TUGAS AKHIR

PERMODELAN FRIKSI TIANG BOR DINDING KASAR DENGAN *DIRECT SHEAR*

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung

Disusun Oleh :

Affit Noor Firdauzy.
NIM : 30201800007

Agam Loren Saputra.
NIM : 30201800009

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2022

LEMBAR PENGESAHAN

PERMODELAN FRIKSI TIANG BOR DINDING KASAR
DENGAN *DIRECT SHEAR*

Affit Noor Firdauzy
NIM : 30201800007

Agam Loren Saputra
NIM : 30201800009

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Agustus 2022

Tim Penguji	Tanda Tangan
1. Dr. Abdul Rochim, ST., MT. NIDN: 0608067601	……
2. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng. NIDN: 0631128901	……
3. Ir. H. Djoko Susilo Adhy, MT. NIDN: 0610115301	……

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

.

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 45 / A.2 / SA – T / II / 2022

Pada hari ini tanggal 25 Februari 2022 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II :

1. Nama : Dr. Abdul Rochim, ST., MT.
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing I

2. Nama : Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing II

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Affit Noor Firdauzy	Agam Loren Saputra
NIM : 30201800007	NIM : 30201800009

Judul : Permodelan Friksi Tiang Bor Dinding Kasar Dengan *Direct Shear*
Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	25 Februari 2022	
2	Seminar Proposal	6 April 2022	ACC
3	Pengumpulan data	Mei 2022	
4	Analisis data	Mei 2022	
5	Penyusunan laporan	Mei 2022	
6	Selesai laporan	27 Juli2022	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Dr. Abdul Rochim, ST., MT.	Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Affit Noor Firdauzy	NAMA : Agam Loren Saputra
NIM : 30201800007	NIM : 30201800009

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :
Permodelan Friksi Tiang Bor Dinding Kasar Dengan *Direct Shear*
benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, Agustus 2022
Yang membuat pernyataan,

Mahasiswa I	Mahasiswa II
Affit Noor Firdauzy	Agam Loren Saputra

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Affit Noor Firdauzy
NIM : 30201800007

NAMA : Agam Loren Saputra
NIM : 30201800009

JUDUL : Permodelan Friksi Tiang Bor Dinding Kasar Dengan *Direct Shear*

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, Agustus 2022
Yang membuat pernyataan,

Mahasiswa I

Affit Noor Firdauzy

Mahasiswa II

Agam Loren Saputra

MOTTO

"Manusia yang terbaik adalah yang dilahirkan dalam keislaman, sebab memerintah berbuat baik dan mencegah hal buruk serta iman kepada-Nya, meskipun banyak yang beriman tetapi banyak umat yang buruk".
(Q.S. Ali'Imran : 110)

"Allah tidak membebani seorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya"
(Q.S. Al Baqarah : 286)

"Angin tidak berhembus ntuk menggoyangkan pepohonan, melainkan menguji kekuatan akarnya"
(Ali bin Abi Thalib)

"Menuntut ilmu adalah takwa. Menyampaiakan ilmu adalah ibadah. Mengulang-ulang ilmu adalah dzikir. Mencari ilmu adalah jihad"
(Abu Hamid Al Ghazali)

"Beramallah untuk duniamu seolah-olah engkau hidup selamanya. Dan beramallah untuk akhiratmu seolah-olah engkau mati esok."
(Al-Mahfudzot)

"Kurang cerdas dapat diperbaiki dengan belajar, kurang cakap dapat dihilangkan dengan pengalaman.. namun tidak jujur itu sulit untuk diperbaiki"
(Mohammad Hatta)

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya. Bapak Maryono dan Ibu Susmiyati yang selalu berkorban agar anaknya dapat menempuh Pendidikan serta yang memberikan segenap kasih sayang, semangat, dukungan dan do'a untuk keberkahan saya dalam mencari ilmu yang berkah dan bermanfaat.
2. Kedua Kakak dan Saudara-saudara saya tercinta yang telah memberikan dukungan dan do'a sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
3. Dosen pembimbing Tugas Akhir saya Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT. dan Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng. yang telah membimbing segenap tenaga dan sepenuh hati untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Sutardi dan Bapak Rifqi Brilyant Arief, ST., MT. yang telah membantu dalam penelitian Tugas Akhir ini
5. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang penuh manfaat dan sangat berguna selama saya menuntut ilmu di Fakultas Teknik UNISSULA.
6. Saudara Agam Loren Saputra, teman seperjuangan dalam hal apapun.
7. Saudari Alif Sri Mulyati, ST. yang telah membantu dalam banyak hal
8. Jamaah Yasin An-Nawawi yang selalu tempatt untuk pulang dari segala kepenatan urusan duniawi. .
9. Teman-teman Teknik Sipil UNISSULA Angkatan 2018 yang turut memberikan semangat kepada saya khususnya Agus Joko Prayogi, Muhammad Aziz Sulistiawan, Alfan Aldo Hernata, Adji Noer Alim dan Agus Munif.
10. HMK *Official* Naila, Widya, Elma, Putra, Shochi dan Hana sebagai teman info kebahagiaan
11. Kepada duo sloter Ahmad Irvan Maulana Dan Sahabat Putra Sebagai penampung tempat tinggal

Affit Noor Firdauzy

NIM : 30201800007

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya. Bapak Agus Lasimin dan Ibu Juju Juharti yang selalu berkorban agar anaknya dapat menempuh Pendidikan serta yang memberikan segenap kasih sayang, semangat, dukungan dan do'a untuk keberkahan saya dalam mencari ilmu yang bermanfaat.
2. Kakak-kakak saya tercinta. Sugiri, Yeni Octaviani, M.Khaeruddin Saputra, Novi Ratnasari, Lifia Kholifatun serta saudara saya yang telah memberikan dukungan dan do'a sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
3. Dosen pembimbing Tugas Akhir saya Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT. dan Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng. yang telah membimbing segenap tenaga dan sepenuh hati untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Sutardi dan Bapak Rifqi Brilyant Arief, ST., MT. yang telah membantu dalam penelitian Tugas Akhir ini
5. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang penuh manfaat dan sangat berguna selama saya menuntut ilmu di Fakultas Teknik UNISSULA.
6. Saudara Affit Noor Firdauzy, teman seperjuangan dalam hal apapun.
7. Saudari Alif Sri Mulyati, ST. yang telah membantu dalam banyak hal.
8. Neng Jihan Syifa` Fauziyah yang telah memberikan semangat, dukungan dan do'a sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
9. Teman-teman Teknik Sipil UNISSULA Angkatan 2018 yang turut memberikan semangat kepada saya khususnya Agus Joko Prayogi, Muhammad Aziz Sulistiawan, Alfan Aldo Hernata, Adji Noer Alim dan Agus Munif.

Agam Loren Saputra

NIM : 30201800009

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "**PERMODELAN FRIKSI TIANG BOR DINDING KASAR DENGAN *DIRECT SHEAR***" guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT.,Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar,ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang terlah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
3. Dr. Abdul Rochim, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skrisi ini.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

Penulis menyadari keterbatasan ilmu pengetahuan, kemampuan,pemahaman, dan kurangnya pengalaman yang dimiliki, dalam penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, Agustus 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iv
PERNYATAAN KEASLIAN v
MOTTO vi
PERSEMBAHAN vii
PERSEMBAHAN viii
KATA PENGANTAR ix
DAFTAR ISI x
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR GAMBAR xiv
DAFTAR NOTASI xvi
ABSTRAK xvii
ABSTRACT xviii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Batasan Masalah 3
1.5 Sistematika Penulisan 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Tanah 5
2.2 Fondasi 5
2.3 Fondasi Tiang Bor *(Bored Pile)* 9
2.3.1 Jenis-Jenis Fondasi *Bored Pile* 9
2.3.2 Metode Pelaksanaan Fondasi *Bored Pile* 9
2.3.3 Keuntungan Fondasi *Bored Pile* 11
2.3.4 Kerugian Fondasi *Bored Pile* 11
2.3.5 Tahanan Gesek Tiang Bor 11

2.4 *Direct Shear* 12
2.4.1. Peralatan yang digunakan. 12
2.4.2. Prosedur Percobaan. 12
2.5 Pengujian Tanah 14
2.5.1. *Water Content* / Kadar Air (w) 14
2.5.2. *Spesific Gravity* / Berat Jenis Butiran (Gs) 14
2.5.3. Berat Volume Tanah 16
2.5.4. Angka Pori (e) 17
2.6 *Atterberg Limits* 17
2.6.1. Batas Cair (*Liquid Limits*) 17
2.6.2. Batas Plastis (*Plastic Limits*) 19
2.6.3. Indeks Plastis (*Plastic Index*) 20
2.7 *Direct shear* Antar Dua Permukaan 20
BAB III METODOLOGI 24
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian 24
3.2 Sample Tanah 24
3.3 Alat dan Bahan 25
3.3.1 Alat 25
3.3.2 Bahan 34
3.4 Tahapan-Tahapan Penelitian 35
3.4.1 Studi literatur 35
3.4.2 Pengujian Tanah 35
3.4.3 Pengujian *Direct Shear* Tanah-Tanah 36
3.4.4 Pengujian *Direct Shear* Tanah-Beton 36
3.5 Perhitungan Tahanan Gesek Antar Muka Tanah - Beton 37
3.6 Diagram Alir 38

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 39
4.1 Tinjauan Umum 39
4.2 Sifat Fisik Tanah Lempung Asli 39
4.2.1 Kadar Air 39
4.2.2 Berat Jenis Butiran (Gs) 41
4.2.3 Berat volume tanah γ 43
4.2.4 Angka Pori (Void Ratio) 46
4.2.5 Mencari *Atterberg Limits* 47
4.2.6 *Plastic Limits* 49
4.2.7 *Plastic Index* 49
4.3 Sifat Mekanis Tanah 50
4.3.1 Tanah Lempung Asli 50
4.3.2 Tanah – Beton Polos 53
4.3.3 Tanah – Beton Kekasaran 4 57
4.3.4 Tanah – Beton Kekasaran 6 61
4.3.5 Tanah – Beton Kekasaran 8 65
4.4 Analisa Tahanan Gesek (Fs) 73
BAB V PENUTUP 75
5.1 Kesimpulan 75
5.2 Saran 75
DAFTAR PUSTAKA 76
LAMPIRAN 78

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koreksi Temperatur 15
Tabel 2.2 Nilai Indeks Plastis dan Macam Tanah 20
Tabel 4.1. Data percobaan kadar air 40
Tabel 4.2. Data Hasil Perhitungan Kadar Air (*Water Content*) 41
Tabel 4.3. Data Percobaan Berat Jenis Butiran (Gs) 41
Tabel 4.4. Harga Air Piknometer 42
Tabel 4.5. Data Hasil Perhitungan Berat Jenis Butiran (Gs) 43
Tabel 4.6. Data Percobaan Berat Volume Tanah Basah 43
Tabel 4.7. Volume Ring 44
Tabel 4.8. Data Hasil Percobaan Berat Volume Tanah Basah 45
Tabel 4.9. Data Hasil Percobaan Berat Volume Tanah Kering 45
Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Berat Volume Tanah Kering 46
Tabel 4.11. Data Perhitungan Angka Pori 46
Tabel 4.12. Data Hasil Perhitungan Angka Pori 47
Tabel 4. 13 Data Percobaan *Liquid Limits* 47
Tabel 4. 14 Hasil Percobaan *Liquid Limits* 48
Tabel 4.15 Data Percobaan *Plastic Limits* 49
Tabel 4.16 Data Hasil Percobaan *Direct Shear* Tanah-Tanah 50
Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser 52
Tabel 4.18 Data Hasil Percobaan *Direct Shear* Tanah- Beton Polos 53
Tabel 4.19 Hasil perhitungan tegangan normal dan tegangan geser 56
Tabel 4.20 Data Hasil Percobaan *Direct Shear* Tanah- Beton kekasaran 4..... 58
Tabel 4.21 Hasil perhitungan tegangan normal dan tegangan geser 60
Tabel 4.22 Data Hasil Percobaan *Direct Shear* Tanah- Beton kekasaran 6..... 62
Tabel 4.23 Hasil perhitungan tegangan normal dan tegangan geser 64
Tabel 4.24 Data Hasil Percobaan *Direct Shear* Tanah- Beton kekasaran 8..... 66
Tabel 4.25 Hasil perhitungan tegangan normal dan tegangan geser 68
Tabel 4.26 Kesimpulan 69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Macam - Macam Fondasi 7
Gambar 2.2 Jenis-Jenis Fondasi *Bored Pile* 9
Gambar 2.3 Skema Alat *Casagrande* 19
Gambar 3.1 Sample tanah 24
Gambar 3.3 Saringan No 40 25
Gambar 3.4 Penumbuk 25
Gambar 3.5 Cawan besar 26
Gambar 3.6 Oven 27
Gambar 3.7 Timbangan 27
Gambar 3.8 Piknometer 28
Gambar 3.9 Saringan No 10 28
Gambar 3.10 *Termometer* 29
Gambar 3.11 Corong 29
Gambar 3.12 Alat Perata 30
Gambar 3.13 Ring Cetakan 31
Gambar 3.14 Silinder Pejal Pendorong Tanah 31
Gambar 3.15 Mika Pencetak Beton 32
Gambar 3.16 Gunting 32
Gambar 3.17 Pisau Pencetak Arsiran 33
Gambar 3.18 Solasi 33
Gambar 3.19 Perangkat *Direct Shear* 34
Gambar 3.20 *Aquadest* 35
Gambar 3.21 Uji *direct shear* terhadap tanah lempung 36
Gambar 3.22 Uji *direct shear* antara tanah-beton 37
Gambar 3.23 *Flowcart* 38
Gambar 4.1 Hasil Percobaan *Liquid Limits* 48
Gambar 4.2 Sampel tanah-tanah 50
Gambar 4.3 Grafik *Direct Shear* Tanah-Tanah 52
Gambar 4.4 Sampel tanah - beton polos 53

Gambar 4.5 Hubungan Jarak Geser Dengan Dial Pembacaan Tanah-Beton Polos 54
Gambar 4.6 Grafik *Direct Shear* Tanah-Beton Polos 57
Gambar 4.7 Sampel tanah- beton kekasaran 4 57
Gambar 4.8 Hubungan Jarak Geser Dengan Dial Pembacaan Tanah-Beton Kekasaran 4 58
Gambar 4.9 Grafik *Direct Shear* Tanah-Beton Kekasaran 4 61
Gambar 4.10 Sampel tanah- beton kekasaran 6 61
Gambar 4.11 Hubungan Jarak Geser Dengan Dial Pembacaan Tanah-Beton Kekasaran 6 62
Gambar 4.12 Grafik *Direct Shear* Tanah-Beton Kekasaran 6 65
Gambar 4.13 Sampel tanah- beton kekasaran 8 65
Gambar 4.14 Hubungan Jarak Geser Dengan Dial Pembacaan Tanah-Beton Kekasaran 8 66
Gambar 4.15 Grafik *Direct Shear* Tanah-Beton Kekasaran 8 69
Gambar 4.16 Perbandingan Hasil *Direct Shear* 70
Gambar 4.17 Perbandingan Hasil Adhesi 70
Gambar 4.18 Perbandingan Hasil Faktor Adhesi 71
Gambar 4.19 Perbandingan Hasil Delta 71
Gambar 4.20 Perbandingan Hasil Tan Delta 72
Gambar 4.21 Perbandingan Hasil Tahanan gesek (fs) 74

DAFTAR NOTASI

c = kohesi

ca = adhesi tanah-beton

φ = sudut geser dalam tanah

δ = sudut geser dalam antara beton dan tanah

α = faktor adhesi

σ_n = tegangan normal

σ_s = Tegangan Geser

P = Beban normal

A = penampang sampel

w = Kadar Air / *Water Content*

Gs = Berat Jenis Butir

γs = Berat Volume Butir

T= suhu

d = diameter

v= volume

e = angka pori

Fs = tahanan gesek

γb = Berat volume tanah basah

γk = Berat volume tanah kering

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 sheer, dan dihitung tahanan gesek menggunakan rumus fs = a x c.

Nilai PI yang didapat sebesar 40,42%. Tahanan gesek antara tanah lempung dan beton polos 0,189 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 0,223 kg/cm^2 ; 0,226 kg/cm^2; 0,24 kg/cm^2 . 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 fondasi 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 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 sheer, and calculated frictional resistance using the formula fs = a x c.

The PI value obtained is 40.42%. Frictional resistance between *Clay* soil and plain concrete 0.189 kg/cm^2 , 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^2 ; 0.226 kg/cm^2 ; 0.24 kg/cm^2 .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; Friction*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fondasi yaitu 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 tikar, 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.

Proses pelaksanaan pekerjaan fondasi dalam (*bored pile*) berawal dari pengukuran, yang kedua perakitan tulangan, ketiga yaitu pekerjaan *preboring*, proses keempat adalah pengeboran dan pembersihan lubang bor, kemudian dilakukan pemasangan *casing* sementara, selanjutnya instalasi tulangan pada lubang bor dan pekerjaan pengecoran, proses yang terakhir adalah pekerjaan *uninstall casing* sementara

Kuat dukung ujung dan kuat dukung geser akan menghasilkan kuat dukung fondasi tiang bor *(bored pile)*. Kuat dukung ujung diperoleh dari tekanan ujung tiang, sedangkan kuat dukung geser diperoleh dari kuat dukung gesek antara fondasi tiang bor *(bored pile)* dan tanah disekeliling fondasi tersebut.

(Haeri et al., 2019) menekankan pada penyelidikan pengaruh kekasaran antarmuka beton tanah terhadap perilaku geser antarmuka dalam dua sampel pengujian laboratorium berlapis. Dalam sampel yang disiapkan secara khusus ini, lapisan lanau lempung dengan berat jenis $2027\ \mathrm{kg/m^3}$ dipilih untuk dikontakkan dengan lapisan beton untuk mempermudah pengujian laboratorium. Uji ukuran partikel dan uji geser langsung dilakukan untuk menentukan ukuran partikel yang sesuai dan sifat kekuatan gesernya seperti kohesi dan sudut gesekan. Kemudian, undulasi permukaan berupa gigi diberikan pada permukaan beton dan lapisan tanah pada pengujian yang berbeda yang dilakukan pada benda uji campuran tersebut. Sampel beton tanah disiapkan dalam bentuk kubus 10 cm x 10 cm x 30 cm dalam dimensi. Undulasi (kekasaran antar permukaan) diberikan dalam bentuk satu gigi atau dua gigi yang masing-masing memiliki sudut 15° dan 30°. Beberapa uji geser langsung dilakukan di bawah empat beban normal yang berbeda 80 KPa, 150 KPa, 300 KPa, dan 500 KPa dengan laju perpindahan konstan 0,02 mm/menit. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa mekanisme keruntuhan geser dipengaruhi oleh jumlah gigi, sudut kekasaran dan tegangan normal yang diterapkan pada sampel. Gigi digeser dari dasar di bawah beban normal rendah sementara retak miring dapat menyebabkan kegagalan di bawah beban normal yang lebih tinggi. Dengan bertambahnya jumlah gigi, kekuatan geser sampel juga meningkat. Ketika sudut kekasaran gigi meningkat, bagian yang lebih luas dari dasar gigi akan gagal yang berarti kekuatan geser sampel meningkat.

