut geser dalam ( $\Phi$ ) = 22,26°.



**Gambar 7.** Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser

#### 7. Variasi 17 menit 80°

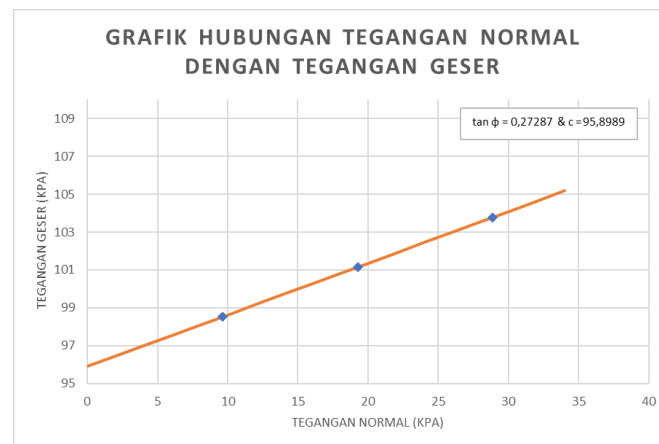
Gambar 8 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi ( $c$ ) = 94,15 kPa dan nilai sudut geser dalam ( $\Phi$ ) = 22,26°.



**Gambar 8.** Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser

### 8. Variasi 10 menit 110°

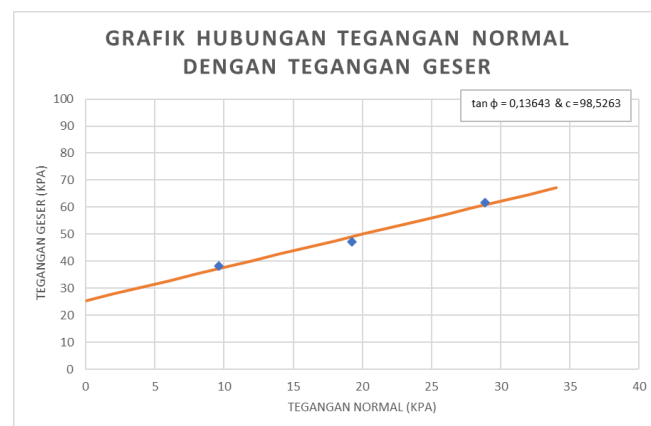
Gambar 9 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi ( $c$ ) = 95,89 kPa dan nilai sudut geser dalam ( $\Phi$ ) = 15,27°.



**Gambar 9.** Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser

### 9. Variasi 10 menit 100°

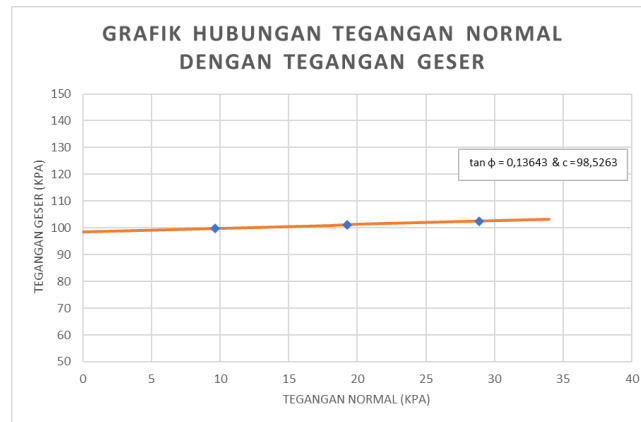
Gambar 10 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi ( $c$ ) = 25,39 kPa dan nilai sudut geser dalam ( $\Phi$ ) = 50,84°.



**Gambar 10.** Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser

### 10. Variasi 10 menit 80°

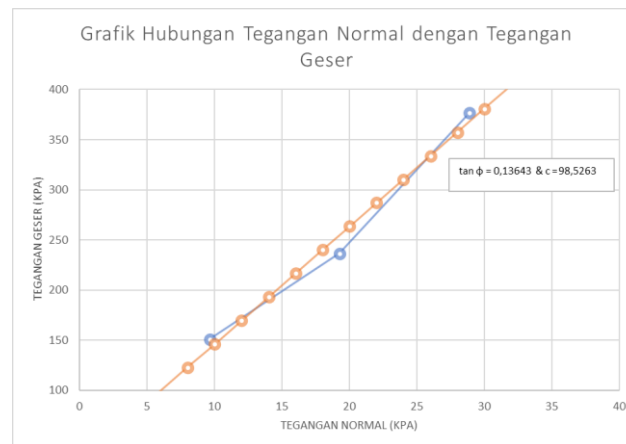
Gambar 11 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi ( $c$ ) = 98,52 kPa dan nilai sudut geser dalam ( $\Phi$ ) = 7,77°.



**Gambar 11.** Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser

### 11. Variasi Basah Kering 30 menit 110°

Gambar 12 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi ( $c$ ) = 28,91 kPa dan nilai sudut geser dalam ( $\Phi$ ) = 85,13°.



