

## PERMODELAN FRIKSI TIANG BOR DINDING KASAR DENGAN *DIRECT SHEAR*

<sup>1</sup>Affit Noor Firdauzy, <sup>2</sup>Agam Loren Saputra\*

<sup>1,2</sup> Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung

\*Corresponding Author:

[agamlorensaputra258@gmail.com](mailto:agamlorensaputra258@gmail.com)

### Abstrak

*Pada kebanyakan proyek konstruksi yang menggunakan fondasi tiang bor, proses pengeboran tanahnya tidak selalu menghasilkan dinding keliling yang halus, maka pada penelitian ini bertujuan untuk mencari pengaruh dinding yang kasar terhadap tahanan gesek fondasi tiang bor melalui percobaan memodelkan dinding tiang bor yang kasar pada laboratorium menggunakan uji direct shear. Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen skala laboratorium dengan mencari nilai PI untuk menentukan jenis tanah, mencari nilai faktor adhesi dengan melakukan uji direct shear, dan dihitung tahanan gesek menggunakan rumus  $f_s = a \times c$ . Nilai PI yang didapat sebesar 40,42%. Tahanan gesek antara tanah lempung dan beton polos 0,189 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan tahanan gesek antara tanah lempung dan beton kekasaran 4, tanah lempung dan beton kekasaran 6, tanah lempung dan beton kekasaran 8 adalah 0,223 kg/cm<sup>2</sup>; 0,226 kg/cm<sup>2</sup>; 0,24 kg/cm<sup>2</sup>. Pengaruh dinding tiang bor yang kasar adalah semakin kasar permukaan tiang bor maka semakin besar pula nilai tahanan gesek (Fs). Dengan semakin besarnya nilai Fs maka semakin besar daya dukung pondasi tiang bor.*

**Kata Kunci :** Direct Shear; Fondasi Tiang bor; Tahanan Gesek

### Abstract

*In most construction projects that use drill pile foundations, the drilling process the soil does not always produce a smooth perimeter wall, so in this study the aim is to find the effect of rough walls on the frictional resistance of the drill pile foundation through an experiment modeling a rough drill pile wall in the laboratory using the direct . test shears. This research method uses a laboratory-scale experimental method by looking for the PI value to determine the type of soil, find the value of the adhesion factor by conducting the direct . test shear, and calculated frictional resistance using the formula  $f_s = a \times c$ . The PI value obtained is 40.42%. Frictional resistance between Clay soil and plain concrete 0.189 kg/cm<sup>2</sup>, while the frictional resistance between Clay and concrete roughness 4, Clay and concrete roughness 6, Clay and concrete roughness 8 is 0.223 kg/cm<sup>2</sup>; 0.226 kg/cm<sup>2</sup>; 0.24 kg/cm<sup>2</sup>. The effect of a rough drill pile wall is increasingly The rougher the surface of the drill pile, the greater the value of frictional resistance (Fs). With more The greater the Fs value, the greater the bearing capacity of the drill pile foundation.*

**Keyword :** Direct Shear; Bored Pile; Pile

---

## 1. PENDAHULUAN

Fondasi adalah bagian terpenting dari konstruksi bangunan yang dimanfaatkan untuk meneruskan beban yang disalurkan sampai dasar fondasi dari struktur atas suatu bangunan tanpa terjadinya penurunan yang tidak merata (*differential settlement*) pada struktur bangunan. Pada struktur bangunan, terdapat beban yang berasal dari berat bangunan itu sendiri dan beban rencana yang harus disalurkan ke dalam tanah (lapisan pendukung) yang berada di bawah struktur tersebut..

Pada umumnya, fondasi terdiri dari dua jenis yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Jenis fondasi yang akan digunakan tergantung dengan jenis tanah pada lokasi pembangunan tersebut dan jenis konstruksi yang akan dibangun. Fondasi dangkal digunakan untuk konstruksi yang tidak terlalu berat, tidak terlalu tinggi, dan jenis tanah yang permukaannya cukup kuat dan kaku. Fondasi dangkal terletak 2 m – 3 m dibawah permukaan tanah. Fondasi rakit, fondasi tiker, fondasi batu kali, fondasi tapak adalah contoh fondasi dangkal. Sedangkan fondasi dalam terletak pada kedalaman lebih dari 3 meter, biasanya fondasi dalam digunakan untuk konstruksi yang memiliki beban yang besar, seperti jembatan, gedung bertingkat, jalan layang, menara. Fondasi tiang pancang dan fondasi tiang bor (*bored pile*) adalah contoh fondasi dalam.