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*

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang ada diatas dapat dirumuskan suatu permasalahan, antara lain:

a. Bagaimana perbandingan hasil uji *direct shear* antara tanah - beton halus, tanah - beton dengan variasi kekasaran?
b. Bagaimana hasil tahanan gesek dengan menggunakan permukaan dinding fondasi tiang bor yang halus dan kasar. ?
c. Bagaimana pengaruh kekasaran dinding fondasi tiang bor pada tahanan gesek fondasi tiang bor ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini ialah :

a. Mencari nilai faktor adhesi antara lempung dan beton
b. Mengetahui tahanan gesek antara lempung dan beton
c. Mendapatkan tahanan gesek yang maksimal
d. Mencari pengaruh dinding tiang bor *(bored pile)* yang kasar dengan percobaan di laboratorium

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalahnya adalah

a. Pengujian pada penelitian ini dengan cara uji *direct shear*
b. Uji *direct shear* hanya uji *direct shear* antar permukaan tanah – tanah, tanah – beton halus, tanah – beton dengan variasi kekasaran
c. Tanah yang digunakan adalah tanah lempung yang biasa digunakan untuk kerajinan tangan

1.5 Sistematika Penulisan

Rincian penyusunan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, sistematika laporan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang teori tanah, fondasi secara umum, tentang fondasi *bored pile*, peraturan uji *direct shear*, peraturan uji propertis, dan peraturan uji atterberg limit

BAB III METODOLOGI

Pada bab ini berisi tentang tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan serta langkah – langkah penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab hasil dan pembahasan ini berisi tentang hasil dari pengujian *direct shear*, uji propertis, dan atterberg limit serta hasil pengolahan data

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisa yang bisa menjawab tujuan penelitian serta saran yang di sampaikan mengenai hasil analisis ini.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

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 pratikel-pratikel 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. (Yulipriyanto, 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 pembetukannya.

Pada umumnya tanah terbagi menjadi dua yaitu kohesif (lengket) dan 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*).

2.2 Fondasi

Fondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang bertugas meletakkan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas *(upper structure)* ke dasar tanah yang cukup kuat mendukungnya. Untuk tujuan itu fondasi bangunan harus diperhitungkan dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban berguna dan gaya-gaya luar, seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain dan tidak boleh terjadi penurunan fondasi setempat ataupun penurunan fondasi merata lebih dari batas tertentu.

Suatu perencanaan fondasi dikatakan benar apabila beban yang diteruskan oleh fondasi ke tanah tidak melampaui kekuatan tanah yang bersangkutan. Apabila kekuatan tanah dilampaui, maka penurunan yang berlebihan atau

keruntuhan dari tanah akan terjadi, kedua hal tersebut akan menyebabkan kerusakan konstruksi yang berada di atas fondasi tadi.

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, hal-hal berikut ini perlu dipertimbangkan:

a. Keadaan tanah fondasi.
b. Batasan-batasan akibat konstruksi di atasnya *(upper structure)*.
c. Batasan-batasan dari sekelilingnya.
d. Waktu dan biaya pekerjaan.

Fondasi bangunan biasa dibedakan sebagai fondasi dangkal *(shallow foundations)* dan fondasi dalam *(deep foundations)*, tergantung dari perbandingan kedalaman fondasi dengan lebar fondasi dan secara umum digunakan patokan:

a. Jika kedalaman dasar fondasi dari muka tanah adalah kurang atau sama dengan lebar fondasi ($D \leq B$), maka disebut fondasi dangkal.
b. Jika kedalaman dasar fondasi dari muka tanah adalah lebih dari lima kali lebar fondasi ($D > 5B$), maka disebut fondasi dalam.

Kedalaman suatu fondasi menentukan jenis fondasi yang akan digunakan. Berdasarkan tingkat kedalaman pemancangan fondasi pada kedalaman tanah, maka fondasi dapat dibagi menjadi dua (Hardiyatmo, 2002), yaitu:

a. Fondasi Dangkal *(Shallow Foundations)*

   Fondasi dangkal ialah fondasi yang mendukung beban secara langsung, seperti :

   - Fondasi Memanjang

     Fondasi memanjang adalah fondasi yang digunakan untuk mendukung dinding memanjang atau digunakan untuk mendukung kolom sederhana yang berjarak dekat sehingga bila dipakai fondasi telapak sisi-sisinya akan berimpit satu sama lain (Gambar 2.1 a).

   - Fondasi Telapak

     Fondasi telapak merupakan fondasi yang berdiri sendriri dalam mendukung kolom (Gambar 2.1 b).

- Fondasi Rakit *(Raft Foundation)*

  Fondasi rakit merupakan fondasi yang digunakan untuk mendukung bangunan yang terletak pada tanah lunak atau digunakan bila susunan kolom-kolom jaraknya sedemikian dekat disemua arahnya, sehingga bila dipakai fondasi telapak, sisi-sisinya berimpit satu sama lain. Jenis fondasi ini umumnya berlaku untuk tanah yang mempunyai daya dukung tanah yang sangat kecil (Gambar 2.1 c).

b. Fondasi Dalam *(Deep Foundations)*

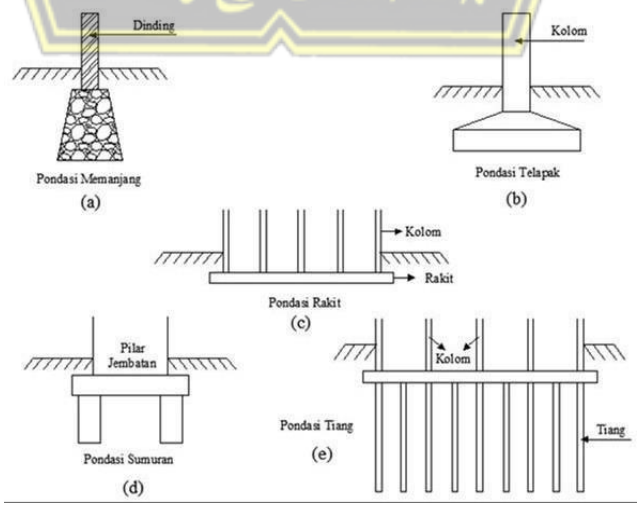
Fondasi dalam ialah fondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras yang terletak pada kedalaman yang sangat dalam, seperti:

- Fondasi Sumuran *(Pier Foundations)*

  Fondasi ini merupakan peralihan antar fondasi dangkal dan fondasi dalam, digunakan bila tanah dasar yang kuat terletak pada kedalaman yang relatif dalam, dimana fondasi sumuran nilai kedalaman (Df) dibagi lebarnya (B) lebih besar dari 4 sedangkan fondasi dangkal $Df/B \leq 1$ (Gambar 2.1 d).

- Fondasi Tiang *(Pile Foundations)*

  Fondasi tiang digunakan bila tanah fondasi pada kedalaman yang normal tidak mampu mendukung bebannya dan tanah kerasnya terletak pada kedalaman yang sangat dalam. Fondasi tiang umumnya berdiameter lebih kecil dan lebih panjang dibandingkan dengan fondasi sumuran (Bowles, 1991). (Gambar 2.1 e).



Gambar 2.1 Macam - Macam Fondasi

Fondasi Tiang *(Pile Foundations)*

Fondasi tiang adalah bagian konstruksi yang dibuat dari kayu, beton dan/atau baja, yang digunakan untuk meneruskan (mentrasmisikan) beban permukaan ke tingkat permukaan yang lebih rendah dalam massa tanah. Beban terdistribusi sebagai beban vertikal dari beban sepanjang poros tiang pancang atau pemakaian beban secara langsung terhadap lapisan yang lebih rendah melalui ujung tiang pancang (Bowles, 1991).

Fondasi tiang adalah suatu konstruksi fondasi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan jalan menyerap lenturan. Fondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang pancang yang terdapat dibawah konstruksi denga tumpuan fondasi. (Sosrodarsono & Nakazawa, 2000).

Fondasi tiang digunakan bila tanah fondasi pada kedalaman yang normal tidak mampu mendukung bebannya dan tanah kerasnya terletak pada kedalaman yang sangat dalam. Fondasi tiang umumnya berdiameter lebih kecil dan lebih panjang dibandingkan dengan fondasi sumuran (Bowles, 1991).

Klasifikasi Fondasi Tiang

Berdasarkan metode instalasinya, fondasi tiang pada umumnya dapat diklasifikasikan atas (Hardiyatmo, 2010):

a. Tiang Pancang *(Driven Pile)*

Tiang yang dipasang dengan cara membuat bahan berbentuk bulat atau bujur sangkar memanjang yang dicekat lebih dulu dan kemudian dipancang atau ditekan kedalam tanah.

b. Tiang Bor *(Drilled Shaft)*

Tiang yang dipasang dengan cara mengebor tanah lebih dulu sampai kedalaman tertentu, kemudian tulangan baja dimasukkan kedalam lubang bor dan kemudian diisi/dicor dengan beton.

c. Kaison *(Caisson)*

Kaison merupakan suatu bentuk kotak atau silinder telah dicetak lebih dulu dimasukkan kedalam tanah, pada kedalaman tertentu kemudian diisi beton, kadang-kadang kaison juga disebut tiang bor yang berdiameter / lebar besar sehingga kadang-kadang membingungkan dalam penyebutan.

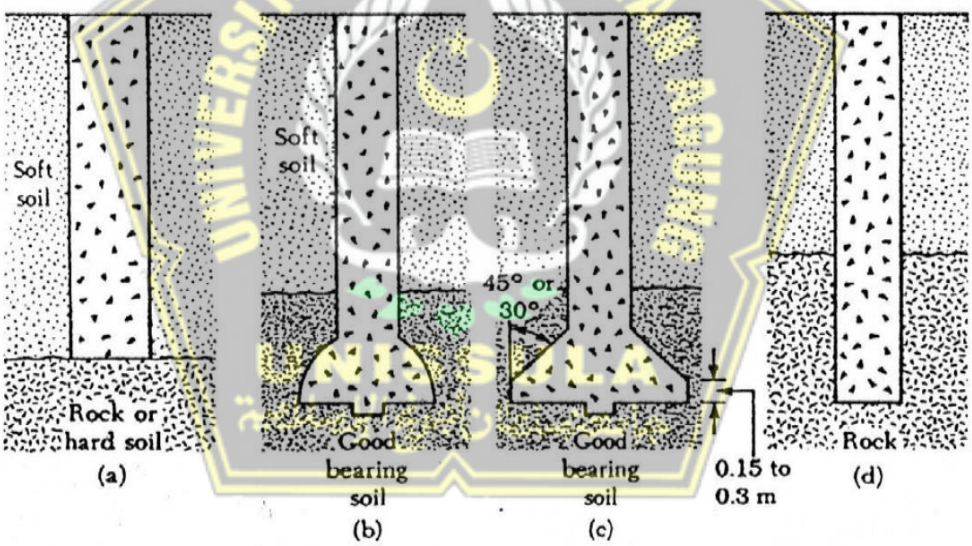
2.3 Fondasi Tiang Bor *(Bored Pile)*

Fondasi *bored pile* adalah fondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah lebih dahulu (Hardiyatmo, 2010). Pemasangan fondasi *bored pile* ke dalam tanah dilakukan dengan cara mengebor terlebih dahulu, kemudian diisi tulangan yang telah dirangkai dan dicor beton. Apabila tanah mengandung air, maka dibutuhkan pipa besi atau yang biasa disebut dengan *temporary casing* untuk menahan dinding lubang agar tidak terjadi kelongsoran dan pipa ini akan dikeluarkan pada waktu pengecoran beton.

2.3.1 Jenis-Jenis Fondasi Bored Pile

Menurut (Das, 1941), fondasi *bored pile* mempunyai empat jenis, diantaranya:

a. *Bored pile* lurus untuk tanah keras.
b. *Bored pile* yang ujungnya diperbesar berbentuk bel.
c. *Bored pile* yang ujungnya diperbesar berbentuk trapesium.
d. *Bored pile* lurus untuk tanah berbatu-batuan.



Gambar 2.2 Jenis-Jenis Fondasi *Bored Pile*

2.3.2 Metode Pelaksanaan Fondasi Bored Pile

Metode pelaksanaan fondasi *bored pile* ada 3 macam, yaitu metode kering, metode basah dan metode *casing*. Berikut penjelasan perbedaan metode yang digunakan pada pelaksanaan fondasi *bored pile:*

a. Metode Kering

Metode kering cocok digunakan pada tanah diatas muka air tanah yang ketika

dibor dinding lubangnya tidak longsor, seperti lempung kaku homogen. Metode kering dapat dilakukan pada tanah di bawah muka air tanah, jika tanahnya mempunyai permeabilitas rendah, sehingga ketika dilakukan pengeboran, air tidak masuk ke dalam lubang bor saat lubang masih terbuka. Pada metode kering, lubang dibuat menggunakan mesin bor tanpa pipa pelindung tanpa *casing*. Dasar lubang bor yang kotor oleh rontokan tanah dibersihkan, tulangan yang telah dirangkai dimasukkan ke dalam lubang bor dan kemudian dicor.

b. Metode Basah

Metode basah umumnya dilakukan bila pengeboran melewati muka air tanah, sehingga lubang bor selalu longsor bila dindingnya tidak ditahan. Agar lubang tidak longsor, di dalam lubang bor diisi dengan larutan lempung atau larutan polimer, jadi pengeboran dilakukan dalam larutan. Jika kedalaman yang diinginkan telah tercapai, lubang bor dibersihkan dan tulangan yang telah dirangkai dimasukkan ke dalam lubang bor yang masih berisi cairan *bentonite (polymer).* Adukan beton dimasukkan ke dalam lubang bor dengan pipa tremi, larutan *bentonite* akan terdesak dan terangkat ke atas oleh adukan beton. Larutan yang keluar dari lubang bor, ditampung dan dapat digunakan lagi untuk pengeboran di lokasi selanjutnya.

c. Metode *Casing*

Metode digunakan jika lubang bor sangat mudah longsor, misalnya tanah dilokasi adalah pasir bersih di bawah muka air tanah. Untuk menahan agar lubang bor tidak longsor digunakan pipa selubung baja *(casing).* Pemasangan pipa selubung ke dalam lubang bor dilakukan dengan cara memancang, menggetarkan atau menekan pipa baja sampai kedalaman yang ditentukan. Sebelum sampai menembus muka air tanah pipa selubung dimasukkan. Tanah di dalam pipa selubung dikeluarkan saat penggalian atau setelah pipa selubung sampai kedalaman yang diinginkan. Kemudian lubang bor dibersihkan kemudian tulangan yang telah dirangkai dimasukkan ke dalam pipa selubung. Adukan beton dimasukkan ke dalam lubang (bila pembuatan lubang digunakan larutan, maka untuk pengecoran digunakan pipa tremi). Pipa selubung ditarik keatas, namun terkadang pipa selubung ditinggalkan di tempat.

2.3.3 Keuntungan Fondasi Bored Pile

Ada beberapa keuntungan dalam pemakaian fondasi *bored pile* dibandingkan dengan tiang pancang, yaitu:

a. Pemasangan tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran membahaya kan bangunan sekitar.
b. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
c. *Bored pile* dapat dipasang menembus batuan, sedangkan tiang pancang kesulitanbila pemancangan menembus lapisan batuan.
d. Diameter tiang memungkinkan dibuat besar, bila perlu ujung bawah dapatdibuat lebih besar guna mempertinggi kapasitas dukungnya.
e. Tidak ada risiko kenaikan muka tanah.

2.3.4 Kerugian Fondasi Bored Pile

Adapun kerugian penggunaan fondasi *bored pile*, diantaranya:

a. Pengeboran dan pengecoran *bored pile* dipengaruhi kondisi cuaca.
b. Pengecoran beton agak sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidakdapat dikontrol dengan baik.
c. Mutu beton hasil pengecoran bila tidak terjamin keseragaman di sepanjang badan *bored pile* mengurangi kapasitas dukung *bored pile*, terutama bila *bored pile* cukup dalam.
d. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil.
e. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitias dukung tiang.
f. Akan terjadi runtuh jika tindakan pencegahan tidak dilakukan, maka dipasang *temporary casing* untuk mencegah terjadinya kelongsoran.
g. Membutuhkan material beton yang cukup banyak, penggunaan *bored pile* dinilai lebih boros.

2.3.5 Tahanan Gesek Tiang Bor

Dalam (Hardiyatmo, 2010) Tahanan gesek pada tiang bor dicari menggunakan metode α. Tahanan gesek tiang dinyatakan dengan Persamaan (2.1):

$f_s = \alpha\, c$ ..... (2.1)

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

dimana:

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

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

α = faktor adhesi

c = kohesi (kg/cm^2)

2.4 *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 (undistrub) atau contoh tanah tidak asli (disturb). Dalam perhitungan mekanika tanah, kuat geser ini biasa dinyatakan dengan kohesi (c) dan sudut gesek dalam (φ). 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.

2.4.1. Peralatan yang digunakan.

a. Perangkat *Direct shear*.
b. Timbangan dan anak timbangan / beban.
c. *Stop Watch.*
d. Pisau atau alat pemotong dan ring pencetak.

2.4.2. Prosedur Percobaan.

a. *Direct shear* test disiapkan. *Stop Watch* diatur menunjuk pada angka nol.
b. Sampel dicetak dan ditempatkan / dimasukkan ke dalam tempatnya.
c. Beban vertikal (normal) dipasang guna mendapatkan tegangan normal(σ_n).
d. Alat pemutar diputar dan bersama dengan itu stop watch ditekan (mulai jalan). Putaran dilakukan secara teratur dan kecepatan pemutaran harus tetap, yaitu sekali putaran ± 2 detik. Hal ini untuk mendapatkan tegangan geser (σ_s).
e. Pada waktu keadaan sudah menggeser, jarum dicatat pada kedudukan jarum tertinggi. Demikian juga waktunya.

f. Percobaan dilakukan beberapa kali dengan beban yang berbeda-beda, mulai dari kecil makin lama makin besar. Hal ini untuk mendapatkan tegangan yang berbeda, sehingga hasilnya dapat dibuat grafik.

g. Demikian percobaan dilakukan pada jenis tanah selanjutnya.

Cara perhitungan σ_n dan σ_s :

a. Tegangan Normal (σ_n)

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

$$\sigma_n = \frac{P}{A} \quad \text{.....} (2.3)$$

b. Tegangan Geser (σ_s).

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

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

Cara perhitungan dan penggambaran τ dan φ

a. Angka-angka tegangan geser (σ_s) sebagai sumbu ordinat.

b. Angka-angka tegangan normal (σ_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 tiitk pusat. Dalam pengukuran ini, hasilnya dikalikan dengan skala yang digunakan.

e. Sedangkan untuk mencari sudut geser dalam (φ) tanah adalah dengan mengukur sudut potong dari garis horizontal terhadap garis grafik.