**Gambar 12.** Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser

#### 4.3. Hubungan Metode Pemanasan dan Parameter Kuat Geser Tanah

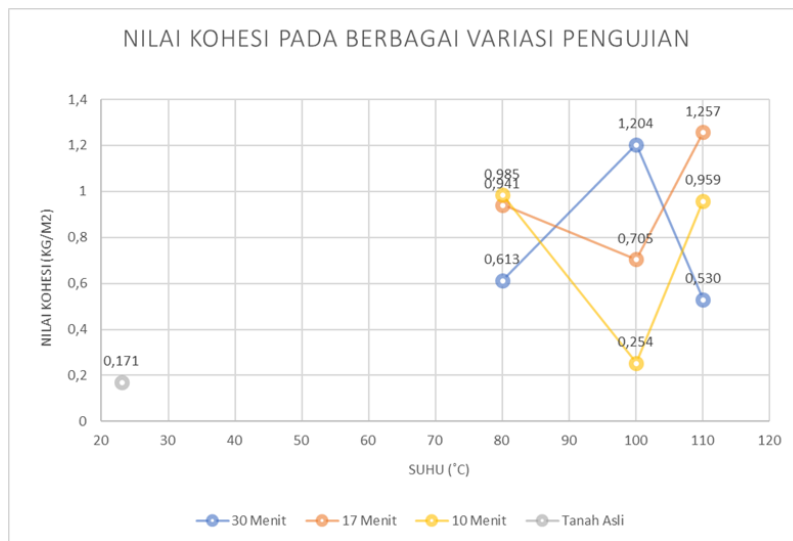
Hubungan antara parameter kuat geser dan metode pemanasan berkaitan erat dengan perubahan sifat fisik dan mekanik tanah akibat peningkatan suhu. Ketika tanah dipanaskan, khususnya pada jenis tanah berpasir, struktur mineralnya dapat mengalami perubahan yang mempengaruhi parameter geoteknik seperti kohesi dan sudut geser dalam.



Tabel 3. Analisa Parameter Kuat Geser Tanah

Durasi Pemanasan (Menit)	Suhu Pemanasan (°C)	Nilai Kohesi (kPa)	Nilai Sudut geser dalam (φ)
30	110	52,985	75,5773
30	100	120,4211	41,5671
30	80	61,3053	41,5671
17	110	125,6758	74,5392
17	100	70,5011	22,2593
17	80	94,1474	22,2593
10	110	95,8989	15,2626
10	100	25,3979	50,8407
10	80	98,5263	7,76909
0	23	17,0779	17,0779

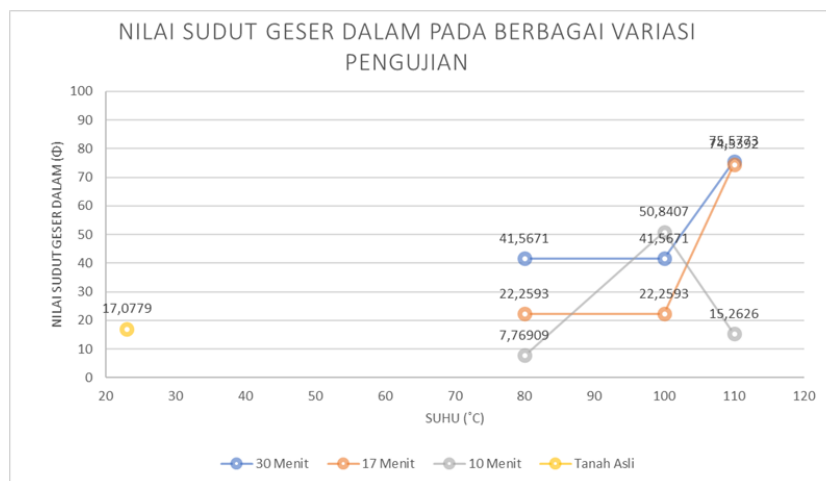
A. Hubungan Pemanasan dan Nilai Kohesi (c)



Gambar 13. Grafik Hubungan Pemanasan dan Nilai Kohesi

Dari Gambar 13 terlihat bahwa kenaikan yang paling besar pada kohesi terjadi di variasi 17 menit waktu pemanasan dan pada suhu 110° yaitu mencapai 125,6758 kPa. Sebelumnya tanah asli mempunyai nilai kohesi (c) 17,078 kPa dan setelah dilakukan pemanasan nilai kohesi (c) mengalami kenaikan.

B. Hubungan Pemanasan dan Sudut Geser Dalam (Φ)



Gambar 14. Grafik Hubungan Pemanasan dan Nilai Kohesi

Gambar 14 memperlihatkan nilai sudut geser dalam yang paling besar pada percobaan basah kering 30 menit waktu pemanasan dan pada suhu  $110^{\circ}$  yaitu  $85,1286^{\circ}$ . Dengan meningkatnya suhu dan durasi maka sudut geser dalam juga akan meningkat.