Pada kebanyakan proyek konstruksi yang menggunakan fondasi tiang bor (*bored pile*), proses pengeboran tanah untuk fondasi tiang bor (*bored pile*) tidak selalu menghasilkan dinding keliling yang halus, maka pada penelitian ini akan mencari pengaruh dinding yang kasar terhadap tahanan gesek fondasi tiang bor (*bored pile*) melalui percobaan memodelkan dinding tiang bor yang kasar pada laboratorium menggunakan uji *direct shear*.

Pendahuluan memuat tentang latar belakang penelitian, masalah dan tujuan penelitian, serta teori dan kajian penelitian-penelitian sebelumnya.

Tanah adalah material bahan bangunan yang berasal dari alam, material tanah ini terdiri dari butir – butir tanah padat, air dan juga udara. Tanah merupakan sebuah material yang berupa butiran mineral-mineral padat dari bahan-bahan organik yang telah melapuk dengan zat cair dan gas yang secara kimiawi tidak berkaitan satu sama lain diantara partikel-partikel padat tersebut (Pratikso, 2017). Menurut Das (1995), tanah diartikan sebagai bahan yang diperoleh dari butiran padat yang mengikat dan terurai dengan cairan dan gas yang mengisi rongga antar partikel. Yuliprianto (2010), menyatakan bahwa tanah adalah benda mati yang terletak pada kulit bumi dan berasal dari mineral hasil pelapukan hewan dan tumbuhan yang terjadi karena faktor iklim, wilayah dan waktu pembentukannya.

Pada umumnya tanah terbagi menjadi dua yaitu kohesif (*lengket*) dan non kohesif (*tidak lengket*). Tanah kohesif merupakan tanah berbutir halus dan memiliki rekatan antara butir-butirnya seperti, lempung (*Clay*), lanau (*Silt*). Sedangkan tanah non kohesif merupakan tanah berbutir kasar dan tidak memiliki rekatan antar butir-butirnya seperti krikil (*Gravel*), pasir (*Sand*).

Untuk memilih fondasi memadai, perlu diperhatikan apakah fondasi itu cocok untuk berbagai keadaan di lapangan dan apakah fondasi itu memungkinkan untuk diselesaikan secara ekonomis sesuai dengan jadwal kerjanya. Bila keadaan tersebut ikut

dipertimbangkan dalam menentukan macam fondasi

### **Tahanan Gesek Tiang Bor**

Dalam (Hardiyatmo, 2011) Tahanan gesek pada tiang bor dicari menggunakan metode  $\alpha$ . Tahanan gesek tiang dinyatakan dengan Persamaan (2.1):

$$f_s = \alpha c \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\alpha = \frac{c_a}{c} \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana:

$f_s$  = tahanan gesek persatuan luas ( $kg/cm^2$ )

$c_a$  = adhesi antara tanah dan beton ( $kg/cm^2$ )

$\alpha$  = faktor adhesi

$c$  = kohesi ( $kg/cm^2$ )

### **Direct Shear**

Pemeriksaan ini adalah untuk menentukan kuat geser tanah setelah mengalami konsolidasi akibat suatu beban dengan drainase 2 arah. Pemeriksaan dapat dilakukan dengan single shear atau double shear. Pemeriksaan dapat dibuat pada semua jenis tanah dan pada contoh tanah asli (undisturb) atau contoh tanah tidak asli (disturb). Dalam perhitungan mekanika tanah, kuat geser ini biasa dinyatakan dengan kohesi ( $c$ ) dan sudut gesek dalam ( $\varphi$ ). Tanah / sampel yang dapat digunakan (dicoba) dengan alat ini adalah untuk tanah yang tidak terlalu padat, jadi untuk tanah lembek dan tanah yang mengandung lempung.

Cara perhitungan  $\sigma_n$  dan  $\sigma_s$  :

a. Tegangan Normal ( $\sigma_n$ )

Tegangan normal adalah perbandingan antara Beban normal ( $P$ ) dengan luas penampang sampel ( $A$ )

$$\sigma_n = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.3)$$

b. Tegangan Geser ( $\sigma_s$ ).