Berikut adalah persamaan Tegangan geser pada tanah

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad \text{.....} (2.5)$$

Dimana :

τ = tegangan geser tanah/kuat geser tanah (kg/cm^2)

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

σ = tegangan normal (kg/cm^2)

φ = sudut gesek antar tanah/sudut gesek dalam (°)

2.5 Pengujian Tanah

Dalam hal ini sebagai pedoman adalah Bina Marga PB-0117-76,ASTM D2216-71, AASTHO T-265-79. Soil test diadakan dengan maksud untuk menyelidiki contoh tanah yang didapatkan dari lapangan, meliputi :

- Kadar Air / *Water Content* (w).
- Berat Jenis Butir (Gs) dan Berat Volume Butir (γs).

2.5.1. ***Water Content / Kadar Air (w)***

Kadar air / *water content* (w) adalah : prosentase berat air suatu tanah terhadap berat tanah keringnya. Tujuannya adalah untuk Mencari kadar air tanah.

Peralatan Yang Digunakan.

a. Neraca analitis dengan ketelitian 0,01 gr
b. Cawan aluminium
c. Oven (*progstoof*) dengan suhu 105° - 115° C
d. Exicator

Prosedur Percobaan

a. Cawan aluminium kosong ditimbang beratnya, misal = a gr.
b. Ambil sampel secukupnya, letakkan dalam cawan kemudian ditimbang beratnya. Berat cawan + sampel basah, misal = b gr. Kemudian masukkan dalam oven dengan suhu 110^oc sampai tidak terjadi adanya perubahan berat.
c. Setelah itu diambil, lalu dimasukkan ke dalam exicator, bila temperaturnya konstant / dingin kemudian
d. ditimbang, misal = c gr
e. Maka kadar air = $\frac{b-c}{c-a}$ x 100% ..... (2.6)

2.5.2. ***Spesific Gravity / Berat Jenis Butiran (Gs)***

Berat Jenis Butir (*Spesific Grafity*) : perbandingan antara berat butiran tanah dengan berat air suling pada volume yang sama dan suhu tertentu. Percobaan ini dimaksudkan untuk mendapatkan harga berat jenis butir (Gs) sampel tanah.

Peralatan yang digunakan

Alat-alat yang digunakan pada percobaan ini adalah :

a. Piknometer
b. Neraca analitis dan anak timbangan.

c. Oven.

d. Termometer.

e. *Aquadest.*

Prosedur Percobaan

Tata cara dalam percobaan ini :

a. Mencari harga air *piknometer*:

d. *Piknometer* kosong ditimbang, misal : a gram.

e. *Piknometer* diisi aquadest hingga penuh, kemudian ditimbang, missal : b gram dan diukur temperaturnya, misal : T1 ° C

f. Harga air *piknometer* : (b – a) t1, dimana t1 : koreksi T1. Tabel 2.1

Tabel 2.1 Koreksi Temperatur

SATUAN	1/10 DERAJAT				
DERAJAT	0	1	2	3	4
25	1.00301	1.00303	1.00305	1.00307	1.00310
26	1.00324	1.00326	1.00329	1.00331	1.00334
27	1.00349	1.00351	1.00353	1.00356	1.00358
28	1.00374	1.00376	1.00379	1.00382	1.00384
29	1.00400	1.00403	1.00406	1.00408	1.00411
30	1.00428	1.00430	1.00433	1.00436	1.00439
31	1.00456	1.00459	1.00462	1.00464	1.00467
32	1.00485	1.00488	1.00491	1.00494	1.00497
33	1.00515	1.00518	1.00521	1.00524	1.00527
34	1.00546	1.00549	1.00552	1.00555	1.00558
SATUAN	1/10 DERAJAT				
DERAJAT	5	6	7	8	9
25	1.00312	1.00314	1.00317	1.00319	1.00322
26	1.00336	1.00338	1.00341	1.00343	1.00346
27	1.00361	1.00364	1.00366	1.00368	1.00371
28	1.00387	1.00390	1.00392	1.00395	1.00398
29	1.00414	1.00416	1.00419	1.00422	1.00425
30	1.00442	1.00445	1.00448	1.00450	1.00453
31	1.00470	1.00473	1.00476	1.00478	1.00482
32	1.00500	1.00503	1.00506	1.00509	1.00512
33	1.00530	1.00533	1.00536	1.00539	1.00542
34	1.00562	1.00565	1.00568	1.00571	1.00574

b. Mencari GS.

- Sampel secukupnya diambil, kemudian masukkan dalam piknometer diatas yang sudah bersih dan kering, terus ditimbang, misal : c gram (20 – 25 gr).
- Piknometer dan sampel tersebut diisi aquadest sampai dibawah leher piknometer, kemudian dikocok-kocok / diketuk-ketuk sampai gelembung udara hilang, terus diamkan ± 24 jam.
- Setelah ± 24 jam, piknometer tersebut ditambah aquadest lagi sampai penuh dan ditimbang, misal : d gram.
- Kemudian diukur temperaturnya dengan thermometer, misal : T2 º C.
- Koreksi temperaturnya dapat dilihat dalam Tabel 2.1, misal : t2
- Maka Spesifik Grafity dapat dicari dengan persamaan :

$$GS = \frac{c - a}{Hp - (d-c)\ t2} \quad \text{.....} (2.7)$$

2.5.3. ***Berat Volume Tanah***

Berat volume tanah adalah perbandingan antara berat tanah dengan volume tanah. Uji berat volume tanah dilakukan untuk mengetahui dan menentukan berat volume tanah basah dalam keadaan asli

a. Berat volume tanah basah (γ_b)

Alat-alat yang digunakan pada percobaan ini adalah :

- Ring
- Vaseline
- Alat perata
- Neraca analitis dan anak timbangan.

Prosedur Percobaan

Tata cara dalam percobaan ini adalah :

- Timbang ring dalam keadaan bersih
- Ukur tinggi ring (t) dan diameter ring (d)
- Olesi bagian dalam ring dengan Vaseline
- Isi ring dengan tanah hingga terisi penuh
- Ratakan kedua permukaan dan bersihkan ring sebelah luar
- Timbang ring dan sampel tanah.

- Hitung volume ring dengan rumus volume tabung, yaitu

  Vtabung = $\frac{1}{4}\ x\pi\ x\ d^2 x\ t$ ..... (2.8)

- Kemudian hitung volume tanah basah menggunakan rumus,

  $\gamma_b = \frac{(berat\ ring + tanah) - berat\ ring}{V\ tabung}$ ..... (2.9)

b. Berat volume tanah kering (γ_k)

Berat volume tanah kering dicari menggunakan rumus

$\gamma_k = \frac{\gamma_b}{1+w}$ .....(2.10)

2.5.4. ***Angka Pori (e)***

Angka pori adalah perbandingan antara isi pori dengan isi butir tanah

Rumus angka pori adalah 1 + e = $\frac{Gs\ x\ \gamma_w}{\gamma_k}$ .....(2.11)

2.6 *Atterberg Limits*

Dalam hal ini berpedoman pada ASTM D-423, ASTM D-424. Pada *Atterberg Limits* kita hanya mencari Batas cair *(Liquid Limits)* dan batas plastis *(Plastic Limits)* serta indeks plastis *(Plastic Index)*

2.6.1. ***Batas Cair (Liquid Limits)***

Batas Cair *(Liquid Limit)* adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis. Percobaan ini dilakukan dengan maksud untuk menentukan batas cair dari sampel tanah

Alat-alat yang digunakan dalam percobaan ini adalah :

a. Saringan no. 40
b. Cawan
c. Alat *Cassagrande* dengan colet penggarisnya.
d. Mangkok / cawan besar
e. Colet
f. Neraca analitis
g. Oven
h. *Exicator* (alat pendingin)

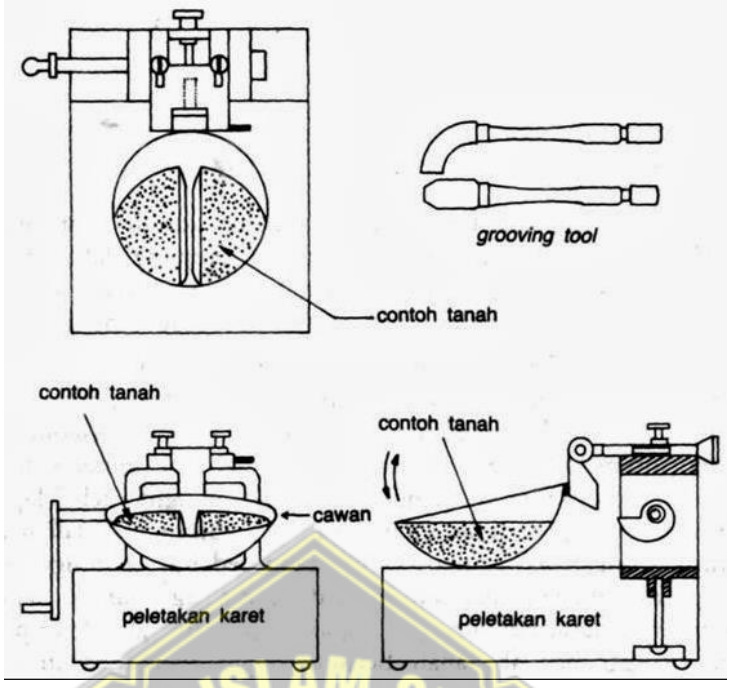
Prosedur Percobaan

a. Ambil sampel tanah secukupnya, kemudian dioven selama ± 24 jam. Setelah itu ditumbuk dan diayak dengan saringan no.40 (0,425 mm).
b. Sampel tanah diambil sebagian dan diletakkan di mangkok, diberi aquadest dan dicampur sampai homogen.
c. Setelah homogen, sampel tersebut dimasukkan dalam mangkok cassagrande dan diratakan, kemudian bagian tengahnya digaris dengan colet sehingga membentuk celah.
d. Engkol pemutar diputar, sehingga mangkok mengalami ketukan dengan tinggi jatuh ± 1 cm dengan kecepatan kira-kira 2 putaran per detik.
e. Pemutaran berhenti setelah tanah menutup sepanjang kira-kira 2 cm.

Percobaan ini dilakukan sebanyak 4 kali dengan kadar air yang berbeda dan diperkirakan tanah menutup sepanjang 2 cm dibawah 25 kali ketukan sebanyak 2 kali dan diatas 25 kali ketukansebanyak 2 kali. Pada tiap percobaan,diambil sampel untuk dicari kadar airnya.

Cara Penggambaran Grafik :

Dari hasil-hasil diatas, dibuat grafik dengan sumbu absisnya adalah banyak ketukan dan prosentase kadar air sebagai sumbu ordinatnya. Keempat titik percobaan dihubungkan dengan garis lurus sehingga memotong sumbu ordinat pada ketukan ke 25. Titik potong ketukan ke 25 dan garis lurus ditarik garis mendatar sehingga didapatkan prosentase kadar air. Titik kadar itu adalah batas cair dari tanah tersebut.



Gambar 2.3 Skema Alat *Casagrande*

2.6.2. ***Batas Plastis (Plastic Limits)***

Batas Plastis adalah : kadar air antara liat dan padat, dimana kadar air tanah pada waktu tersebut menyebabkan tanah tidak dapat digelintir / digiling, lebih kecil dari diameter 3 mm. Percobaan ini dilakukan dengan maksud untuk menentukan batas plastis dari sampel tanah

Alat-alat yang digunakan pada percobaan ini adalah :

a. Saringan no. 40
b. Cawan
c. Mangkok dan colet
d. Lempeng kaca
e. Neraca analitis
f. Oven
g. Exicator (Pendingin)

Prosedur Percobaan

a. Ambil sampel tanah secukupnya, kemudian dioven selama ± 24 jam. Setelah itu ditumbuk dan diayak dengan saringan no.40 (0,425 mm).

b. Sampel tanah diambil sebagian dan diletakkan di mangkok, diberi aquadest dan dicampur sampai homogen.
c. Setelah homogen, sampel tersebut digiling agar berbentuk bulatan yang panjang dengan cara dipilin diatas lempengan kaca sampai mencapai akan putus dengan diameter ± 3 mm.
d. Pada sampel tanah tersebut ditimbang dengan berat antara 5 – 10 gr untuk ditentukan kadar airnya.

2.6.3. ***Indeks Plastis (Plastic Index)***

Indeks plastis (PI) adalah selisih batas cair dan batas plastis. Dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.11 berikut ini

PI = LL- PL .....(2.12)

Menurut (Hardiyatmo, 1992) Batasan indeks plastis, kohesi, dan macam tanahnya diberikan oleh *Atterberg* terdapat dalam Tabel 2.2

Tabel 2.2 Nilai Indeks Plastis dan Macam Tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesif
<7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7-17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
>17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

2.7 *Direct shear* Antar Dua Permukaan

Untuk menyelidiki parameter kuat geser antar muka pada permukaan dua material harus dilakukan tes kuat geser langsung. Hasil *Direct shear* Test antara dua permukaan material yang berbeda tipikal untuk antarmuka tanah liat-baja Leda. Secara umum, hasil uji geser disajikan oleh tiga jenis grafik: tegangan geser – kurva perpindahan geser relatif, kurva perpindahan vertikal – perpindahan geser, dan selubung kekuatan geser, yang memberikan parameter kekuatan geser antarmuka (kohesi atau adhesi, sudut gesekan). Perilaku geser antarmuka tanah liat Leda - baja dipengaruhi beberapa faktor seperti kekasaran permukaan baja, Over consolidated ratio (OCR), kepadatan kering dan kandungan garam, mempengaruhi perilaku geser antarmuka. Sedangkan pengaruh kekasaran yang mempengaruhi friksi antar muka lempung Leda – baja adalah kekasaran yang kurang dari 20 μm, kuat geser yang terjadi sama dengan kuat geser lempung leda

sendiri. sedangkan kekasaran yang lebih dari 20 μm akan meningkatkan kuat geser antara lempung Leda – baja (Taha & Fall, 2014).

(Pellet & Keshavarz, 2014) telah memodelkan hubungan antara casing dengan *Clay shale* pada fondasi tiang bor dengan uji geser langsung 3 dimensi. Uji geser dilakukanpada tingkat tegangan normal yang berbeda dari 2 hingga 12 MPa dan hasilnya menunjukkan bahwa tegangan geser meningkat ketika tegangan normal ditingkatkan. Sementara kekuatan kohesi antara pelat baja dan serpih hampir nol dalam kondisi kering, parameter ini mencapai sekitar 1 MPa dengan adanya air. Koefisien gesekan rata-rata ditentukan menjadi 0,45 dalam kondisi kering dan menurun menjadi 0,21 ketika ada air (Pellet & Keshavarz, 2014).

Sedangkan (Ilori et al., 2017) telah melakukan pengujian kuat geser langsung antar muka antara beton dan pasir. (Ilori et al., 2017) menggunakan rasio tegangan (δ/φ) untuk menentukan kekasaran material. Semakin tinggi rasio tegangan semakin besar kekasaran material. Uji kuat geser yang dilakukan terhadap pasir-pasir material yang lebih kasar mempunyai sudut geser internal (φ) yang lebih rendah dan kohesi (c) lebih besar. Sedangkan Uji kuat geser yang dilakukan terhadap pasir-beton material yang lebih kasar mempunyai kohesi (c) yang lebih rendah dan sudut geser internal (φ) yang lebih rendah.

Percobaan antar muka antara pasir – beton juga dilakukan oleh (Zhao et al., 2019) dengan menggunakan sebanyak 36 sampel untuk memodelkan friksi tiang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan geser sisa antarmuka untuk tegangan normal yang diterapkan sama cenderung konstan untuk antarmuka pasir-beton kasar. Modulus geser awal dan tegangan geser puncak antar muka keduanya menurun dengan tingkat pembongkaran dan meningkat dengan kekasaran antarmuka. Jumlah maksimum dilatansi geser antarmuka meningkat dengan tingkat pembongkaran, dan jumlah maksimum susut geser antar muka berkurang dengan pembongkaran untuk kekasaran antarmuka yang sama. Model perpindahan tahanan sisi tiang dibuat dengan menggunakan metode perpindahan geser. Fungsi yang diusulkan mempertimbangkan efek radial unloading dan degradasi modulus tanah di sekitar tiang. Pengaruh radial unloading dan kekasaran antarmuka terhadap degradasi modulus geser ekivalen dianalisis menggunakan parameter fitting tunggal b.

(Haeri et al., 2019) menekankan pada penyelidikan pengaruh kekasaran antarmuka beton tanah terhadap perilaku geser antarmuka dalam dua sampel pengujian laboratorium berlapis. Dalam sampel yang disiapkan secara khusus ini, lapisan lanau lempung dengan berat jenis 2027 kg/m^3 dipilih untuk dikontakkan dengan lapisan beton untuk mempermudah pengujian laboratorium. Uji ukuran partikel dan uji geser langsung dilakukan untuk menentukan ukuran partikel yang sesuai dan sifat kekuatan gesernya seperti kohesi dan sudut gesekan. Kemudian, undulasi permukaan berupa gigi diberikan pada permukaan beton dan lapisan tanah pada pengujian yang berbeda yang dilakukan pada benda uji campuran tersebut. Sampel beton tanah disiapkan dalam bentuk kubus 10 x 10 x 30 cm dalam dimensi. Undulasi (kekasaran antar permukaan) diberikan dalam bentuk satu gigi atau dua gigi yang masing-masing memiliki sudut 15° dan 30°. Beberapa uji geser langsung dilakukan di bawah empat beban normal yang berbeda 80, 150, 300 dan 500 KPa dengan laju perpindahan konstan 0,02 mm/menit. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa mekanisme keruntuhan geser dipengaruhi oleh jumlah gigi, sudut kekasaran dan tegangan normal yang diterapkan pada sampel. Gigi digeser dari dasar di bawah beban normal rendah sementara retak miring dapat menyebabkan kegagalan di bawah beban normal yang lebih tinggi. Dengan bertambahnya jumlah gigi, kekuatan geser sampel juga meningkat. Ketika sudut kekasaran gigi meningkat, bagian yang lebih luas dari dasar gigi akan gagal yang berarti kekuatan geser sampel meningkat.

Sedangkan (Wang et al., 2020) meneliti Antarmuka tanah-beton yang digrout ada di tiang bor dengan pasca-grouting di ujung atau sisi tiang dan mereka memiliki pengaruh besar pada gesekan kulit tiang. Untuk mempelajari pengaruh volume grouting terhadap karakteristik geser antarmuka antara tanah kohesif dan tiang beton dengan kekasaran yang berbeda, peralatan grouting dan peralatan geser langsung digabungkan untuk melakukan total 48 kelompok uji geser langsung pada tanah kohesif-beton. Antarmuka menggabungkan proses grouting. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perilaku geser antarmuka tanah-beton kohesif grouting meningkat terutama karena peningkatan volume grouting dan kekasaran meningkatkan kohesi semu antarmuka. Sebaliknya, meningkatkan volume grouting dan kekasaran memiliki tidak ada efek peningkatan yang jelas

pada sudut gesekan antarmuka. Interfacial grouting berkontribusi pada transisi pada tanah kohesif yang di-grout dari penyusutan ke pelebaran: ketika volume grouting meningkat, penyusutan menjadi lebih lemah dan pelebaran menjadi lebih jelas. Pita geser menunjukkan distribusi parabola daripada distribusi seragam sepanjang arah geser dan bahwa ketebalan pita geser lebih besar dalam arah geser, dan itu akan menjadi lebih tebal dengan meningkatnya volume atau kekasaran grouting.