#### 4.4 Pembahasan

Pada penelitian ini, parameter-parameter kuat geser mengalami kenaikan dengan adanya pemanasan disebabkan adanya air pada tanah menjadi tanah yang memiliki kadar air yang lebih kurang sehingga tanah menjadi lebih kuat. Metode pemanasan dengan oven lebih unggul dibanding metode perbaikan tanah lainnya karena mampu meningkatkan daya dukung tanah secara signifikan tanpa menambah bahan kimia atau memerlukan alat berat. Pemanasan secara terkontrol dapat mengurangi kadar air tanah seperti yang dikatakan tadi, lalu meningkatkan kohesi dan sudut geser dalam, serta menjaga komposisi kimia tanah tetap stabil. Dibandingkan stabilisasi kimia yang berisiko mencemari lingkungan atau pemadatan mekanis yang kurang efektif pada tanah, metode ini lebih ramah lingkungan, efisien, dan mudah diterapkan di laboratorium. Dengan adanya perbaikan pada struktur tanah maka nilai kuat gesernya mengalami peningkatan.

### 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian-pengujian yang telah dilakukan dan sesuai dengan tujuan penelitian maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Kuat geser akibat dari perubahan suhu ini paling besar terjadi pada variasi suhu  $80^{\circ}$  dan dalam waktu pemanasan selama 10 menit; beban 3kg tegangan normal 9,6288 kPa tegangan gesernya 211,6779 kPa, beban 6kg tegangan normal 19,2575 kPa tegangan gesernya 324,8294 kPa, dan untuk beban 9kg tegangan normal 28,8863 tegangan gesernya 437,9810 kPa.
2. Dengan adanya perlakuan panas pada tanah sampel maka terjadi kenaikan untuk parameter kohesi dan sudut geser dalam. Kenaikan yang paling besar pada kohesi terjadi di variasi 17 menit waktu pemanasan dan pada suhu  $110^{\circ}$  yaitu mencapai 125,6758 kPa, dan untuk sudut geser dalam terjadi pada percobaan basah kering 30 menit waktu pemanasan dan pada suhu  $110^{\circ}$  yaitu  $85,1286^{\circ}$ .
3. Perlakuan siklus basah kering pada tanah memberikan dampak pada sudut geser dalam sehingga nilainya merupakan yang tertinggi untuk phi ( $\phi^{\circ}$ ) yaitu  $85,1286^{\circ}$  dan kohesi hanya 28,9011 kPa; dengan variasi suhu  $110^{\circ}$  dan 30 menit waktu pemanasan.

### Referensi

- PA Ho, AT Mandagi, AN Sarajar. (2021). Analisis Pengaruh Campuran Garam Dan Belerang Pada Tanah Pasir Terhadap Kuat Geser, TEKNO 19 (77).
- Cerato, A. B., & Lutenege, A. J. (2006). Shrinkage Behavior of Compacted Clay. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(9), 1226–1236.
- Delage, P., Howat, M. D., & Cui, Y. J. (2000). The Relationship between Suction and Swelling Properties in a Heavily Compacted Unsaturated Clay. *Engineering Geology*, 50(1–2), 31–48.
- GME Sompie, OBA Sompie, S Rondonuwu. (2018). Analisis stabilitas tanah dengan model material mohr coulomb dan soft soil, *Jurnal Sipil Statik* 6 (10), 783-792.
- Hardiyatmo, H. C. (2016). *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Indraratna, B., Rujikiatkamjorn, C., & Sathanathan, I. (2015). Thermal Improvement of Soft Soils: An Experimental Investigation. *Geotechnical Testing Journal*, 38(3), 1–11.
- Joseph F. Labuz (2012). Mohr–Coulomb Failure Criterion. [https://www.researchgate.net/publication/257445185\\_Mohr-Coulomb\\_Failure\\_Criterion](https://www.researchgate.net/publication/257445185_Mohr-Coulomb_Failure_Criterion)
- Mesri, G., & Olson, R. E. (1971). Mechanisms Controlling the Permeability of Clays. *Clays and Clay Minerals*, 19(3), 151–158.
- Panjaitan, M. (2021). Model Preloading tanah lunak dengan inklusi induksi termal tipe vertikal dan miring. *Jurnal Rekayasa Geoteknik*, 9(1), 30–41.
- Panjaitan, M. (2019). Pengaruh Induksi Panas terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas Tanah Lunak pada Zona Radial. *Jurnal Teknik Tanah dan Fondasi*, 7(2), 55–63.
- Dr.Eng. Ir. Steeva G. Rondonuwu, ST.,M.Agr. (2020). MEKANIKA TANAH 1, Hal, 20.
- Yavari, N., Tang, A.-M., Pereira, J.-M., & Hassen, G. (2016). Effect of temperature on the shear strength of soils and the soil–structure interface. *Canadian Geotechnical Journal*, 53(7), 1186–1194.

- Yavari, N., Tang, A. M., Pereira, J. M., & Hassen, G. (2016). Effect of Temperature on the Shear Strength of Clayey Soils and the Soil-Structure Interface. *Geotechnical and Geological Engineering*, 34(1), 159–170.
- Yunus, I., & Annisa, H. (2023). Analisis Pengaruh Kuat Tekan dan Kuat Geser Sampel Kering Optimum dan Basah Optimum pada Tanah Lempung. *Jurnal Teknik Sipil*, 12(2), 45–52.