Didapatkan dengan cara menunjuk dial dikalikan dengan angka kalibrasinya, kemudian dibagi dengan luas penampang sampel ( $A$ ).

$$\sigma_s = \frac{\text{Gaya Geser}}{A} \dots\dots\dots(2.4)$$

Cara perhitungan dan penggambaran dan  $\varphi$

- a. Angka-angka tegangan geser ( $\sigma_s$ ) sebagai sumbu ordinat.
- b. Angka-angka tegangan normal ( $\sigma_n$ ) sebagai sumbu absis.
- c. Dari titik-titik tersebut, ditarik garis lurus yang akan memotong sumbu ordinat.
- d. Untuk mencari harga kohesi ( $c$ ) diukur jarak untuk titik potong garis lurus atau grafik terhadap sumbu ordinat ke titik pusat. Dalam pengukuran ini, hasilnya dikalikan dengan skala yang digunakan.
- e. Sedangkan untuk mencari sudut geser dalam ( $\varphi$ ) tanah adalah dengan mengukur sudut potong dari garis horizontal terhadap garis grafik.

Tegangan geser pada tanah dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$r = c + \sigma \tan \varphi \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana:

$\tau$  = tegangan geser tanah/kuat geser tanah ( $kg/cm^2$ )

$c$  = kohesi tanah/kekohesifan tanah ( $kg/cm^2$ )

$\sigma$  = tegangan normal ( $kg/cm^2$ )

$\varphi$  = sudut gesek antar tanah/sudut gesek dalam ( $^\circ$ )

Wang (2020) mempelajari pengaruh kekasaran pada parameter mekanik antarmuka tanah liat-beton berlumpur, dan untuk mengeksplorasi penerapan sensor piezoresistif silikon untuk menguji tekanan antarmuka, sistem uji geser langsung skala besar digunakan untuk melakukan penelitian eksperimental pada karakteristik geser antarmuka tanah liat-beton berlumpur di bawah kondisi kekasaran yang berbeda. Berdasarkan sensor piezoresistif silikon, dianalisis karakteristik geser antarmuka lempung-beton berlanau. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor piezoresistif silikon memiliki kinerja yang sangat baik dalam mengukur tekanan antarmuka dan secara akurat dapat memperoleh karakteristik geser antarmuka lempung-beton berlumpur. ,e kekasaran memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan geser, kekakuan geser, dan sifat mekanik lainnya dari antarmuka tiang-tanah prefabrikasi. Dengan peningkatan kekasaran, kekuatan geser antarmuka, sudut gesekan antarmuka, koefisien kekakuan geser, dan tegangan geser sisa antarmuka semuanya menunjukkan tren yang meningkat, dengan peningkatan maksimum 37,0%. ,e adhesi antarmuka meningkat terlebih dahulu dan kemudian meningkat dengan meningkatnya kekasaran, dengan peningkatan sebesar 23,7%. Hasil pengujian dapat memberikan referensi untuk praktek rekayasa tiang pancang

Tegangan geser tanah pada uji *direct shear* antara tanah dengan beton yaitu:  $S'$

$$= c_a + \sigma \tan \delta \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana:

$S'$  = tegangan geser tanah ( $kg/cm^2$ )

$c_a$  = adhesi antara tanah dan beton ( $kg/cm^2$ )

$\sigma$  = tegangan normal ( $kg/cm^2$ )

$\delta$  = sudut gesek antara tanah dan beton ( $^\circ$ )

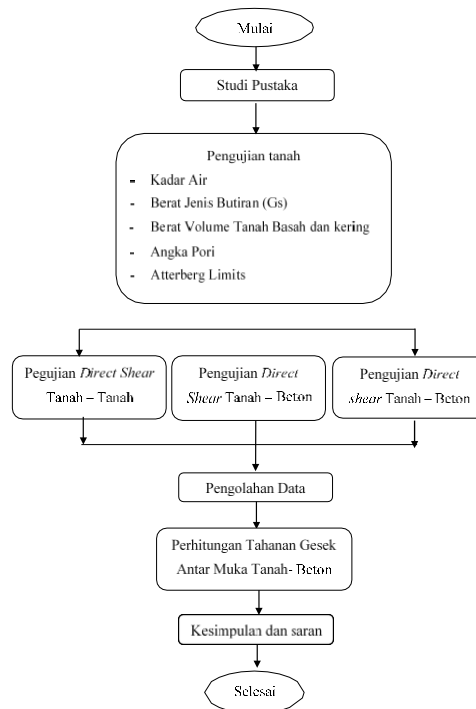
## 2. METODE

### 1. Tempat dan Waktu Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen skala laboratorium. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik, Program studi Teknik Sipil, Unissula, Semarang pada bulan Februari 2022 hingga April 2022.