(Wang et al., 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 *direcet shear* antara tanah dengan beton yaitu:

S’ = $c_a + \sigma \tan \delta$ .....(2.13)

dimana:

S’ = tegangan geser tanah (kg/cm^2)

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

σ = tegangan normal (kg/cm^2)

δ = sudut gesek antara tanah dan beton (°)

BAB III
METODOLOGI

3.1 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.

3.2 Sample Tanah

Pada penelitian ini, sample yang kita gunakan adalah tanah lempung yang memiliki nilai PI > 17. Tanah lempung tersebut kita peroleh dari tempat pembuatan batu bata merah di daerah Karangawen, Demak. Perlakuan sample tanah tersebut adalah tanah-tanah, tanah-beton polos, dan tanah-beton dengan variasi kekasaran (arsir 4, arsir 6, arsir 8)

Gambar 3.1 Sample tanah

3.3 Alat dan Bahan

Penilitian ini dilakukan menggunakan alat dan bahan sebagai berikut:

3.3.1 Alat

a. Peralatan uji *Atterberg Limits*

- Saringan no. 40

Gambar 3.2 Saringan No 40

- Penumbuk tanah

Gambar 3.3 Penumbuk

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

- Cawan

Gambar 3.4 Cawan besar

- Alat *Cassagrande* dengan colet penggarisnya

Gambar 3.6. Alat *Cassagrande*

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

- Oven

Gambar 3.5 Oven

- Timbangan

Gambar 3.6 Timbangan

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

b. Alat pengujian tanah

- Timbangan
- Cawan
- Oven
- Piknometer

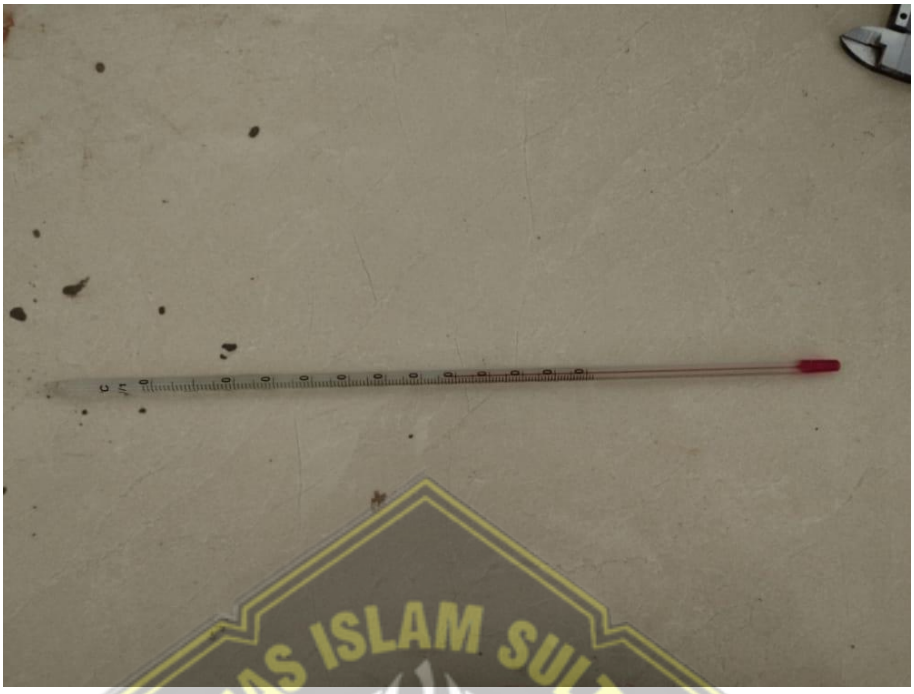
Gambar 3.7 Piknometer

- Saringan no 10

Gambar 3.8 Saringan No 10

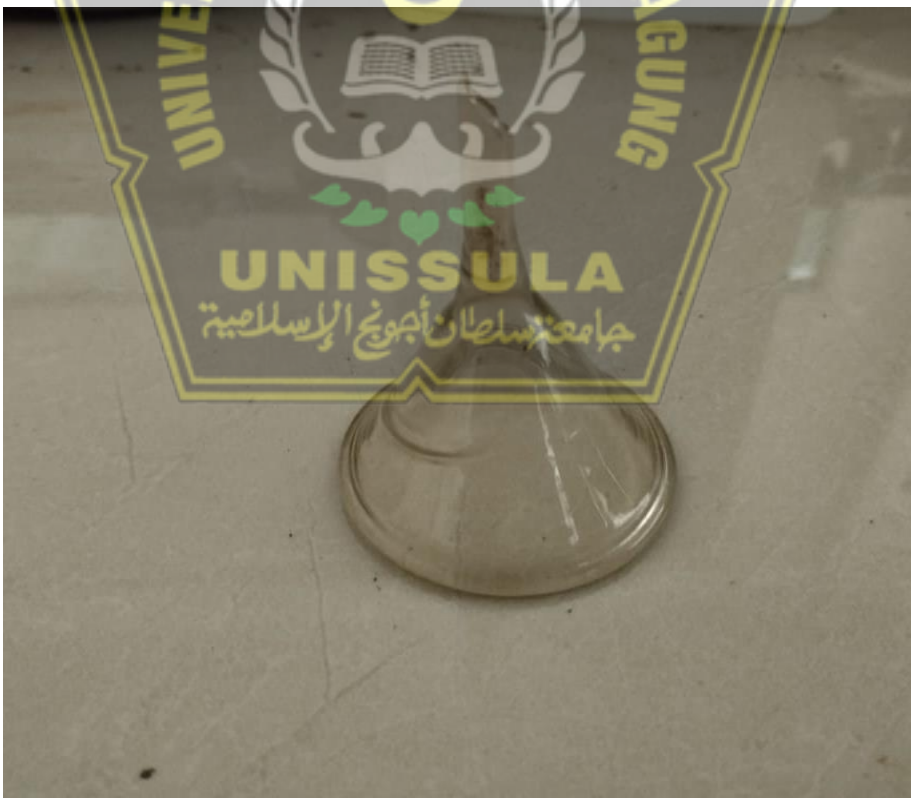
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

- *Termometer*



Gambar 3.9 *Termometer*

- Corong



Gambar 3.10 Corong

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

- Ring

Gambar 3.11 Ring Besar

- Alat perata

Gambar 3.11 Alat Perata

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

c. Alat pembuat contoh tanah

- Ring cetakan

Gambar 3.12 Ring Cetakan

- Silinder pejal pendorong tanah

Gambar 3.13 Silinder Pejal Pendorong Tanah

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

- Mika

Gambar 3.14 Mika Pencetak Beton

- Gunting

Gambar 3.15 Gunting

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

- Pisau mainan

Gambar 3.16 Pisau Pencetak Arsiran

- Solasi

Gambar 3.17 Solasi

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

d. Alat uji geser langsung (*direct shear*)

- Perangkat *direct shear*

Gambar 3.18 Perangkat *Direct Shear*

- Timbangan
- Cawan
- *Stop watch*

3.3.2 Bahan

a. Tanah lempung

b. Semen

c. Pasir

d. Air

e. Aquadest

Gambar 3.19 *Aquadest*

3.4 Tahapan-Tahapan Penelitian

Berikut adalah tahapan-tahapan dalam melakukan penelitian:

3.4.1 *Studi Literatur*

Dasar dasar teori yang di peroleh dengan mengumpulkan literatur- literatur yang relevan dalam pembahasan untuk memperjelas deskripsi masalah. Sumber pustaka yang didapatkan dari beberapa jurnal, buku, panduan, buku diktat, makalah, pedoman peraturan maupun bacaan lain yang diperlukan.

3.4.2 *Pengujian Tanah*

Melakukan pengujian properties tanah. Parameter yang dicari antara lain :

a. Kadar air (w),

b. Berat volume tanah basah (γ_k),

c. Berat volume tanah kering (γ_b),

d. Angka Pori (e),

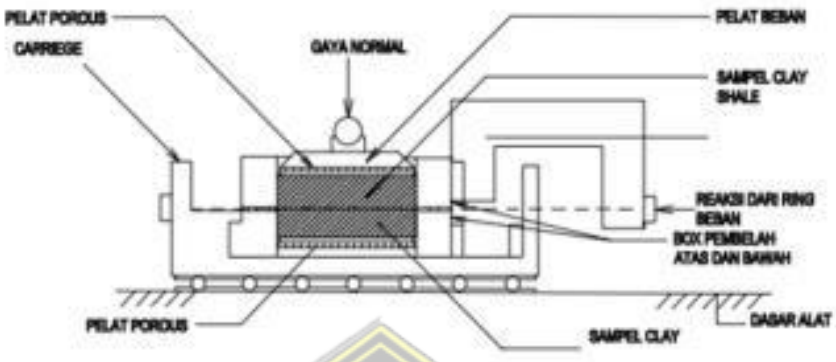
e. Berat Jenis Butiran (Gs),

f. Atterberg Limits

- Batas cair / *Liquid Limits* (LL),
- Batas Plastis / *Plastic Limits* (PL),
- Indeks Plastis / *Plastic Index* (PI).

3.4.3 *Pengujian Direct Shear Tanah-Tanah*

Melakukan pengujian geser langsung terhadap tanah liat (Gambar3.20) dan diukur τ, c, φ, σ_n



Gambar 3.20 Uji *direct shear* terhadap tanah lempung

3.4.4 *Pengujian Direct Shear Tanah-Beton*

Pengujian *direct shear* antara tanah-beton polos dilakukan untuk mengetahui nilai adhesi tanah-beton polos. Pengujian ini menggunakan alat uji geser langsung yang dilakukan dengan cara sebagai berikut:

a. Buat contoh tanah yang akan diuji menggunakan ring pencetak,kemudian beri arsiran sesuai perlakuan berikut : polos, arsir 4 garis, arsir 6 garis, arsir 8 garis.
b. Beri cetakan yang terbuat dari mika, kemudian beri beton dan tunggu betonnya agak kering
c. Masukkan contoh tanah ke dalam kotak geser
d. Set pengukur beban *proving ring* (R) pada deformasi = 0
   e. Beri 3 macam beban normal (σ) agar dapat dibuat kurva linier antara tegangan normal (σ) dengan tegangan geser antara tanah-beton polos(S'),beban normalnya sebagai berikut:

- 0,293 kg/cm^2(σ1)
- 0,555 kg/cm^2(σ2)
- 0,816 kg/cm^2 (σ3)

Karena diameter contoh tanah adalah sebesar 6,24 cm maka untuk memberikan tegangan normal sebesar 0,293 kg/cm^2 diperlukan beban normal seberat 8,95kg; 16,95 kg untuk 0,555 kg/cm^2; dan 24,95 kg untuk 0,816 kg/cm^2

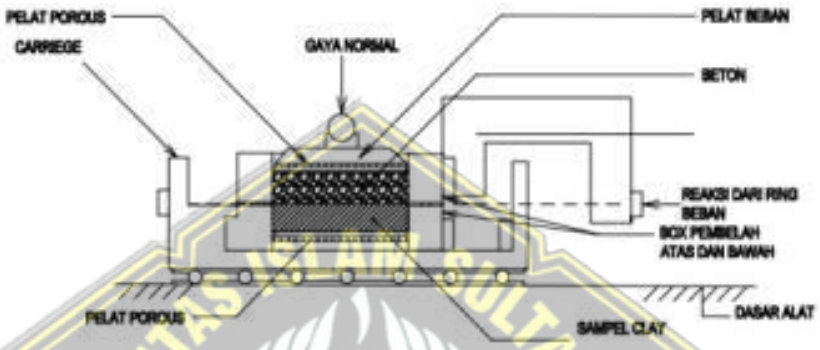
f. Beri beban geser dengan cara memutar tuas kearah kebalikan arah jarum jam

g. Catat dial pembacaan setiap pergeseran 0,05 cm dan catat dial saat maksimum

h. Hitung tegangan geser (S') dengan rumus: S' = $\frac{dial\ x\ kalibrasi}{A}$

i. Tentukan S'max tiap kurva S' vs pergeseran untuk setiap S' pada $(\sigma 1)$, $(\sigma 2)$, $(\sigma 3)$

j. Buat kurva hubungan S'max vs σ dengan menggunakan metode regresi linier sederhana sehingga diperoleh suatu garis lurus, dan diperoleh nilai adhesi tanah (ca) dan sudut gesek tanah-beton polos (δ)



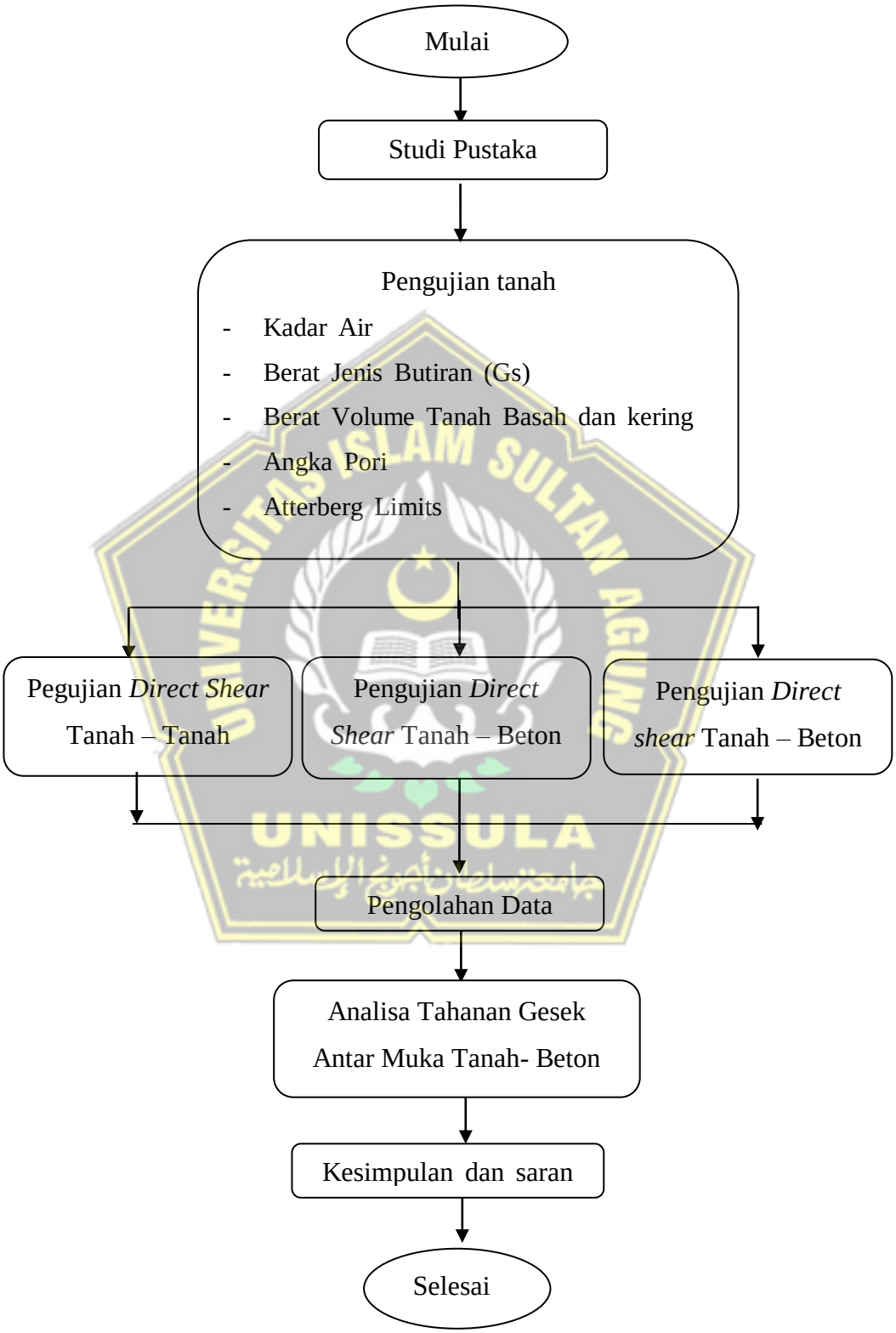
Gambar 3.21 Uji *direct shear* antara tanah-beton

3.5 Analisa Tahanan Gesek Antar Muka Tanah - Beton

Pada tahap ini setelah didapatkan hasil perhitungan dari analisis uji di laboratorium kemudian dilanjutkan dengan memperhitungkan tahanan gesek antar muka tanah – beton polos dan tanah – beton dengan variasi kekasaran menggunakan Persamaan (2.1) yaitu $f_s = \alpha\ x\ c$, untuk α adalah faktor adhesi didapatkan menggunakan Persamaan (2.2) yaitu $\alpha = \frac{c_a}{c}$

3.6 Diagram Alir

Diagram alir dari proses peracangan ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.22 *Flowcart*

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum

Penelitian ini untuk memodelkan permukaan selimut tiang bor dengan berbagai kekasaran permukaan selimut tiang bor, kemudian hasilnya dibandingkan untuk mencari pengaruh kekasaran terhadap peningkatan tahanan friksi tiang bor.

Pertama mencari properties tanah, tanah yang dipakai dalam penelitian ini merupakan tanah untuk keperluan kerajinan tangan untuk ketrampilan anak-anak sehingga mudah dibentuk untuk memodelkan kekasaran. Kemudian dilakukan tes *direct shear* menggunakan sampel tanah lempung, tes *direct shear* antar tanah lempung dengan beton polos, yang terakhir tes *direct shear* antar tanah lempung dengan berbagai variasi kekasaran permukaan. Dari pengujian *direct shear* antara tanah dengan tanah akan mendapatkan sudut geser dalam tanah (φ) dan kohesi tanah (c), sedangkan *direct shear* antara tanah dan beton akan menghasilkan sudut gesek permukaan tanah – beton (δ) dan *adhesi* (α), dari hasil tersebut akan dibandingkan untuk mencari pengaruh kekasaran terhadap peningkatan tahanan friksi tiang bor.