## 2. Diagram Alir

Diagram alir dari proses penelitian ini adalah sebagai berikut :



**Gambar 2.1** Diagram Alir

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Tanah Lempung Asli

Hasil pengujian direct shear antara tanah dengan tanah, menggunakan tanah lempung. Dari percobaan ini menghasilkan data yang dapat dilihat pada tabel 3.1

**Tabel 3.1** Data Hasil Percobaan Direct Shear Tanah-Tanah

Sampel	Percobaan	Beban (kg)	Koreksi beban	Pembacaan dial
Tahan Tanah	1	8	7,958	38
	2	16	16,04	44
	3	24	23,998	47

Analisa hasil percobaan

#### 1. Tegangan Normal ( $\sigma_n$ )

Tegangan normal dicari menggunakan rumus (2.3) yaitu  $\sigma_n = \frac{P}{F}$

$$\begin{aligned}
 F &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \\
 &= 0,25 \times 3,14 \times 6,24^2 \\
 &= 0,25 \times 3,14 \times 38,94 \\
 &= 30,566 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P1 &= 8,95 \text{ kg} \\
 P2 &= 16,95 \text{ kg} \\
 P3 &= 24,95 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{n1} &= \frac{P1}{F} \\ &= \frac{8,95}{30,566} \\ &= 0,2928 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{n2} &= \frac{P2}{F} \\ &= \frac{16,95}{30,566} \\ &= 0,5545 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{n3} &= \frac{P1}{F} \\ &= \frac{24,95}{30,566} \\ &= 0,8163 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

2. Gaya Geser

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser 1} &= \text{dial} \times \text{kalibrasi} \\ &= 38 \times 0,376 \\ &= 14,288 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser 2} &= \text{dial} \times \text{kalibrasi} \\ &= 44 \times 0,376 \\ &= 16,544 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser 3} &= \text{dial} \times \text{kalibrasi} \\ &= 47 \times 0,376 \\ &= 17,672 \end{aligned}$$

3. Tegangan geser ( $\sigma_s$ )

Tegangan geser pada percobaan ini dicari menggunakan rumus 2.4 yaitu

$$\sigma_s = \frac{\text{gaya geser}}{F}$$

Pada tanah-tanah mendapatkan tegangan geser sebesar

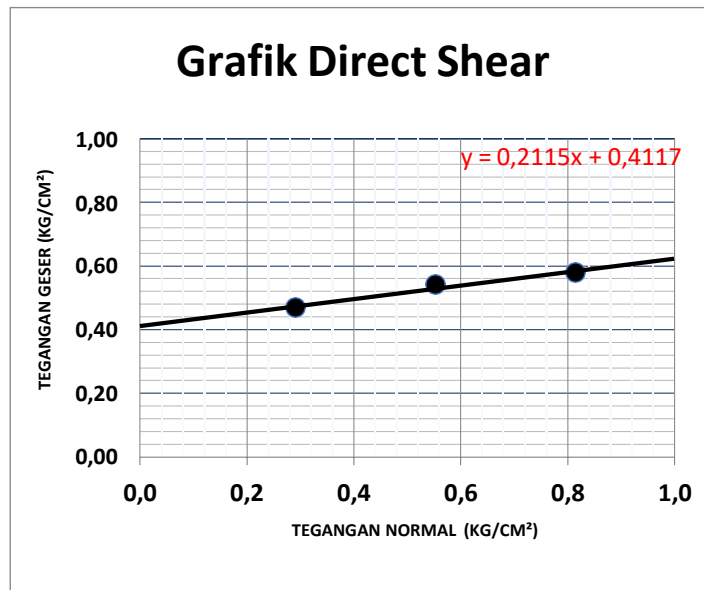
$$\begin{aligned} \sigma_{s1} &= \frac{\text{gaya geser 1}}{F} \\ &= \frac{14,288}{30,566} \\ &= 0,4674 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{s2} &= \frac{\text{gaya geser 2}}{F} \\ &= \frac{16,544}{30,566} \\ &= 0,5413 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{s3} &= \frac{\text{gaya geser 3}}{F} \\ &= \frac{17,672}{30,566} \\ &= 0,5782 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

**Tabel 3.2** Hasil Perhitungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser

Sampel	No percobaan	$\sigma_n$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Tanah	1	0,2928	0,4674
	2	0,555	0,5413
	3	0,816	0,5782



Gambar 3.1 Grafik *Direct Shear* Tanah-Tanah

Pada pengujian *direct shear* Tanah – Tanah menunjukkan bahwa semakin besar beban yang di berikan maka semakin tinggi pula hasil pembacaan dial

Serta mendapatkan nilai Kohesi (c) dan Sudut geser dalam ( $\varphi$ ) sebagai berikut :

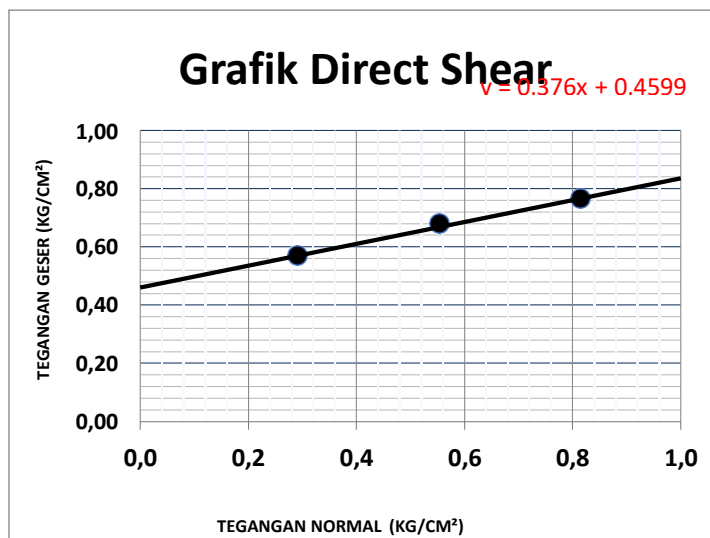
Kohesi (c) = 0,4117 kg/cm<sup>2</sup>

Sudut geser dalam ( $\varphi$ ) = 11,95°

**Tanah – Beton Polos**

Pada pengujian *direct shear* antara tanah dengan beton polos, menggunakan setengah tanah lempung dan setengahnya lagi beton polos

Pada pengujian *direct shear* Tanah – Beton Polos menunjukkan hasil pembacaan dial lebih besar di bandingkan pembacaan dial pada pengujian Tanah – Tanah. Nilai Kohesi (c) dan Sudut geser dalam ( $\varphi$ ) didapat dari hasil perhitungan berikut :



Gambar 3.2 Grafik *Direct Shear* Tanah-Beton Polos

Pada gambar 3.2 menunjukkan bahwa semakin tinggi hasil pembacaan dial maka semakin tinggi pula nilai dari tegangan normal dan tegangan geser. Percobaan direct shear antara tanah dengan Beton polos menghasilkan

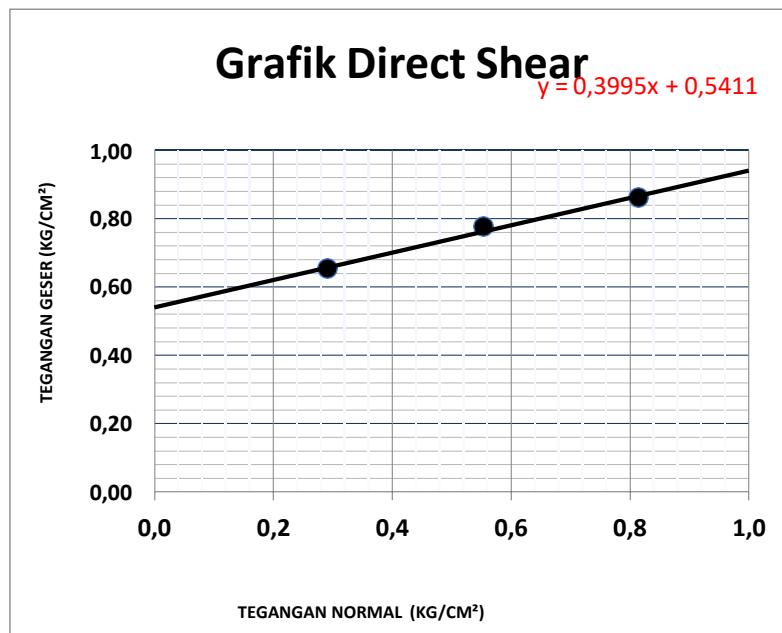
$$\text{Adhesi (ca)} = 0,4599 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Faktor Adhesi (}\alpha\text{)} = 1,1171 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Gesek Antar Muka (}\delta\text{)} = 20,62^\circ$$

#### Tanah – Beton Kekasaran 4

Pada pengujian direct shear antara tanah dengan beton kekasaran 4, menggunakan setengah tanah lempung dan setengahnya lagi beton dengan 4 kekasaran .