4.2 Sifat Fisik Tanah Lempung Asli

Sifat fisik tanah didapatkan dengan cara pengujian *soil test* dan pengujian *Atterberg Limits*. Pengujian *soil test* tersebut untuk mengetahui kadar air (w), berat jenis butiran (Gs), berat volume tanah (γ), dan angka pori (e). Sedangkan penguujian *Atterberg Limits* dilakukakan untuk mengetahui batas cair/*Liquid Limits* (LL), batas plastis / *Plastic Limits* (PL), dan indeks plastis / *Plastic Index* (PI). Pengujian ini dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Unissula, Semarang dengan hasil sebagai berikut:

4.2.1 Kadar Air

Kadar air / *water content* (w) adalah prosentase berat air suatu tanah terhadap berat tanah keringnya. Dari hasil pengujian dilaboratorium dengan 3 kali percobaan maka di dapatkan data percobaan kadar air dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1. Data percobaan kadar air

Kode Cawan	A	B	c
	Berat Cawan (gr)	Berat cawan + tanah basah (gr)	Berat cawan + tanah kering (gr)
I3 (1)	6,77	71,77	49,87
3C (2)	6,17	65,81	45,78
4A (3)	6,56	67,72	47,02

Dilakukan Analisa hasil percobaan kadar air / *water content* (w). Pada analisa kali ini, digunakan persamaan (2.6), yaitu : w = $\frac{b-c}{c-a}$ x 100%

w 1 = $\frac{b-c}{c-a}$ x 100%

= $\frac{71,77 - 49,87}{49,87-6,77}$ x 100%

= $\frac{21,9}{43,1}$ x 100 %

= 51 %

w 2 = $\frac{b-c}{c-a}$ x 100%

= $\frac{65,81 - 45,78}{45,78-6,17}$ x 100%

= $\frac{20,03}{39,61}$ x 100 %

= 51 %

w 3 = $\frac{b-c}{c-a}$ x 100%

= $\frac{67,72 - 47,02}{47,02-6,56}$ x 100%

= $\frac{20,7}{40,46}$ x 100 %

= 51 %

w rata-rata = $\frac{w1+w2+w3}{3}$

= $\frac{51\%+51\%+51\%}{3}$

= 51%

Tabel 4.2. Data Hasil Perhitungan Kadar Air (*Water Content*)

Kode Cawan	Berat Cawan (gr)	Berat cawan + tanah basah (gr)	Berat cawan + tanah kering (gr)	Kadar Air (%)	w rata-rata (%)
I3 (1)	6,77	71,77	49,87	51	51
3C (2)	6,17	65,81	45,78	51	
4A (3)	6,56	67,72	47,02	51	

Pada Tabel 4.2 di dapatkan nila kadar air dari ketiga pengujian, Karena dari ketiga hasil perhitungan mendapatkan kadar air (w) sebesar 51%, maka kadar air rata – rata pada tanah tersebut adalah 51%

4.2.2 Berat Jenis Butiran (Gs)

Berat jenis butiran atau specific gravity (Gs) adalah perbandingan antara berat butiran tanah dengan berat air suling pada volume yang sama dan suhu tertentu. Tabel 4.3. adalah data percobaan dari berat jenis butiran

Tabel 4.3. Data Percobaan Berat Jenis Butiran (Gs)

No pikno	A	b	C	d	Suhu (°C)		Koreksi suhu	
	Berat pikno (gr)	Berat pikno + aquades (gr)	Berat pikno+ sampel (gr)	Berat pikno + aq+sampel (gr)	T1	T2	t1	t2
1	32,35	81,77	57,35	97,06	28,5	28,5	1,00387	1,00387
2	33,67	83,81	58,67	98,98	28,5	28,5	1,00387	1,00387
3	28,22	78,24	53,22	93,44	28,5	28,5	1,00387	1,00387

Analisa hasil percobaan

- Mencari Harga Air Piknometer

Hp1 = (b-a) x t1

= (81,77 – 32,35) x 1,00387

= 49,42 x 1,00387

= 49,611

Hp2 = (b-a) x t1

= (83,81 – 33,67) x 1,00387

= 50,14 x 1,00387

= 50,334

Hp3 = (b-a) x t1

= (78,24 – 28,22) x 1,00387

= 50,02 x 1,00387

= 50,214

Tabel 4.4. Harga Air Piknometer

No Piknometer	Harga Air Piknometer
1	49,661
2	50,334
3	50,214

- Mencari Gs

Mencari Gs menggunakan persamaan (2.7)

Gs1 = $\frac{c - a}{Hp - (d - c)\ x\ t2}$

= $\frac{57,35 - 32,35}{49,661 - (97,06 - 57,35)\ x\ 1,00387}$

= $\frac{25}{9,75}$

= 2,564

Gs2 = $\frac{c - a}{Hp - (d - c)\ x\ t2}$

= $\frac{58,67 - 33,67}{50,334 - (98,98 - 58,67)\ x\ 1,00387}$

= $\frac{25}{9,87}$

= 2,533

Gs3 = $\frac{c - a}{Hp - (d - c)\ x\ t2}$

= $\frac{53,22 - 28,22}{50,214 - (93,44 - 53,22)\ x\ 1,00387}$

= $\frac{25}{9,838}$

= 2,541

Gs rata-rata = $\frac{2,564 + 2,533 + 2,541}{3}$

= $\frac{7,638}{3}$

= 2,546

Tabel 4.5. Data Hasil Perhitungan Berat Jenis Butiran (Gs)

No pikno	Berat pikno (gr)	Berat pikno + aquades (gr)	Berat pikno+ sampel (gr)	Berat pikno + aq+sampel (gr)	Koreksi t2	HP	Gs	Gs rata-rata
1	32,35	81,77	57,35	97,06	1,00387	49,611	2,564	2,546
2	33,67	83,81	58,67	98,98	1,00387	50,334	2,533	
3	28,22	78,24	53,22	93,44	1,00387	50,214	2,541	

Di dapatkan Hasil dari ketiga pengujian berat jenis butiran dengan rata – rata sebesar 2,546 yang kemudian digunakan untuk perhitungan angka pori (e)

4.2.3 Berat volume tanah γ

- Berat volume tanah basah (γ_b)

Berat volume tanah basah adalah perbandingan antara berat tanah basah dengan volume tanah maka di dapatkan data sebagai berikut

Tabel 4.6. Data Percobaan Berat Volume Tanah Basah

No ring	Diameter ring (cm)	Tinggi ring (cm)	Berat ring (gr)	Berat ring + tanah (gr)
1	6,2	2	75,87	188,3
2	6,35	2,08	98,46	211,51
3	6,35	1,98	60,69	166,23

Sebelum menghitung berat volume tanah basah, terlebih dahulu kita harus mencari volume ring menggunakan persamaan (2.8), yaitu V= $\frac{1}{4}$ π d^2 t

V 1 = $\frac{1}{4}$ x π x d^2x t

= $\frac{1}{4}$ x 3,14 x $6{,}2^2$ x 2

= $\frac{1}{4}$ x 3,14 x 38,44 x 2

= 60,35 cm^3

V 2 = $\frac{1}{4}$ x π x d^2x t

= $\frac{1}{4}$ x 3,14 x $6{,}35^2$ x 2,08

= $\frac{1}{4}$ x 3,14 x 40,32 x 2,08

= 65,83 cm^3

$V\ 3 = \frac{1}{4}$ x π x d^2x t

$= \frac{1}{4}$ x 3,14 x $6{,}35^2$x 1,98

$= \frac{1}{4}$ x 3,14 x 38,44 x 1,98

= 62,67 cm^3

Tabel 4.7. Volume Ring

No ring	Volume ring (cm^3)
1	60,35
2	65,83
3	62,67

Setelah mendapatkan volume dari ring yang kita gunakan maka mencari berat volume tanah menggunakan persamaan (2.9)

$$\gamma_b 1 = \frac{(\text{berat ring+tanah}) - \text{berat ring}}{\text{V tabung}}$$

$$= \frac{188{,}3 - 75{,}87}{60{,}35}$$

$$= \frac{112{,}43}{60{,}35}$$

$$= 1{,}863\ gr/cm^3$$

$$\gamma_b 2 = \frac{(\text{berat ring+tanah}) - \text{berat ring}}{\text{V tabung}}$$

$$= \frac{211{,}51 - 98{,}46}{65{,}84}$$

$$= \frac{113{,}05}{65{,}84}$$

$$= 1{,}717\ gr/cm^3$$

$$\gamma_b 3 = \frac{(\text{berat ring+tanah}) - \text{berat ring}}{\text{V tabung}}$$

$$= \frac{166{,}23 - 60{,}69}{62{,}67}$$

$$= \frac{105{,}54}{62{,}67}$$

$$= 1{,}684\ gr/cm^3$$

$$\gamma_b \text{ rata} - \text{rata} = \frac{\gamma b1 + \gamma b2 + \gamma 3}{3}$$

$$= \frac{1{,}863 + 1{,}717 + 1{,}684}{3}$$

$$= \frac{5{,}264}{3}$$

$$= 1{,}755\ gr/cm^3$$

Tabel 4.8. Data Hasil Percobaan Berat Volume Tanah Basah

No ring	Volume ring (cm^3)	Volume tanah basah (γ_b) gr/cm^3	Volume tanah basah rata-rata (γ_b) gr/cm^3
1	60,35	1,863	1,755
2	65,83	1,717	
3	62,67	1,684	

Dari hasil perhitungan Volume tanah basah (γ_b) di dapatkan nilai rata-rata sebesar 1,755 gr/cm^3 yang selanjutnya di gunakan utuk perhitungan volume tanah kering (γ_k).

- Berat volume tanah kering (γ_k)

Perbandingan antara berat tanah kering dengan volume tanah merupakan pengertian dari berat volume.

Tabel 4.9. Data Hasil Percobaan Berat Volume Tanah Kering

No Cawan	w (%)	γ_b (gr/cm^3)
1	51	1,863
2	51	1,717
3	51	1,684

Berat volume tanah kering dicari menggunakan Persamaan (2.10) yaitu

$$\gamma_k = \frac{\gamma_b}{1+w}$$

Hasil perhitungan berat volume tanah adalah sebagai berikut

$$\gamma_k\ 1 = \frac{\gamma_b\ 1}{1 + w1}$$

$$= \frac{1,863}{1 + 0,51}$$

$$= \frac{1,863}{1,51}$$

$$= 1,234\ gr/cm^3$$

$$\gamma_k\ 2 = \frac{\gamma_b\ 2}{1 + w2}$$

$$= \frac{1,717}{1 + 0,51}$$

$$= \frac{1,717}{1,51}$$

$$= 1,137\ gr/cm^3$$

$\gamma_k\ 3 = \frac{\gamma_b\ 3}{1 + w3}$

$= \frac{1,684}{1 + 0,51}$

$= \frac{1,684}{1,51}$

$= 1,115\ gr/cm^3$

γ_k rata – rata $= \frac{\gamma_k 1 + \gamma_k\ 2 + \gamma_k\ 3}{n}$

$= \frac{1,234 + 1,137 + 1,115}{3}$

$= \frac{3,486}{3}$

$= 1,162\ gr/cm^3$

Dari hasil perhitungan di dapatkan volume tanah kering dari ketiga pengujian yang menunjukan bahwa semakin tinggi berat volume tanah basah maka semakin tinggi juga berat dari volume tanah kering, bisa di lihat pada Tabel 4.10 :

Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Berat Volume Tanah Kering

No Cawan	w (%)	$\gamma_b (gr/cm^3)$	$\gamma_k (gr/cm^3)$
1	51	1,863	1,234
2	51	1,717	1,137
3	51	1,684	1,115

4.2.4 Angka Pori (Void Ratio)

Angka pori dicari menggunakan Persamaan (2.11) yaitu $1 + e = \frac{Gs\ x\ \gamma w}{\gamma k}$

Tabel 4.11. Data Perhitungan Angka Pori

$\gamma_k (gr/cm^3)$	Gs
1,234	2,546
1,137	2,546
1,115	2,546

Dari Persamaan $1 + e = \frac{Gs\ x\ \gamma w}{\gamma_k}$,dapat dicari angka pori (e)

$e1 = \frac{Gs\ x\ \gamma w}{\gamma_k} - 1$

$= \frac{2,546\ x\ 1}{1,234} - 1$

$= \frac{2,546}{1,234} - 1$

$= 2,063 - 1$

$= 1,063\ gr/cm^3$

$e2 = \frac{Gs \times \gamma w}{\gamma k} - 1$

$= \frac{2,546 \times 1}{1,137} - 1$

$= \frac{2,546}{1,137} - 1$

$= 2,239 - 1$

$= 1,239\ gr/cm^3$

$e3 = \frac{Gs \times \gamma w}{\gamma k} - 1$

$= \frac{2,546 \times 1}{1,115} - 1$

$= \frac{2,546}{1,115} - 1$

$= 2,283 - 1$

$= 1,283\ gr/cm^3$

Dari hasil perhitungan di dapatkan nlai angka pori dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi berat volume tanah kering tersebut maka semakin kecil nilai angka pori pada tanah tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.12 berikut ini :

Tabel 4.12. Data Hasil Perhitungan Angka Pori

$\gamma k(gr/cm^3)$	Gs	e (gr/cm^3)
1,234	2,546	1,063
1,137	2,546	1,239
1,115	2,546	1,283

4.2.5 Mencari Atterberg Limits

Atterberg Limits dilakukan untuk mengetahui *Liquid Limits* (batas cair), *Plastic Limits* (batas plastis), dan PI.

a. *Liquid Limits*

Tabel 4. 13 Data Percobaan *Liquid Limits*

Jumlah ketukan	No cawan	Berat cawan (gr) (a)	Berat cawan + tanah basah (gr) (b)	Berat cawan + tanah kering (gr) (c)
20	1	4,19	50,32	32,99
23	2	3,91	42,61	28,23
30	3	4,32	34,92	23,65
35	4	4,03	39,37	26,43

$$w = \frac{b - c}{c - a} \times 100\%$$

$$= \frac{50{,}32 - 32{,}99}{32{,}99 - 4{,}19} \times 100\%$$

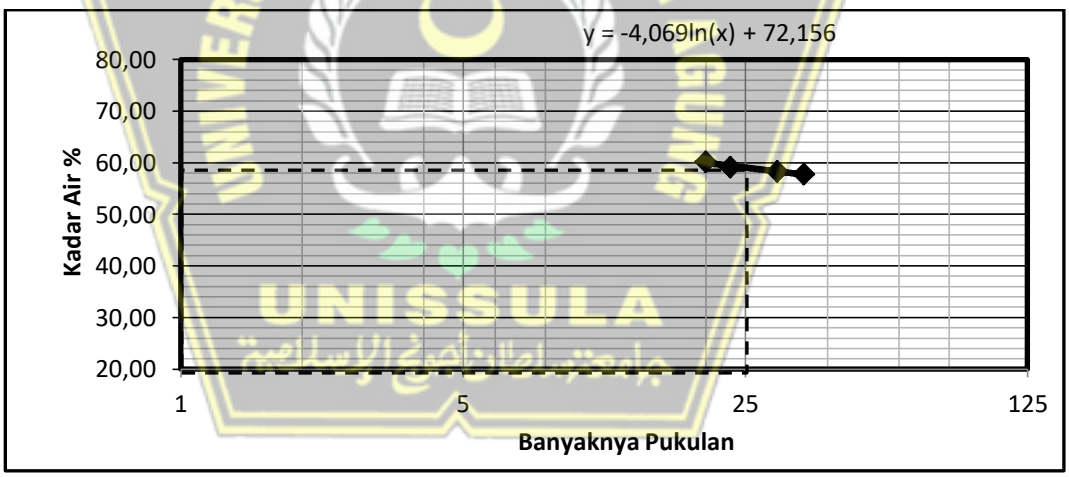
$$= \frac{17{,}33}{28{,}8} \times 100\%$$

$$= 0{,}6017 \times 100\%$$

$$= 60{,}17\ \%$$

Tabel 4. 14 Hasil Percobaan *Liquid Limits*

Jumlah ketukan	No cawan	Berat cawan (gr) (a)	Berat cawan + tanah basah (gr) (b)	Berat cawan + tanah kering (gr) (c)	w (%)
20	1	4,19	50,32	32,99	60,17
23	2	3,91	42,61	28,23	59,40
30	3	4,32	34,92	23,65	58,32
35	4	4,03	39,37	26,43	57,69



Gambar 4.1 Hasil Percobaan *Liquid Limits*

Pada Tabel 4.14 menunjukan kadar air dari empat pengujian tersebut di gunakan untuk mencari kadar air pada 25 ketukan, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.1 meunjukan bahwa nilai *Liquid Limits* adalah 59,06 %.

4.2.6 Plastic Limits

Percobaan ini dilakukan dengan maksud untuk menentukan batas plastis dari sampel tanah yang dapat di lihat dari Tabel 4.15 berikut :

Tabel 4.15 Data Percobaan *Plastic Limits*

No cawan	Berat cawan (gr) A	Berat cawan + tanah basah (gr) b	Berat cawan + tanah basah (gr) c
5	6,65	9,26	8,85

Analisa hasil percobaan

w = $\frac{b-c}{c-a}$ x 100%

dimana : w = kadar air (%)

a = berat cawan kosong (gr)

b = berat cawan + tanah basah (gr)

c = berat cawan + tanah kering (gr)

w = $\frac{b-c}{c-a}$ x 100%

= $\frac{9,26-8,85}{8,85-6,65}$ x 100%

= $\frac{0,41}{2,2}$ x 100%

= 0,1864 x 100%

= 18,64 %

Dari hasil tersebut maka dapat didapatkan *Plastic Limits* = 18,64 %

4.2.7 Plastic Index

PI = LL – PL

= 59,06 % - 18,64 %

= 40,42

Setelah mendapatkan PI, maka kita dapat menentukan macam tanah dari nilai PI. Sesuai dengan Tabel 2.2 Menurut Hardiyatmo (1992), tanah yang memiliki nilai PI >17 dapat dikategorikan sebagai tanah Lempung

4.3 Sifat Mekanis Tanah

Sifat mekanis dari hasil uji *direct shear* menggunakan sampel tanah lempung, tes *direct shear* antar tanah lempung dengan beton polos, yang terakhir tes *direct shear* antar tanah lempung dengan beton berbagai variasi kekasaran permukaan. Dari pengujian *direct shear* antara tanah dengan tanah akan mendapatkan sudut geser dalam tanah (φ) dan kohesi tanah (c), sedangkan *direct shear* antara tanah dan beton akan menghasilkan sudut geser permukaan tanah - beton (δ) dan adhesi (α).