Gambar 3.3 Grafik *Direct Shear* Tanah-Beton Kekasaran 4

gambar 3.3 menunjukkan bahwa semakin tinggi hasil pembacaan dial maka semakin tinggi pula nilai dari tegangan normal dan tegangan geser. Percobaan direct shear antara tanah dengan Beton kekasaran 4 menghasilkan

$$\text{Adhesi (}\alpha\text{)} = 0,541 \text{ kg/cm}^2$$

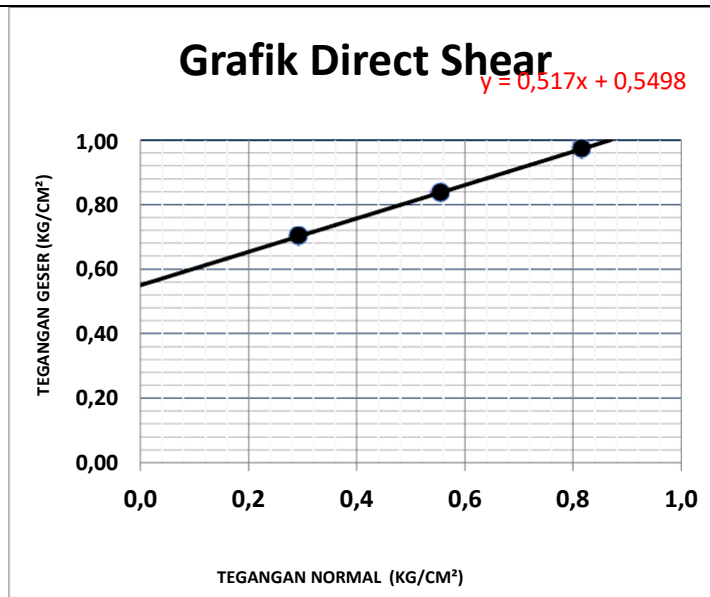
$$\text{Faktor Adhesi (}\alpha\text{)} = 1,3143 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Gesek Antar Muka (}\delta\text{)} = 21,79^\circ$$

#### Tanah – Beton Kekasaran 6

Pada pengujian direct shear antara tanah dengan beton kekasaran 6, menggunakan setengah tanah lempung dan setengahnya lagi beton dengan 6 kekasaran





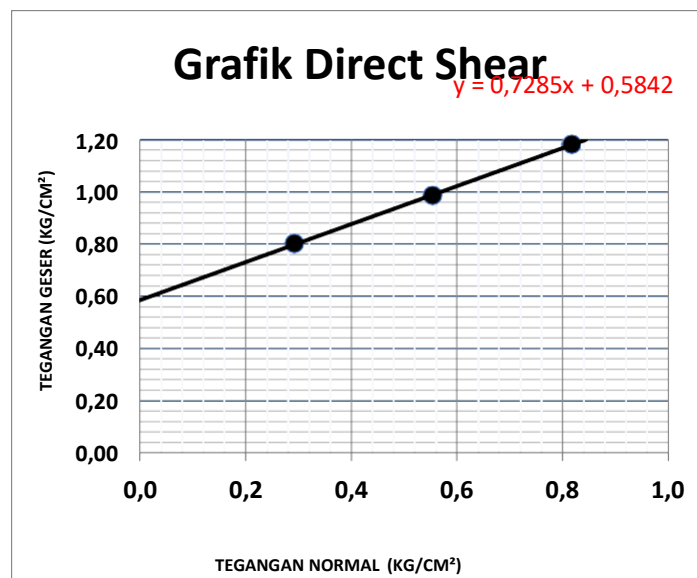
**Gambar 3.4** Grafik *Direct Shear* Tanah-Beton Kekasaran 6

Pada gambar 3.4 menunjukkan bahwa semakin tinggi hasil pembacaan dial maka semakin tinggi pula nilai dari tegangan normal dan tegangan geser. Percobaan direct shear antara tanah dengan Beton kekasaran 6 menghasilkan

$$\begin{aligned} \text{Adhesi } (\alpha) &= 0,550 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{Faktor Adhesi } (\alpha) &= 1,3354 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{Gesek Antar Muka } (\delta) &= 27,35^\circ \end{aligned}$$

### Tanah – Beton Kekasaran 8

Pada pengujian direct shear antara tanah dengan beton kekasaran 8, menggunakan setengah tanah lempung dan setengahnya lagi beton dengan 8 kekasaran.



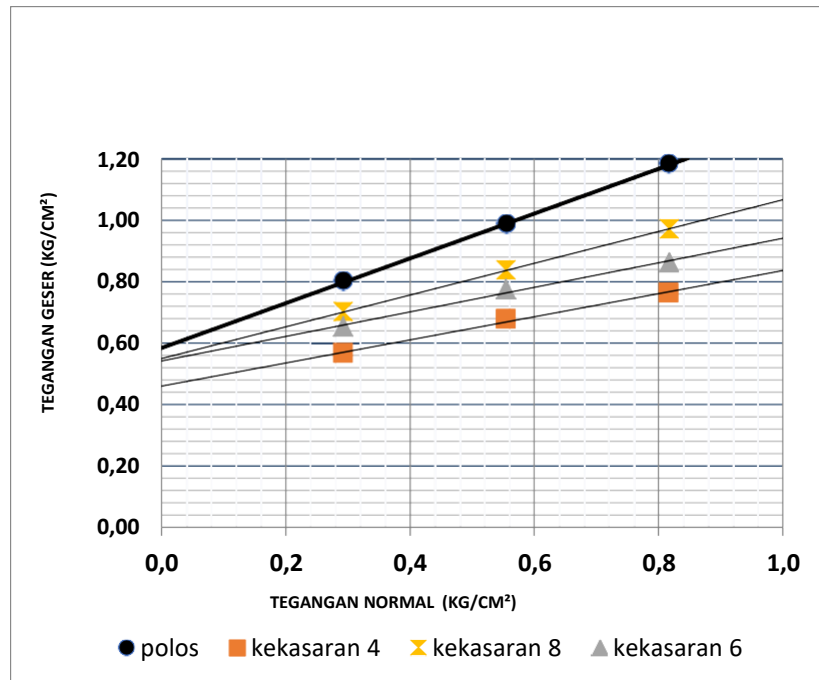
**Gambar 3.5** Grafik *Direct Shear* Tanah-Beton Kekasaran 8

Pada gambar 3.5 menunjukkan bahwa semakin tinggi hasil pembacaan dial maka semakin tinggi pula nilai dari tegangan normal dan tegangan geser. Percobaan direct shear antara tanah dengan Beton kekasaran 8 menghasilkan

Adhesi ( $\alpha$ ) = 0,584 kg/cm<sup>2</sup>

Faktor Adhesi ( $\alpha$ ) = 1,419 kg/cm<sup>2</sup>

Gesek Antar Muka ( $\delta$ ) = 36,09 °



**Gambar 3.6** Perbandingan Hasil Direct Shear

Gambar diatas memperlihatkan perbandingan dari hasil Pengujian *Direct Shear*. Pada tingkat kekasaran Beton berpengaruh pada hasil tegangan normal dan tegangan geser yang

disebabkan oleh semakin tinggi tingkat kekasaran beton maka semakin tinggi pula hasil pembacaan dial saat pengujian.

**Analisa Tahanan Gesek (Fs)**

Setelah mendapatkan nilai  $\alpha$  dari hasil pembagian antar adhesi percobaan tanah – beton dengan kohesi dari percobaan tanah – tanah. Maka selanjutnya mencari nilai tahanan gesek dari tiang bor terhadap tanah lempung.