4.3.1 Tanah Lempung Asli

Pada pengujian *direct shear* antara tanah dengan tanah, menggunakan tanah lempung seperti Gambar 4.2

Gambar 4.2 Sampel tanah-tanah

Dari percobaan ini menghasilkan data yang dapat dilihat pada Tabel 4.16

Tabel 4.16 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 (σ_n)

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

   A = 0,25 x 3,14 x D^2

   = 0,25 x 3,14 x $6{,}24^2$

   = 0,25 x 3,14 x 38,94

   = 30,566 kg/cm^2

   P1 = 8,95 kg

   P2 = 16,95 kg

   P3 = 24,95 kg

   $\sigma_n 1 = \frac{P1}{A}$

   $= \frac{8{,}95}{30{,}566}$

   = 0,2928 kg/cm^2

   $\sigma_n 2 = \frac{P2}{A}$

   $= \frac{16{,}95}{30{,}566}$

   = 0,5545 kg/cm^2

   $\sigma_n 3 = \frac{P1}{A}$

   $= \frac{24{,}95}{30{,}566}$

   = 0,8163 kg/cm^2

2. Gaya Geser

   Gaya geser 1 = dial x kalibrasi

   = 38 x 0,376

   = 14,288

   Gaya geser 2 = dial x kalibrasi

   = 44 x 0,376

   = 16,544

   Gaya geser 3 = dial x kalibrasi

   = 47 x 0,376

   = 17,672

3. Tegangan geser (σs)

Tegangan geser pada percobaan ini dicari menggunakan Persamaan 2.4 yaitu $\sigma_s = \frac{gaya\ geser}{A}$

Pada tanah-tanah mendapatkan tegangan geser sebesar

σ_s 1 $= \frac{gaya\ geser\ 1}{A}$

$= \frac{14,288}{30,566}$

$= 0,4674$ kg/cm^2

σ_s 2 $= \frac{gaya\ geser\ 2}{A}$

$= \frac{16,544}{30,566}$

$= 0,5413$ kg/cm^2

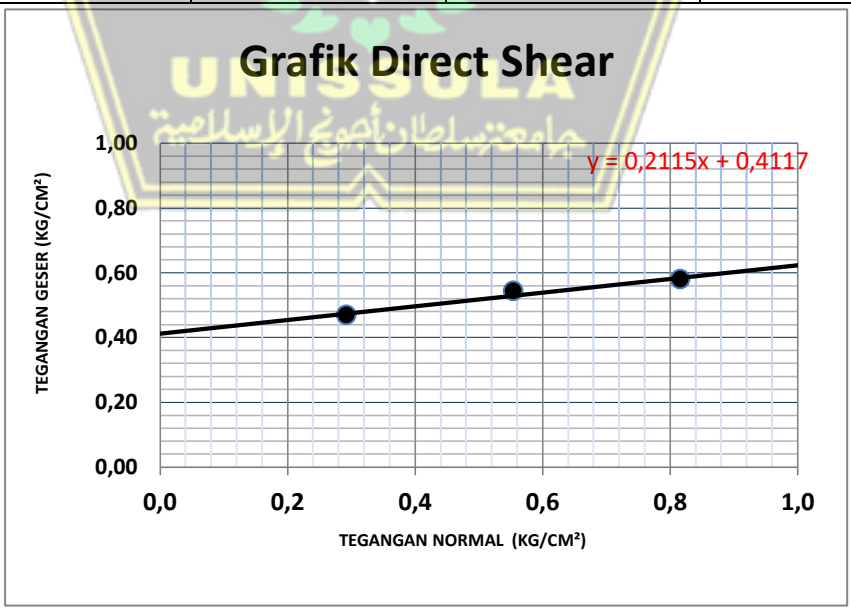
σ_s 3 $= \frac{gaya\ geser\ 3}{A}$

$= \frac{17,672}{30,566}$

$= 0,5782$ kg/cm^2

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser

Sampel	No percobaan	σ_n (kg/cm^2)	σ_s (kg/cm^2)
Tanah	1	0,2928	0,4674
	2	0,555	0,5413
	3	0,816	0,5782



Gambar 4.3 Grafik *Direct Shear* Tanah-Tanah

Pada pengujian *direct shear* Tanah – Tanah menunjukan bahwa semakin besar beban yang di berikan maka semakin tinggi pula hasil pembacaan dial Serta mendapatan nilai Kohesi (c) dan Sudut geser dalam (φ) sebagai berikut :

Kohesi (c) = 0,4117 kg/cm^2

Sudut geser dalam (φ) = 11,95°

4.3.2 Tanah – Beton Polos

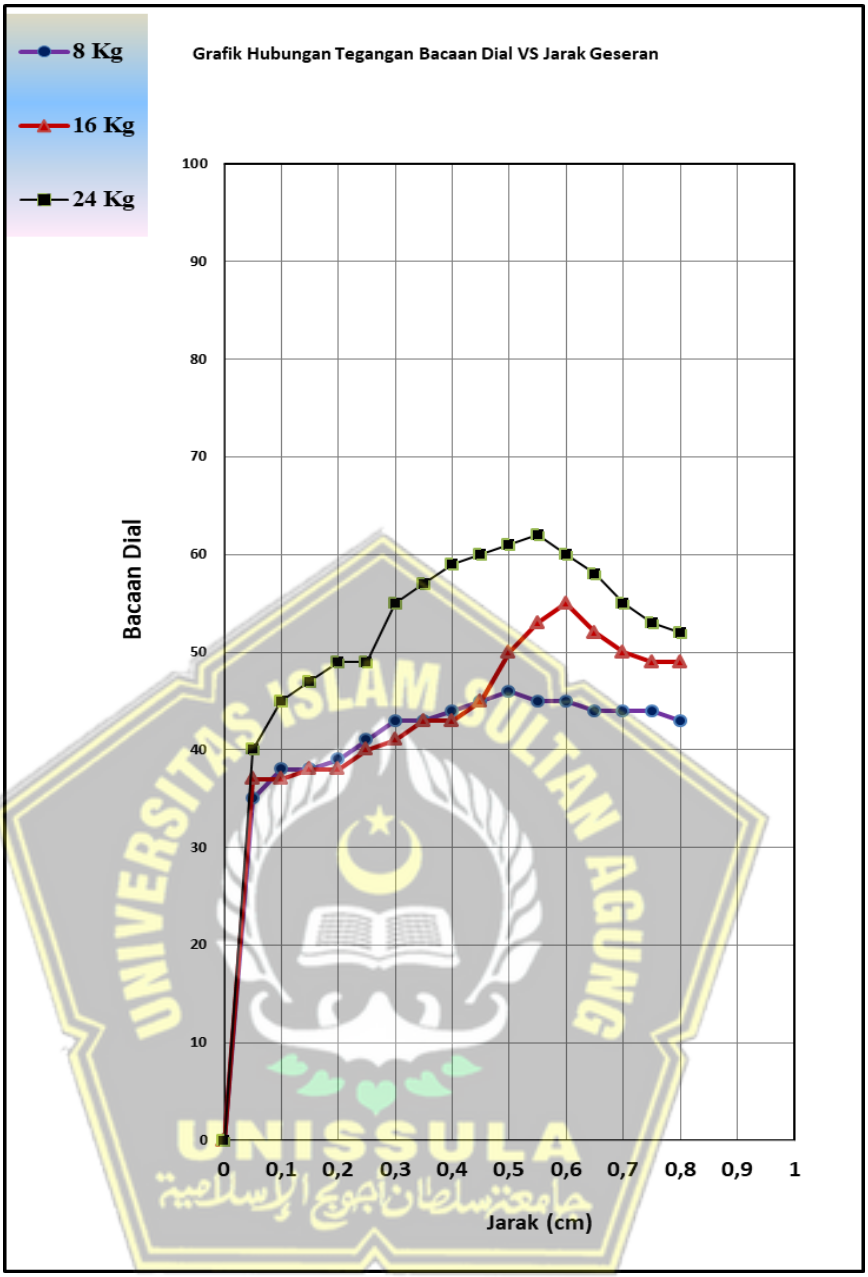
Pada pengujian *direct shear* antara tanah dengan beton polos, menggunakan setengah tanah lempung dan setengahnya lagi beton polos seperti Gambar 4.4

Gambar 4.4 Sampel tanah - beton polos

Dari percobaan ini menghasilkan data yang dapat dilihat pada Tabel 4.18

Tabel 4.18 Data Hasil Percobaan *Direct Shear* Tanah- Beton Polos

Sampel	Percobaan	Beban (kg)	Koreksi beban	Pembacaan dial
Tahan - Tanah	1	8	7,958	46
	2	16	16,04	55
	3	24	23,998	62



Gambar 4.5 Hubungan Jarak Geser Dengan Dial Pembacaan Tanah-Beton Polos

Pada pengujian *direct shear* Tanah – Beton Polos menunjukan hasil pembacaan dial lebih besar di bandingkan pembacaan dial pada pengujian Tanah – Tanah. Nilai Adhesi (Ca) dan Sudut geser dalam (δ) didapat dari hasil perhitungan berikut :

Analisa hasil percobaan

1. Tegangan Normal (σn)

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

A = 0,25 x 3,14 x D^2

= 0,25 x 3,14 x $6{,}24^2$

= 0,25 x 3,14 x 38,94

= 30,566 kg/cm^2

P1 = 8,95 kg

P2 = 16,95 kg

P3 = 24,95 kg

$\sigma_n 1$ = $\frac{P1}{A}$

= $\frac{8{,}95}{30{,}566}$

= 0,2928 kg/cm^2

$\sigma_n 2$ = $\frac{P2}{A}$

= $\frac{16{,}95}{30{,}566}$

= 0,5545 kg/cm^2

$\sigma_n 3$ = $\frac{P1}{A}$

= $\frac{24{,}95}{30{,}566}$

= 0,8163 kg/cm^2

2. Gaya Geser

Gaya geser 1 = dial x kalibrasi

= 46 x 0,376

= 17,296

Gaya geser 2 = dial x kalibrasi

= 55 x 0,376

= 20,68

Gaya geser 3 = dial x kalibrasi

= 62 x 0,376

= 23,31

3. Tegangan geser (σs)

Tegangan geser pada percobaan ini dicari menggunakan Persamaan 2.4 yaitu

$\sigma_s = \frac{gaya\ geser}{A}$

Pada tanah-tanah mendapatkan tegangan geser sebesar

$$\sigma_s\ 1 = \frac{gaya\ geser\ 1}{A}$$

$$= \frac{17{,}296}{30{,}566}$$

$$= 0{,}5659\ \text{kg}/cm^2$$

$$\sigma_s\ 2 = \frac{gaya\ geser\ 2}{A}$$

$$= \frac{20{,}68}{30{,}566}$$

$$= 0{,}6766\ \text{kg}/cm^2$$

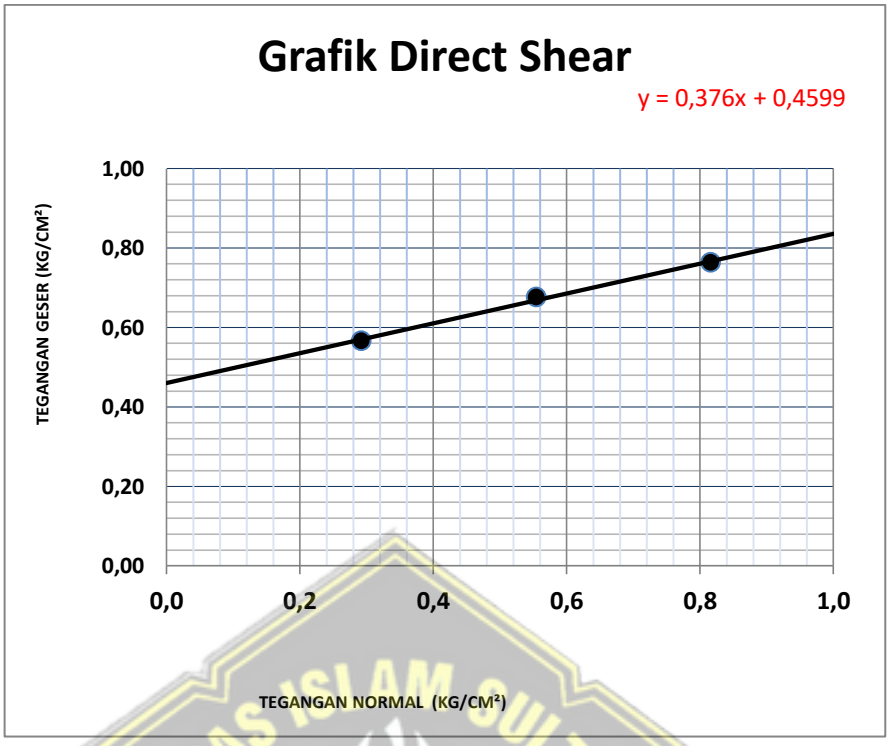
$$\sigma_s\ 3 = \frac{gaya\ geser\ 3}{A}$$

$$= \frac{23{,}31}{30{,}566}$$

$$= 0{,}7627\ \text{kg}/cm^2$$

Tabel 4.19 Hasil perhitungan tegangan normal dan tegangan geser

Sampel	No percobaan	σ_n (kg/cm^2)	σ_s (kg/cm^2)
Tanah	1	0,293	0,5659
	2	0,555	0,6766
	3	0,816	0,7627



Gambar 4.6 Grafik *Direct Shear* Tanah-Beton Polos

Pada Gambar 4.6 menunjukan bahwa semakin tinggi hasil pembacaan dial maka semakin tinggi pula nlai dari tegangan normal dan tegangan geser. Percobaan *direct shear* antara tanah dengan Beton polos menghasilkan

Adhesi (Ca) = 0,46 kg/cm^2

Faktor Adhesi (α) = 1,117 kg/cm^2

Gesek Antar Muka (δ) = 20,62°

4.3.3 Tanah – Beton Kekasaran 4

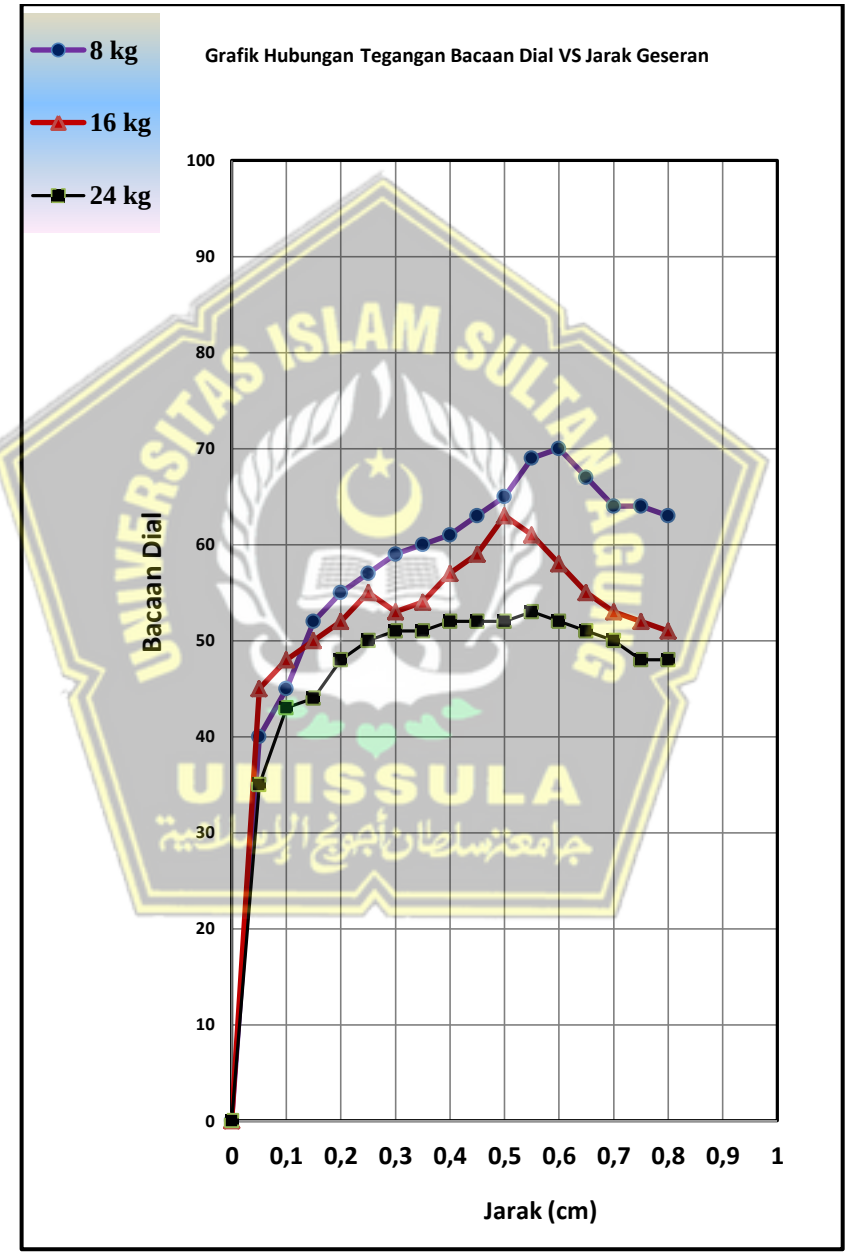
Pada pengujian *direct shear* antara tanah dengan beton kekasaran 4, menggunakan setengah tanah lempung dan setengahnya lagi beton dengan 4 kekasaran seperti Gambar 4.7

Gambar 4.7 Sampel tanah- beton kekasaran 4

Dari percobaan ini menghasilkan data yang dapat dilihat pada Tabel 4.20

Tabel 4.20 Data Hasil Percobaan *Direct Shear* Tanah- Beton kekasaran 4

Sampel	Percobaan	Beban (kg)	Koreksi beban	Pembacaan dial
Tahan – Tanah	1	8	7,958	53
	2	16	16,04	63
	3	24	23,998	70



Gambar 4.8 Hubungan Jarak Geser Dengan Dial Pembacaan Tanah-Beton Kekasaran 4

Pada pengujian *direct shear* Tanah – Beton Kekasaran 4 menunjukan bahwa hasil pembacaan dial lebih besar di bandingkan pembacaan dial pada pengujian Tanah – Beton Polos. Nilai Adhesi (Ca) dan Sudut geser dalam (δ) didapat dari hasil perhitungan berikut :

Analisa hasil percobaan

1. Tegangan Normal (σn)

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

   A = 0,25 x 3,14 x D^2

   = 0,25 x 3,14 x $6{,}24^2$

   = 0,25 x 3,14 x 38,94

   = 30,566 kg/cm^2

   P1 = 8,95 kg

   P2 = 16,95 kg

   P3 = 24,95 kg

   $\sigma_n 1 = \frac{P1}{A}$

   $= \frac{8{,}95}{30{,}566}$

   = 0,2928 kg/cm^2

   $\sigma_n 2 = \frac{P2}{A}$

   $= \frac{16{,}95}{30{,}566}$

   = 0,5545 kg/cm^2

   $\sigma_n 3 = \frac{P1}{A}$

   $= \frac{24{,}95}{30{,}566}$

   = 0,8163 kg/cm^2

2. Gaya Geser

   Gaya geser 1 = dial x kalibrasi

   = 53 x 0,376

   = 19,928

Gaya geser 2 = dial x kalibrasi

= 63 x 0,376

= 23,69

Gaya geser 3 = dial x kalibrasi

= 70 x 0,376

= 26,32

3. Tegangan geser (σs)

Tegangan geser pada percobaan ini dicari menggunakan Persamaan (2.4) yaitu $\sigma_s = \frac{gaya\ geser}{A}$