Fs dicari menggunakan rumus  $F_s = \alpha \times c$

1. Fs tanah-beton polos

$$F_s = \alpha \times c$$

$$= 1,1171 \times 0,4117$$

$$= 0,4599 \text{ kg/cm}^2$$

2. Fs tanah-beton kekasaran 4

$$F_s = \alpha \times c$$

$$= 1,3143 \times 0,4117$$

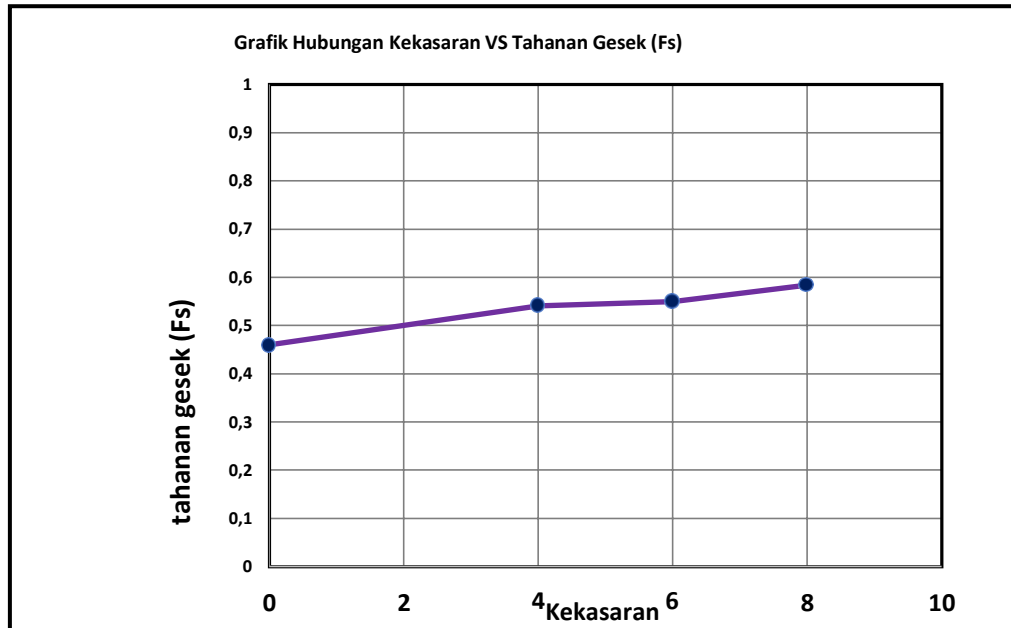
$$= 0,541 \text{ kg/cm}^2$$

3.  $F_s$  tanah-beton kekasaran 6

$$\begin{aligned} F_s &= \alpha \times c \\ &= 1,3354 \times 0,4117 \\ &= 0,55 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

4.  $F_s$  tanah-beton kekasaran 8

$$\begin{aligned} F_s &= \alpha \times c \\ &= 1,4189 \times 0,4117 \\ &= 0,584 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$



**Gambar 3.7** Perbandingan Hasil Tahanan gesek (fs)

Gambar diatas memperlihatkan bahwa semakin kasar permukaan benda uji maka semakin tinggi pula nilai tahanan gesek. Semua di sebabkan karena semakin meningkatnya factor adhesi maka meningkat juga juga nilai tahan gesek dari suatu permukaan beton.

**4. KESIMPULAN**

Berdasarkan Analisis terhadap data yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

- Nilai faktor adhesi pada tanah – beton polos adalah  $1,1171 \text{ kg/cm}^2$  sedangkan nilai adhesi pada tanah- beton kekasaran 4, tanah – beton kekasaran 6, tanah – beton kekasaran 8 berturut – turut adalah  $1,3143 \text{ kg/cm}^2$  ;  $1,3354 \text{ kg/cm}^2$ ;  $1,419 \text{ kg/cm}^2$ .
- Tahanan gesek antara tanah lempung dan beton polos adalah  $0,4599 \text{ kg/cm}^2$  sedangkan tahanan gesek antara tanah lempung dan beton kekasaran 4, tanah lempung dan beton kekasaran 6, tanah lempung dan beton kekasaran 8 adalah  $0,5411 \text{ kg/cm}^2$ ;  $0,5498 \text{ kg/cm}^2$ ;  $0,5842 \text{ kg/cm}^2$ .dan beton kekasaran 6, tanah lempung dan beton kekasaran 8 adalah  $0,5411 \text{ kg/cm}^2$ ;  $0,5498 \text{ kg/cm}^2$ ;  $0,5842 \text{ kg/cm}^2$ .
- Tahanan gesek maksimal yang didapat adalah pada tanah lempung dengan beton kekasaran 8 yaitu sebesar  $0,5842 \text{ kg/cm}^2$
- Pengaruh dinding tiang *bored pile* yang kasar adalah semakin kasar permukaan tiang

---

*bored pile* maka semakin besar pula nilai tahanan gesek ( $F_s$ ). Dengan semakin besarnya nilai  $F_s$  maka semakin besar daya dukung pondasi *bored pile*

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Taha, Hamdy. (2014). Riset Operasi. Jilid 2. Tangerang: Binarupa Aksara Publisher.
- Bowles, Joseph E. (1991). Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah). Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M. (1941). Soil Mechanics Laboratory Manual Third Edition. United States of America: Engineering Press, Inc.
- Das, B.M..1995. The Principle of Geotechnical Engineering (Mekanika Tanah). Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H.C. (2002). Mekanika Tanah I. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Wang Y, Liu X, Zhang M, and Bai X. (2020).Effect of Roughness on Shear Characteristics of the Interface between *Silty Clay* and Concrete. Advance in Soil Engineering, doi.org/10.1155/2020/8831759.
- Yulipriyanto, H. 2010. Biologi Tanah dan Strategi Pengolahannya. Yogyakarta: Graha ilmu.
- Hardiyatmo, Hary Christady. (2011). Analisis dan Perancangan Fondasi I Edisi Kedua. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary Christady. (2010). Analisis dan Perancangan Fondasi bagian I. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Pratikso. 2017. Mekanika Tanah I. Semarang. Unissula Press.
- Sosrodarsono, Suyono, dan Nakazawa, Kazuto. (2000). Mekanika Tanah dan Teknik Fondasi. Jakarta: Pradnya Paramitha.