Pada tanah-tanah mendapatkan tegangan geser sebesar

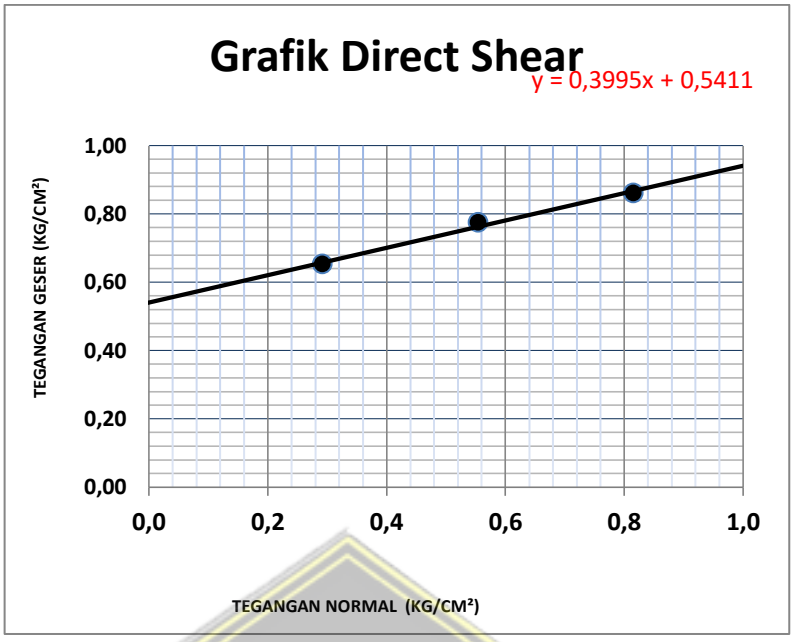
$$\sigma_s\ 1 = \frac{gaya\ geser\ 1}{A} = \frac{19{,}928}{30{,}566} = 0{,}652\ \text{kg}/cm^2$$

$$\sigma_s\ 2 = \frac{gaya\ geser\ 2}{A} = \frac{23{,}69}{30{,}566} = 0{,}775\ \text{kg}/cm^2$$

$$\sigma_s\ 3 = \frac{gaya\ geser\ 3}{A} = \frac{26{,}32}{30{,}566} = 0{,}8611\ \text{kg}/cm^2$$

Tabel 4.21 Hasil perhitungan tegangan normal dan tegangan geser

Sampel	No percobaan	σ_n (kg/cm^2)	σ_s (kg/cm^2)
Tanah	1	0,2928	0,652
	2	0,555	0,775
	3	0,816	0,8611



Gambar 4.9 Grafik *Direct Shear* Tanah-Beton Kekasaran 4

Pada Gambar 4.9 menunjukan 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

Adhesi (Ca) = 0,541 kg/cm^2

Faktor Adhesi (α) = 1,314 kg/cm^2

Gesek Antar Muka (δ) = 21,79 °

4.3.4 Tanah – Beton Kekasaran 6

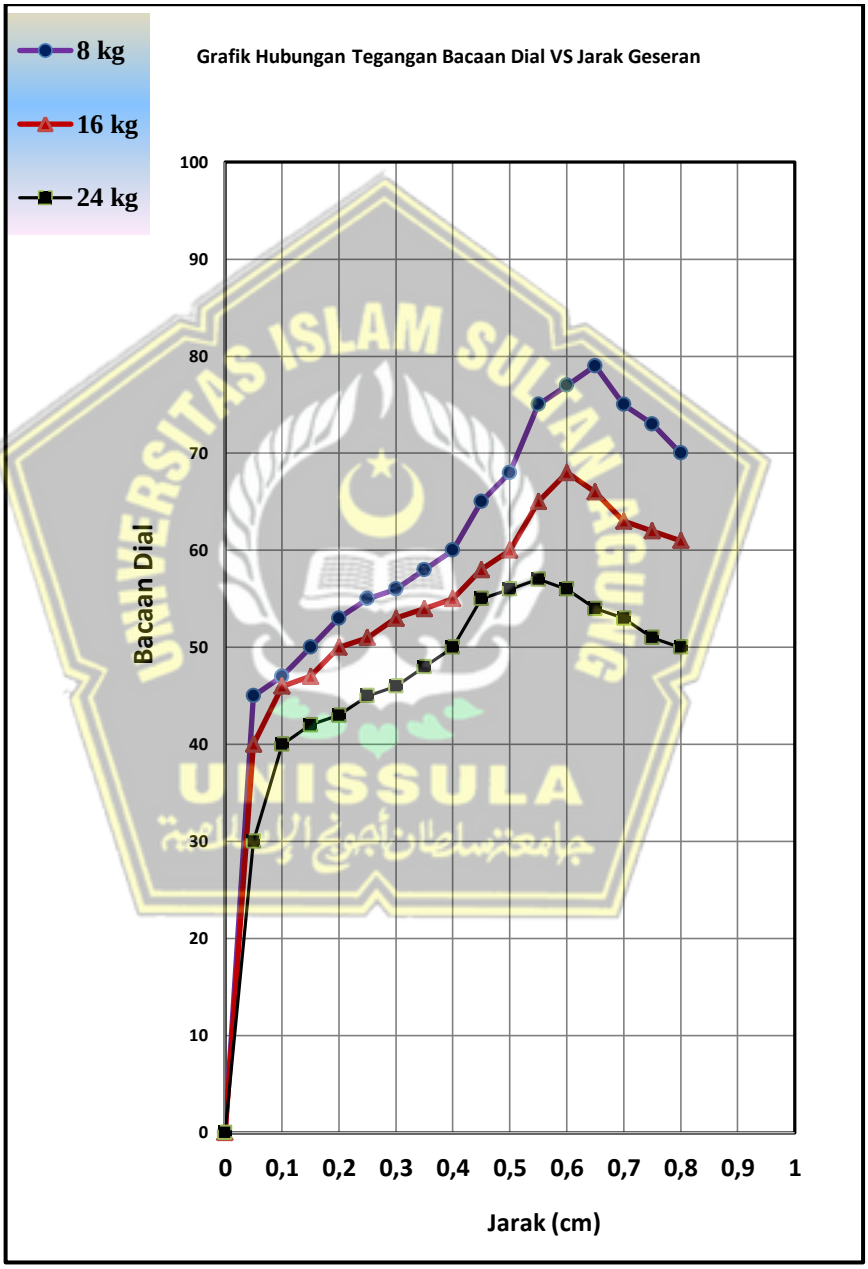
Pada pengujian *direct shear* antara tanah dengan beton kekasaran 6, menggunakan setengah tanah lempung dan setengahnya lagi beton dengan 6 kekasaran seperti Gambar 4.10

Gambar 4.10 Sampel tanah- beton kekasaran 6

Dari percobaan ini menghasilkan data yang dapat dilihat pada Tabel 4.22

Tabel 4.22 Data Hasil Percobaan *Direct Shear* Tanah- Beton kekasaran 6

Sampel	Percobaan	Beban (kg)	Koreksi beban	Pembacaan dial
Tahan – Tanah	1	8	7,958	57
	2	16	16,04	68
	3	24	23,998	79



Gambar 4.11 Hubungan Jarak Geser Dengan Dial Pembacaan Tanah-Beton Kekasaran 6

Pada pengujian *direct shear* Tanah – Beton Kekasaran 6 menunjukan bahwa hasil pembacaan dial lebih besar di bandingkan pembacaan dial pada pengujian Tanah – Beton Kekasaran 4. Nilai Adhesi (Ca) dan Sudut geser dalam (δ) didapat dari hasil perhitungan berikut :

Analisa hasil percobaan

1. Tegangan Normal (σn)

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

   A = 0,25 x 3,14 x D^2

   = 0,25 x 3,14 x $6{,}24^2$

   = 0,25 x 3,14 x 38,94

   = 30,566 kg/cm^2

   P1 = 8,95 kg

   P2 = 16,95 kg

   P3 = 24,95 kg

   $\sigma_n 1 = \frac{P1}{A}$

   $= \frac{8{,}95}{30{,}566}$

   = 0,2928 kg/cm^2

   $\sigma_n 2 = \frac{P2}{A}$

   $= \frac{16{,}95}{30{,}566}$

   = 0,5545 kg/cm^2

   $\sigma_n 3 = \frac{P1}{A}$

   $= \frac{24{,}95}{30{,}566}$

   = 0,8163 kg/cm^2

2. Gaya Geser

   Gaya geser 1 = dial x kalibrasi

   = 57 x 0,376

   = 21,432

Gaya geser 2 = dial x kalibrasi

= 68 x 0,376

= 25,57

Gaya geser 3 = dial x kalibrasi

= 79 x 0,376

= 29,70

3. Tegangan geser (σs)

Tegangan geser pada percobaan ini dicari menggunakan Persamaan 2.4 yaitu $\sigma_s = \frac{gaya\ geser}{A}$

Pada tanah-tanah mendapatkan tegangan geser sebesar

σ_s 1 $= \frac{gaya\ geser\ 1}{A}$

$= \frac{21,432}{30,566}$

$= 0,7012$ kg/cm^2

σ_s 2 $= \frac{gaya\ geser\ 2}{A}$

$= \frac{25,57}{30,566}$

$= 0,8365$ kg/cm^2

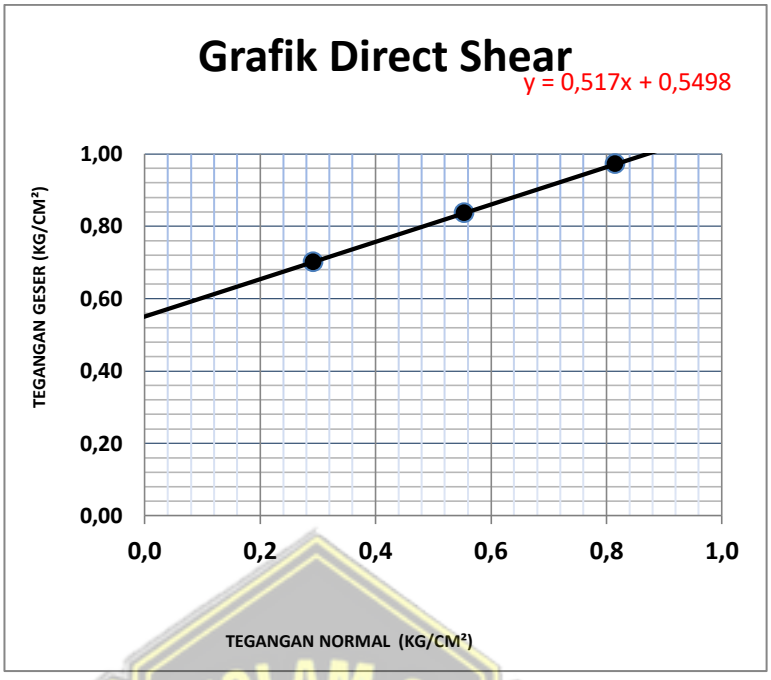
σ_s 3 $= \frac{gaya\ geser\ 3}{A}$

$= \frac{29,70}{30,566}$

$= 0,9718$ kg/cm^2

Tabel 4.23 Hasil perhitungan tegangan normal dan tegangan geser

Sampel	No percobaan	σ_n (kg/cm^2)	σ_s (kg/cm^2)
Tanah	1	0,2928	0,7012
	2	0,555	0,8365
	3	0,816	0,9718



Gambar 4.12 Grafik *Direct Shear* Tanah-Beton Kekasaran 6

Pada Gambar 4.12 menunjukan 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

Adhesi (Ca) = 0,550 kg/cm^2

Faktor Adhesi (α) = 1,335 kg/cm^2

Gesek Antar Muka (δ) = 27,35 °

4.3.5 Tanah – Beton Kekasaran 8

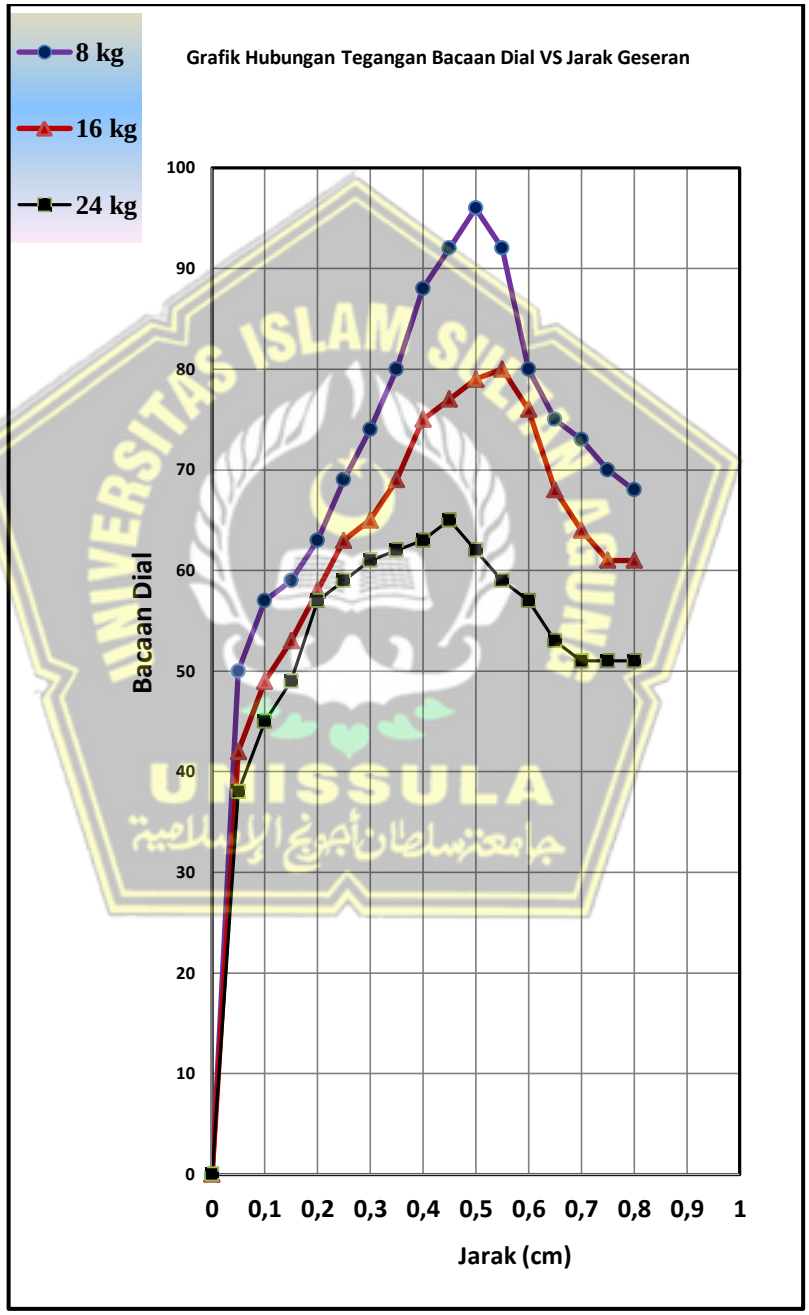
Pada pengujian *direct shear* antara tanah dengan beton kekasaran 8, menggunakan setengah tanah lempung dan setengahnya lagi beton dengan 8 kekasaran seperti Gambar 4.13

Gambar 4.13 Sampel tanah- beton kekasaran 8

Dari percobaan ini menghasilkan data yang dapat dilihat pada Tabel 4.24

Tabel 4.24 Data Hasil Percobaan *Direct Shear* Tanah- Beton kekasaran 8

Sampel	Percobaan	Beban (kg)	Koreksi beban	Pembacaan dial
Tahan – Tanah	1	8	7,958	65
	2	16	16,04	80
	3	24	23,998	96



Gambar 4.14 Hubungan Jarak Geser Dengan Dial Pembacaan Tanah-Beton Kekasaran 8

Pada pengujian *direct shear* Tanah – Beton Kekasaran 8 menunjukan bahwa hasil pembacaan dial lebih besar di bandingkan pembacaan dial pada pengujian Tanah – Beton Kekasaran 6. Nilai Adhesi (Ca) dan Sudut geser dalam (δ) didapat dari hasil perhitungan berikut :

Analisa hasil percobaan

1. Tegangan Normal (σn)

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

   A = 0,25 x 3,14 x D^2

   = 0,25 x 3,14 x $6{,}24^2$

   = 0,25 x 3,14 x 38,94

   = 30,566 kg/cm^2

   P1 = 8,95 kg

   P2 = 16,95 kg

   P3 = 24,95 kg

   $\sigma_n 1 = \frac{P1}{A}$

   $= \frac{8{,}95}{30{,}566}$

   = 0,2928 kg/cm^2

   $\sigma_n 2 = \frac{P2}{A}$

   $= \frac{16{,}95}{30{,}566}$

   = 0,5545 kg/cm^2

   $\sigma_n 3 = \frac{P1}{A}$

   $= \frac{24{,}95}{30{,}566}$

   = 0,8163 kg/cm^2

2. Gaya Geser

   Gaya geser 1 = dial x kalibrasi

   = 59 x 0,376

   = 22,184

Gaya geser 2 = dial x kalibrasi

= 78 x 0,376

= 29,33

Gaya geser 3 = dial x kalibrasi

= 96 x 0,376

= 36,10

3. Tegangan geser (σs)

Tegangan geser pada percobaan ini dicari menggunakan Persamaan 2.4 yaitu $\sigma_s = \frac{gaya\ geser}{A}$

Pada tanah-tanah mendapatkan tegangan geser sebesar

σ_s 1 $= \frac{gaya\ geser\ 1}{A}$

$= \frac{22,184}{30,566}$

$= 0,7258$ kg/cm^2

σ_s 2 $= \frac{gaya\ geser\ 2}{A}$

$= \frac{29,33}{30,566}$

$= 0,9595$ kg/cm^2

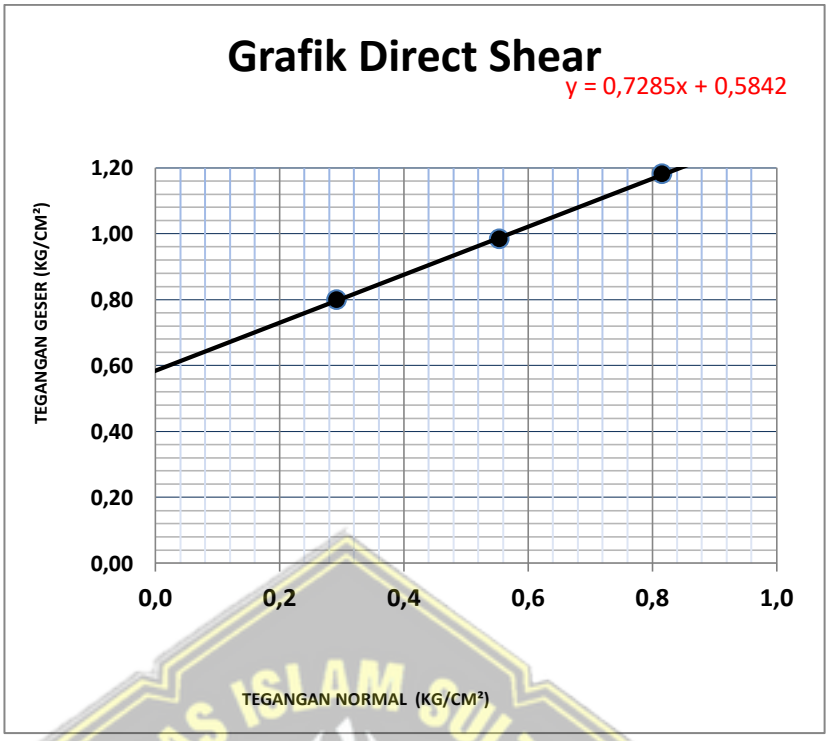
σ_s 3 $= \frac{gaya\ geser\ 3}{A}$

$= \frac{36,10}{30,566}$

$= 0,1809$ kg/cm^2

Tabel 4.25 Hasil perhitungan tegangan normal dan tegangan geser

Sampel	No percobaan	σ_n (kg/cm^2)	σ_s (kg/cm^2)
Tanah	1	0,2928	0,7258
	2	0,555	0,9595
	3	0,816	1,1809



Gambar 4.15 Grafik *Direct Shear* Tanah-Beton Kekasaran 8

Pada Gambar 4.15 menunjukan 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 (Ca) = 0,584 kg/cm^2

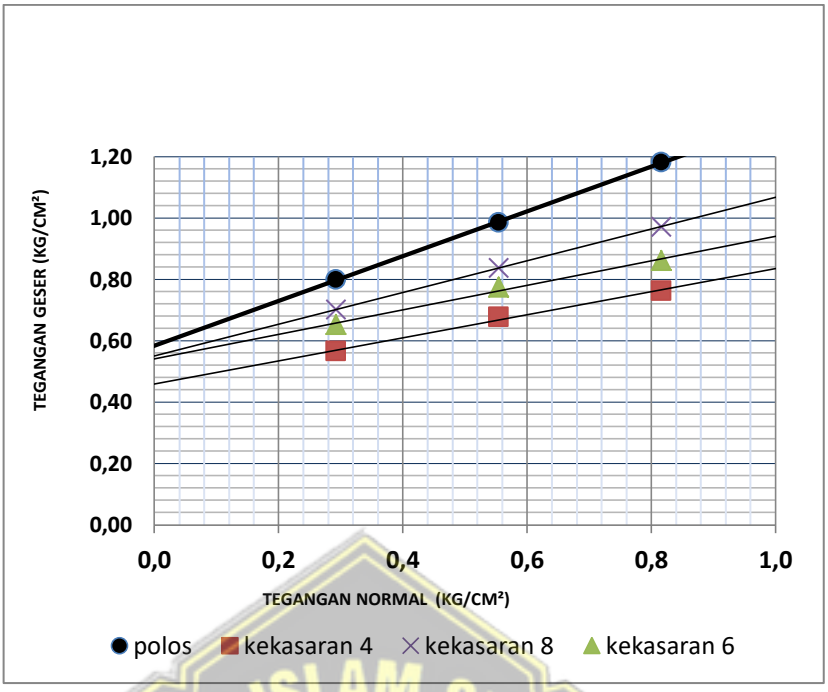
Faktor Adhesi (α) = 1,419 kg/cm^2

Gesek Antar Muka (δ) = 36,09 °

Dari keempat percobaan dapat dilihat perbedaannya pada Tabel 4.26 Serta Gambar 4.16, Gambar 4.17, Gambar 4.18, Gambar 4.19, dan Gambar 4.20.

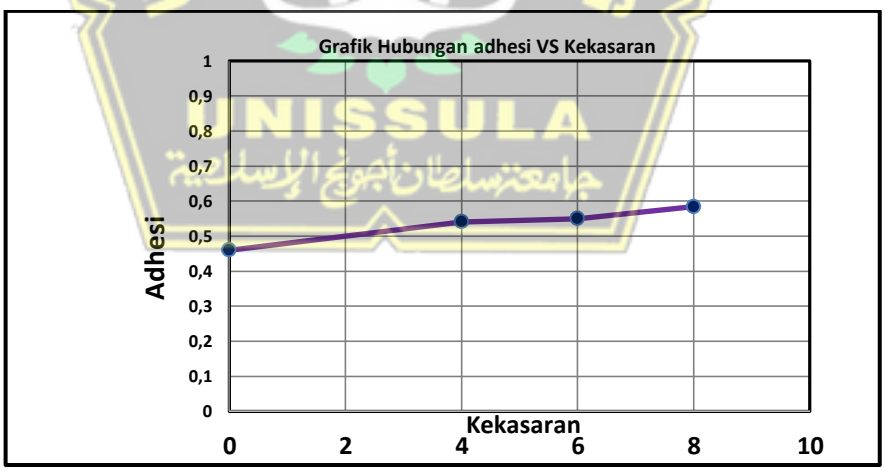
Tabel 4.26 Kesimpulan

Perlakuan	Adhesi (Ca) (kg/cm^2)	Gesek antar muka (δ) (°)	Faktor adhesi (α) kg/cm^2	Tan δ
Tanah – beton polos	0,46	20,62	1,117	0,376
Tanah – beton arsir 4	0,541	21,79	1,314	0,399
Tanah – beton arsir 6	0,550	27,35	1,335	0,517
Tanah – beton arsir 8	0,584	36,09	1,419	0,729



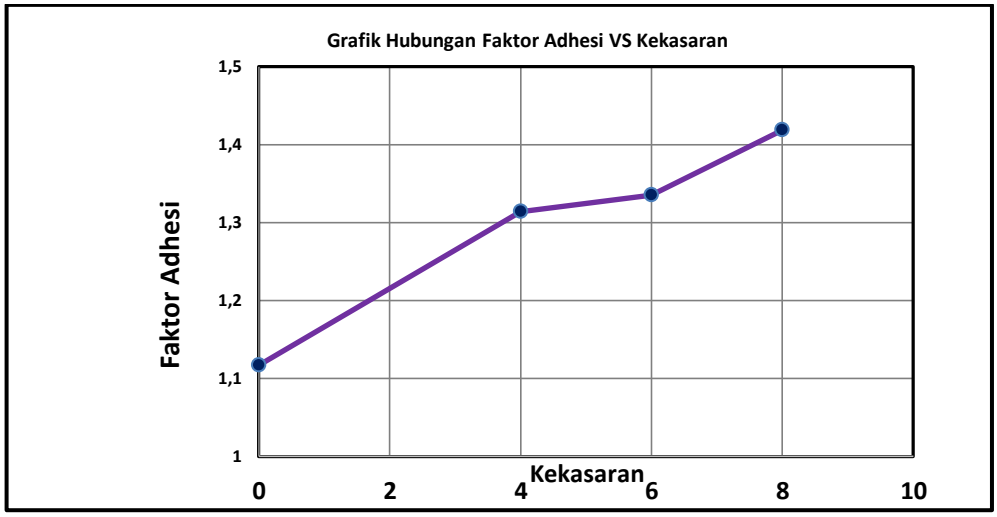
Gambar 4.16 Perbandingan *Hasil Direct Shear*

Gambar diatas memperlihatkan perbandingan dari hasil Pengujian *Direct Shear*. Pada tingkat kekasaan 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.



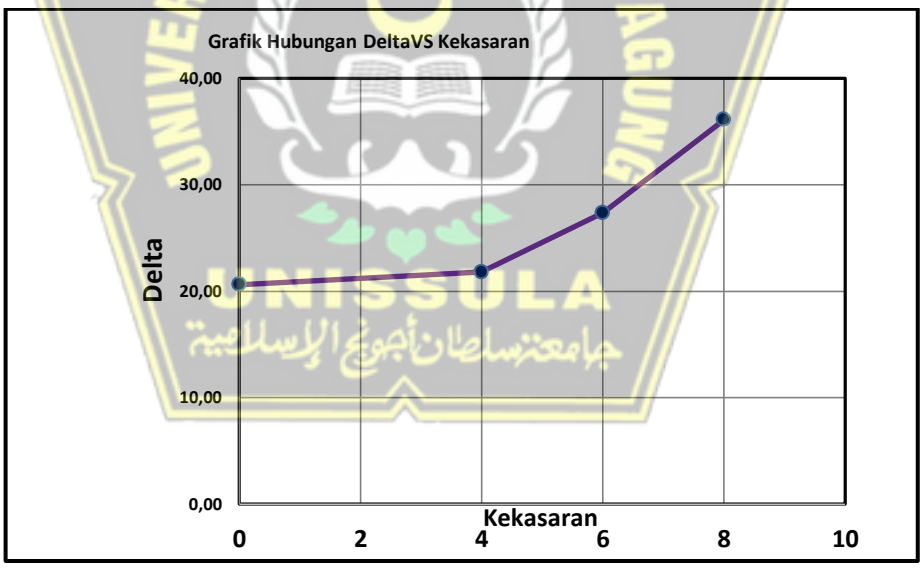
Gambar 4.17 Perbandingan Hasil Adhesi

Gambar 4.17 diatas memperlihatkan perbandingan dari hasil Adhesi, tingkat kekasaran Beton yang berpengaruh pada nilai yang didapat, sebagai akibat dari semakin kasar permukaan maka semakin tinggi pula nilai adesi dari benda uji.



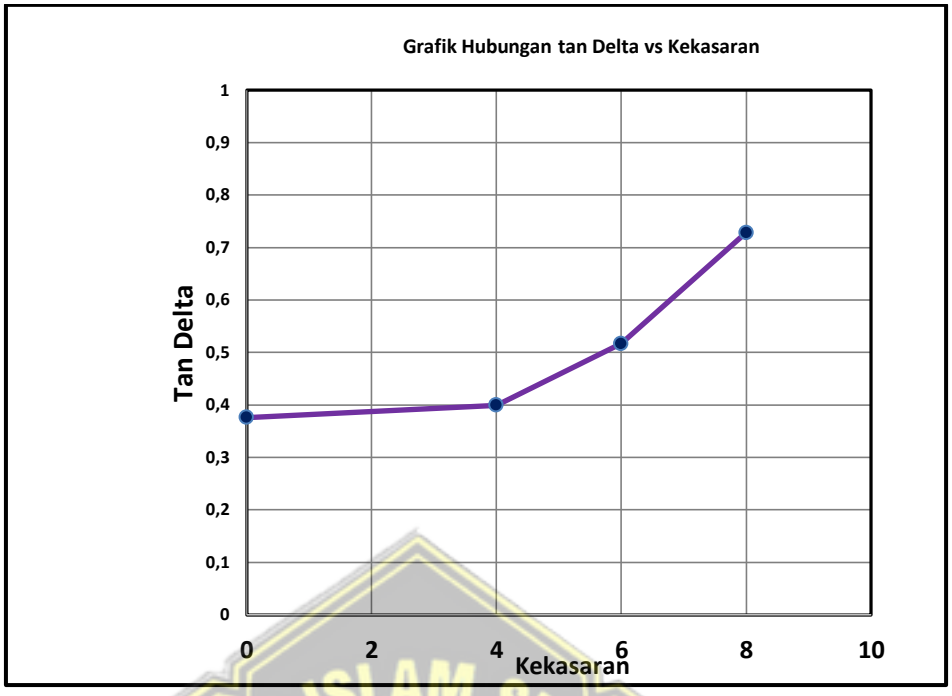
Gambar 4.18 Perbandingan Hasil Faktor Adhesi

Gambar diatas memperlihatkan perbandingan dari hasil factor Adhesi yaitu dari hasil perhitungan antara adhesi tanah - beton dibagi kohesi pengujian tanah - tanah. Tingkat kekasaan berpengaruh pada nilai yang di dapat sebagai akibat dari semakin kasar permukaan maka semakin tinggi pula niai adesi dari benda uji.



Gambar 4.19 Perbandingan Hasil Delta

Gambar diatas memperlihatkan perbandingan dari hasil Delta. Sudut yang terbentuk dari hasil grafik tegangan normal dengan tegangan geser pada pengujian dua permukaan yaitu tanah dengan beton yang menunjukkan kenaiakan signifikan dari setiap variasi kekasaran .



Gambar 4.20 Perbandingan Hasil Tan Delta

Gambar diatas memperlihatkan perbandingan hasil tan delta. Tan delta didapat dari tan dari sudut geser antara permukaan tanah dan beton.Tingkat kekasaan berpengaruh pada nilai yang didapat sebagai akibat dari semakin kasar permukaan maka semakin tinggi pula nilai tan delta dari benda uji.

4.4 Analisa Tahanan Gesek (Fs)

Setelah mendapatkan nilai $\boldsymbol{\alpha}$ 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 Persamaan (2.1) yaitu Fs = $\alpha \; x \; c$

1. Fs tanah-beton polos

   Fs = α x c

   = 1,117 x 0,4117

   = 0,46 kg/cm^2

2. Fs tanah-beton kekasaran 4

   Fs = α x c

   = 1,314 x 0,4117

   = 0,541 kg/cm^2

3. Fs tanah-beton kekasaran 6

   Fs = α x c

   = 1,335 x 0,4117

   = 0,55 kg/cm^2

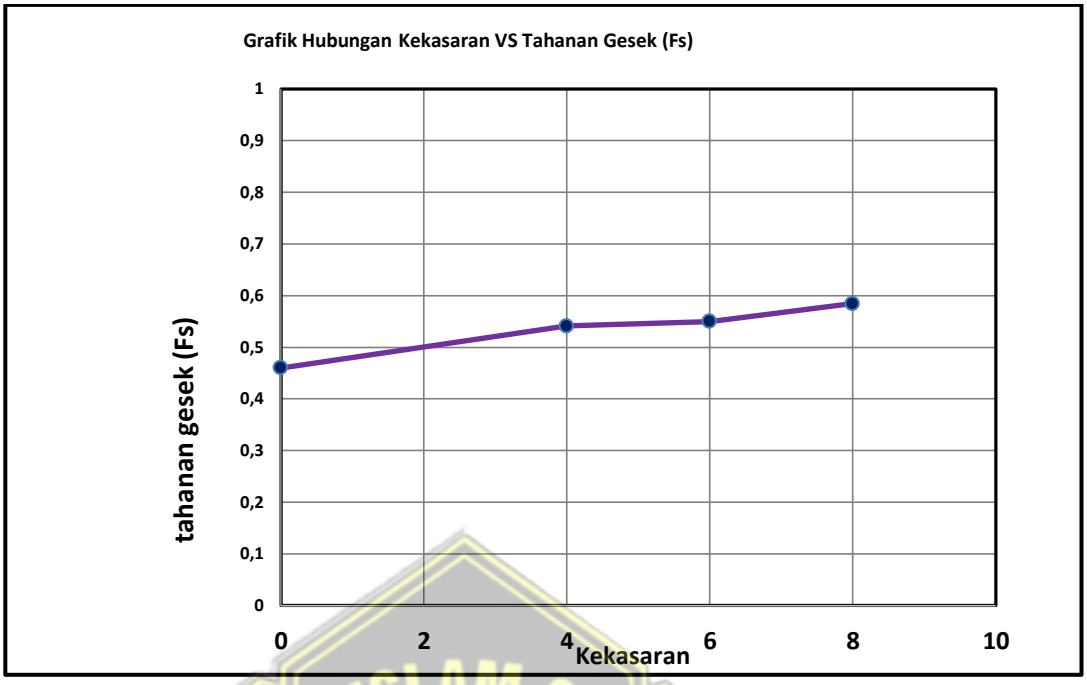
4. Fs tanah-beton kekasaran 8

   Fs = α x c

   = 1,4189 x 0,4117

   = 0,584 kg/cm^2

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية



Gambar 4.21 Perbandingan Hasil Tahanan gesek (fs)

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

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

a. Nilai faktor adhesi pada tanah – beton polos adalah 1,117 kg/cm^2 sedangkan nilai adhesi pada tanah- beton kekasaran 4, tanah – beton kekasaran 6, tanah – beton kekasaran 8 berturut – turut adalah 1,314 kg/cm^2 ; 1,335 kg/cm^2; 1,419 kg/cm^2.
b. Tahanan gesek antara tanah lempung dan beton polos adalah 0,46 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 0,541 kg/cm^2; 0,55 kg/cm^2; 0,584 kg/cm^2.
c. Tahanan gesek maksimal yang didapat adalah pada tanah lempung dengan beton kekasaran 8 yaitu sebesar 0,584 kg/cm^2
d. Pengaruh dinding tiang *bored pile* yang kasar adalah semakin kasar permukaan tiang *bored pile* maka semakin besar pula nilai tahanan gesek (Fs). Dengan semakin besarnya nilai Fs maka semakin besar daya dukung fondasi *bored pile*

5.2 Saran

Saran dan masukan yang dapat disampaikan oleh penyusun untuk pembaca maupun untuk pengembang penulisan tugas akhir ini antara lain :

a. Memperbanyak pengetahuan tentang permodelan uji *direct shear* dengan dua benda uji yang berbeda
b. Pada uji *direct shear* sebaiknya menggunakan alat uji *direct shear* yang bekerja secara otomatis agar pembacaan dial lebih teliti.
c. Sebaikmya penelitian ini tidak terfokus pada jenis tanah lempung saja melainkan bisa dikembangkan untuk jenis tanah lainya.
d. Untuk penelitian lebih lanjut di sarankan mencari tingkat kekasaran maksimal, diharapkan bisa menemukan nilai tahanan gesek yang maksimal sebelum terjadi penurunan nilai tahanan gesek.

DAFTAR PUSTAKA

Bowles, J. E. (1991). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Erlangga.

Das, B. M. (1941). *Soil Mechanics Laboratory Manual* (Third Edit). Engineering Press, Inc.

Das, B. M. (1995). *The Principle of Geotechnical Engineering (Mekanika Tanah)*. Erlangga.

Haeri, H., Sarfarazi, V., Zhu, Z., Marji, M. F., & Masoumi, A. (2019). Investigation of shear behavior of soil-concrete interface. *Smart Structures and Systems*, *23*(1), 81–90. https://doi.org/10.12989/sss.2019.23.1.081

Hardiyatmo, H. C. (1992). *mekanika tanah I*. PT Gramedia Pustaka Utama.

Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I*. Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, H. C. (2010). *Analisis dan Perancangan Fondasi* (bagian I). Gadjah Mada University Press.

Ilori, A. O., Udoh, N. E., & Umenge, J. I. (2017). Determination of soil shear properties on a soil to concrete interface using a *direct shear* box apparatus. *International Journal of GeoEngineering*, *8*(1). https://doi.org/10.1186/s40703-017-0055-x

Pellet, F. L., & Keshavarz, M. (2014). Shear behavior of the interface between drilling equipments and shale rocks. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, *4*(3), 245–254. https://doi.org/10.1007/s13202-014-0108-z

Pratikso. (2017). *Mekanika Tanah I*. Unissula Press.

Sosrodarsono, S., & Nakazawa, K. (2000). *Mekanika Tanah dan Teknik Fondasi*. Pradnya paramitha.

Taha, A., & Fall, M. (2014). Shear behavior of sensitive marine clay–steel interfaces. *Acta Geotechnica*, *9*(6), 969–980. https://doi.org/10.1007/s11440-014-0321-4

Wang, Y., Liu, X., Zhang, M., & Bai, X. (2020). Effect of Roughness on Shear Characteristics of the Interface between Silty Clay and Concrete. *Advances in Civil Engineering*, *2020*. https://doi.org/10.1155/2020/8831759

Yulipriyanto, H. (2010). *Biologi Tanah dan Strategi Pengolahannya*. Graha Ilmu.

Zhao, C. F., Wu, Y., Zhao, C., Zhang, Q. Z., Liu, F. M., & Liu, F. (2019). Pile side resistance in sands for the unloading effect and modulus degradation. *Materiales de Construccion*, *69* (334), 1–15. https://doi.org/10.3989/mc.2019.03718

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية