

LEMBAR PENGESAHAN

Akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar

Judul : Uji Model Fisik Lapis Pondasi Elastis Dengan Menggunakan Tanah Stabilisasi Bakteri Bacillus Subtilis

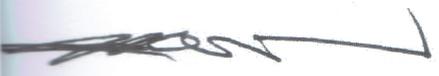
Disusun Oleh :

Nama : Joey Sequoiadendron Limbongan D111 13 308

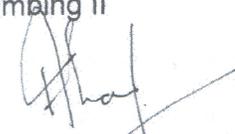
Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Makassar, 16 Januari 2019

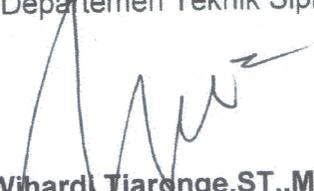
Pembimbing I


Ir. H. Lawalenna Samang, MS.M.Eng
Nip. 1012311985031031

Pembimbing II


Dr. Eng. Tri Harianto, ST.MT.
Nip. 197203092000031002

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Sipil,


Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.
Nip. 196805292001121002



TUGAS AKHIR

***PLATE BEARING TEST* LAPISAN PONDASI ELASTIS**

MEDIA TANAH LEMPUNG STABILISASI

BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*



Oleh :

JOEY S. LIMBONGAN

D111 13 308

JURUSAN SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2019



Optimization Software:
www.balesio.com



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

Jalan Poros Malino Km. 6 Gowa, 92171, Sulawesi Selatan

☎ (0411) 586015, 586262 Fax (0411) 586015.

http://civil.eng.unhas.ac.id. E-mail: teknik@unhas.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar

Judul : Uji Model Fisik Lapis Pondasi Elastis Dengan Menggunakan Tanah Stabilisasi Bakteri Bacillus Subtilis

Disusun Oleh :

Nama : Joey Sequoiadendron Limbongan D111 13 308

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Makassar, 16 Januari 2019

Pembimbing I

Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna Samang, MS.M.Eng
Nip. 196012311985031031

Pembimbing II

Dr. Eng. Tri Harianto, ST.MT.
Nip. 197203092000031002

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Sipil,

Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.
Nip. 196805292001121002

JTS-Unhas/TA.02.14/2018



KATA PENGANTAR

Segala hormat dan kemuliaan bagi Tuhan yang Maha Esa sebab hanya Dia yang layak menerima segala pujian. Syukur kepada Tuhan atas penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan tugas akhir yang berjudul “**PLATE BEARING TEST LAPISAN PONDASI ELASTIS MEDIA TANAH LEMPUNG STABILISASI BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS***”, sebagai salah satu persyaratan untuk penyelesaian studi pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan, petunjuk dan perhatian dari dosen pembimbing. Maka dalam kesempatan kali ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Lawalenna Samang, M.S., M.Eng.

Pembimbing II : Dr. Eng. Tri Harianto, S.T., M.T.

Sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Terima kasih atas segala bantuan berupa sumbangan pemikiran, arahan dan saran yang dosen pembimbing berikan.

Dengan segala kerendahan hati, penulis juga ingin menyampaikan terima kasih serta penghargaan yang setinggi – tingginya kepada:

1. Orang tua terkasih, Yusuf Limbongan dan Yuliana Bontong untuk setiap doa yang dipanjatkan, nasihat yang diberikan, dan pengorbanan yang dilakukan.
2. Bapak Dr. Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MS, ME., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Dr. Ir. Arsyad Thaha, M.T., selaku ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Dr. Eng. Tri Harianto, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Ibu Ir. Hasriana, MT., Septian dan Siti Faoziah selaku rekan penelitian, yang memberikan bantuan dan solusi saat menghadapi kesulitan selama pengerjaan tugas akhir.



6. Teknik Sipil 2013 dan Gelora 13. Terima kasih atas segala dukungan, semangat dan saran yang diberikan selama proses penyusunan Tugas Akhir.
7. Segenap dosen pengajar dan staf pegawai Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Terima kasih atas bantuan dan pengajaran yang telah diberikan.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu karena banyaknya bantuan, dukungan dan doa yang diberikan kepada penulis.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan dan kekeliruan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Sehingga penulis akan sangat berterimakasih atas setiap koreksi, saran, masukan dan petunjuk yang bersifat membangun untuk kelanjutan penyusunan yang lebih baik.

Akhir kata penulis berharap dengan selesainya penulisan dan penyusunan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya bagi peningkatan ilmu pengetahuan semua pembaca, khususnya dalam bidang geoteknik dan bagi pembangunan dunia ketekniksipilan secara umum.

Gowa, Januari 2019

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	vii

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Maksud dan Tujuan Penelitian	2
D. Manfaat Penelitian	2
E. Batasan Penelitian.....	2
F. Sistematika Penulisan	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Definisi dan Klasifikasi Tanah	4
B. Karakteristik Tanah Lempung Lunak.....	10
C. Metode Perbaikan Tanah	12
D. Stabilisasi Tanah Media Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	13
E. Pondasi dan Penurunan Tanah Dasar.....	18
F. Penelitian terdahulu	25

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi dan waktu penelitian	27
B. Rancangan Penelitian.....	27
C. Analisa Data.....	34

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Tanah Lempung	36
--------------------------------------	----



B. Pengaruh Komposisi Bakteri Terhadap Kapasitas Dukung Pondasi Elastis	41
C. Nilai Subgrade Modulus Tanah Lempung dengan Komposisi Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	43

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan	45
B. Saran	45

DAFTAR PUSTAKA	viii
-----------------------------	------

LAMPIRAN	ix
-----------------------	----



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sistem Klasifikasi Tanah Menurut USCS.....	9
Gambar 2.2	Daerah Penyebaran Tanah Lunak di Indonesia.....	11
Gambar 2.3	Fase-Fase Pertumbuhan Sel Bakteri.....	14
Gambar 2.4	Perbandingan Pondasi Kaku dan Lentur pada pasir dan Lempung	19
Gambar 2.5	Kondisi Keseimbangan Elastis.....	20
Gambar 2.6	Terbentuk Zona Plastis di bawah Pondasi	21
Gambar 2.7	Terjadi Penggelembungan Tanah di Sekitar Pondasi	21
Gambar 2.8	Tahap-tahap Keruntuhan pada Tanah Pondasi.....	21
Gambar 2.9	Keruntuhan Geser Umum	22
Gambar 2.10	Keruntuhan Geser Lokal	22
Gambar 2.11	Keruntuhan Geser Penetrasi.....	23
Gambar 3.1	Rancangan Model <i>Plate Bearing Test</i>	29
Gambar 4.1	Grafik Distribusi Gradasi Tanah	38
Gambar 4.2	Hubungan Kadar Air dan Berat Isi Kering Maksimum	39
Gambar 4.3	Diagram Plastisitas (ASTM, Casagrande)	40
Gambar 4.4	Hubungan Beban dan Penurunan dengan Variasi Komposisi Bakteri.....	42
Gambar 4.5	Nilai Subgrade Modulus (k_s) Tiap Komposisi Bakteri	43



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya	6
Tabel 2.2	Klasifikasi USCS untuk Tanah Bergradasi Kasar.....	9
Tabel 2.3	Klasifikasi USCS untuk Tanah Bergradasi Halus.....	10
Tabel 2.4	Sifat-Sifat Umum Lempung Lunak.....	11
Tabel 2.5	Beberapa formula untuk menentukan modulus reaksi tanah dasar, k_s	24
Tabel 2.6	Jenis - jenis tanah berdasarkan nilai modulus reaksi tanah dasar, k_s	25
Tabel 3.1	Angka Poisson Berdasarkan Jenis Tanah.....	35
Tabel 4.1	Hasil pengujian sifat fisik dan mekanis tanah.....	36
Tabel 4.2	Berat Jenis Tanah	37
Tabel 4.3	Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASHTO)	40



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Tanah merupakan komponen yang paling penting dalam semua yang berhubungan dengan pembangunan pondasi konstruksi atau struktur bangunan. Suatu konstruksi bangunan memerlukan kondisi tanah yang harus melalui proses pengendalian mutu. Namun di Indonesia sendiri tidak semua memiliki kondisi tanah yang sesuai untuk dijadikan bahan dasar konstruksi.

Banyak masalah yang terjadi pada pekerjaan dibidang teknik sipil disebabkan karena jenis tanah itu sendiri. Tanah di alam terdiri dari campuran butiran-butiran mineral atau dengan kandungan bahan organik. Jenis tanah yang mengandung campuran bahan- bahan mineral dan silikat disebut tanah lempung. Tanah lempung lunak mengandung mineral-mineral lempung dan mengandung kadar air yang tinggi. Indonesia tidak lepas dari tanah lunak karena tanah lunak di Indonesia menempati area > 20 juta hektar atau > 10% dari tanah daratan di Indonesia. Dan itupun tersebar di daerah kota besar dan pusat pertumbuhan ekonomi Negara.

Usaha-usaha untuk memperbaiki tanah jenis ini telah banyak dilakukan dengan metode stabilisasi tanah. Stabilisasi dapat dilakukan dengan meningkatkan nilai kohesi atau sudut geser, menambah bahan yang menyebabkan perubahan kimiawi atau fisis tanah, dan penurunan muka air tanah. Stabilisasi tanah meliputi pencampuran tanah dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi yang diinginkan, atau pencampuran tanah dengan bahan-bahan buatan pabrik sehingga sifat teknis tanah menjadi lebih baik. Oleh karena itu, diperlukan untuk memperbaiki tanah jenis ini agar dapat dimanfaatkan dalam pembangunan konstruksi. Usaha stabilisasi tanah yang biasa dilakukan pada tanah lempung ini dengan menambahkan bahan kimia pada tanah, contohnya dengan mikroorganisme yang digunakan dalam Tugas Akhir ini.

Stabilisasi yang dilakukan sebagai salah satu mikroorganisme seperti *Bacillus Subtilis* yang diyakini dapat memperbaiki karakteristik sehingga sesuai dengan penggunaan tanah yang dikehendaki (misalkan



untuk meningkatkan kekuatan tanah pondasi bangunan, stabilisasi subgrade di bawah jalan raya, penguatan tanggul, dll). Penggunaan bahan tambah biologis pada tanah sebagai bahan stabilisasi sudah mulai dilakukan di Indonesia, alternatif bahan tambah ini tidak merusak lingkungan seperti bahan kimia selain itu mikroorganisme yang digunakan adalah mikroorganisme yang hidup di Indonesia. Sehingga dengan beberapa keuntungan tersebut maka digunakanlah bakteri *Bacillus Subtilis* sebagai bahan stabilisasi tanah.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik fisik dan mekanis tanah lempung?
2. Bagaimana pengaruh penambahan larutan Bakteri *Bacillus Subtilis* terhadap parameter subgrade modulus tanah lempung ?

C. Maksud dan Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanis sampel tanah yang membutuhkan stabilisasi
2. Untuk mengetahui pengaruh penambahan Bakteri *Bacillus Subtilis* terhadap parameter subgrade modulus tanah lempung

D. Manfaat Penelitian

Untuk mencari alternatif bahan stabilisasi untuk tanah lempung.

E. Batasan Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan pembatasan permasalahan, yaitu :

1. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini ialah tanah lempung
2. Penelitian hanya meneliti daya dukung dan subgrade modulus tanah lempung
3. Kultur Bakteri *Bacillus Subtilis* untuk dijadikan bahan stabilisasi adalah tanah dengan kultur bakteri 6 hari dengan masa pemeraman tiap komposisi yaitu 28 hari



4. Persentase komposisi bakteri *Bacillus Subtilis*
 - a. Tanah Lempung +4% larutan bakteri *Bacillus Subtilis*
 - b. Tanah Lempung +6% larutan bakteri *Bacillus Subtilis*
 - c. Tanah Lempung +8% larutan bakteri *Bacillus Subtilis*

Bahan stabilisasi yang digunakan ialah bakteri *Bacillus Subtilis* yang diperoleh dari laboratorium Fakultas Farmasi Universitas Hasanuddin.

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini tersusun dalam lima bab, yaitu sebagai berikut :

- | | |
|-----------|--|
| B A B I | Bab ini menjelaskan latar belakang masalah, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan penelitian |
| B A B II | Bab ini berisikan teori - teori dan tinjauan umum yang digunakan untuk membahas dan menganalisa tentang permasalahan dari penelitian |
| B A B III | Bab ini menguraikan tahap demi tahap prosedur pelaksanaan penelitian serta pengolahan data hasil penelitian |
| B A B IV | Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh |
| B A B V | Berisi kesimpulan dan saran |



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Definisi dan Klasifikasi Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dari bahan-bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan zat gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat (Braja M. Das, 1995).

Tanah merupakan agregasi dari partikel yang dapat berkisar sangat lebar dalam ukuran. Partikel ini adalah hasil dari pelapukan mekanik dan kimia batuan. Beberapa partikel ini diberikan nama khusus sesuai dengan ukurannya, seperti kerikil, pasir, lumpur, tanah liat, dan lain lain (Bowles, 1997).

Menurut Bowles, tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut:

1. Berangkal (*boulders*), merupakan potongan batu yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran antara 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*).
2. Kerikil (*gravel*), partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*), partikel batuan yang berukuran 0.074 mm sampai 5 mm, berkisar dari kasar (3-5 mm) sampai halus (kurang dari 1 mm).
4. Lanau (*silt*), partikel batuan berukuran dari 0.002 mm sampai 0.074 mm. Lanau dan lempung dalam jumlah besar ditemukan dalam deposit yang disedimentasi ke dalam danau atau di dekat garis pantai pada muara sungai.
5. Lempung (*clay*), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0.002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.

Koloid (*colloids*), partikel mineral yang “diam” yang berukuran lebih kecil dari 0.001 mm.



Tanah terbentuk dari terjadinya pelapukan batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil akibat proses mekanis dan kimia. Pelapukan mekanis disebabkan oleh memuai dan menyusutnya batuan akibat perubahan panas dan dingin yang terus menerus yang akhirnya menyebabkan hancurnya batuan tersebut. Ketiga bagian yang membentuk tanah, yaitu udara, air, dan partikel-partikel tanah itu sendiri akan membentuk suatu gumpalan yang mempunyai massa total tanah.

Sistem klasifikasi tanah dimaksudkan untuk menentukan dan mengidentifikasi tanah dengan cara sistematis guna menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu dan juga berguna untuk menyampaikan informasi mengenai kondisi tanah dari suatu daerah ke daerah lain dalam bentuk suatu data dasar. Klasifikasi tanah juga berfungsi untuk studi yang lebih terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1991).

Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada dalam tanah. System klasifikasi tanah berdasarkan tekstur dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika dan klasifikasi internasional yang dikembangkan oleh Atterberg. Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada dalam tanah.

Adapun sistem klasifikasi tersebut adalah Sistem Klasifikasi AASHTO dan Sistem Klasifikasi Unified (USCS)

1. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem ini dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Dalam system ini tanah dikelompokkan menjadi tujuh kelompok besar yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang termasuk dalam golongan A-1, A-2 dan A-3 termasuk dalam tanah berbutir, dimana 35% atau kurang dari jumlah tanah keseluruhan yang lolos ayakan no. 200. Sedangkan tanah yang masuk dalam golongan A-4, A-5, A-6 dan A-7 adalah

lempung atau lanau. A-8 adalah kelompok tanah organik yang bersifat tidak stabil. Sebagai lapisan struktur jalan raya, maka revisi terakhir oleh AASHTO (Sukirman, 1992).



Kriteria dalam menentukan golongan tanah dapat diperhatikan dalam tabel dibawah ini.

Tabel . 2.1 Klasifikasi tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya

Table Classification of Highway Subgrade Materials								
General classification	Granular materials (35% or less of total sample passing No. 200)							
Group classification	A-1		A-3	A-2				
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	
Sieve analysis (percentage passing)								
No. 10	50 max.							
No. 40	30 max.	50 max.	51 min.					
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	
Characteristics of fraction passing No. 40								
Liquid limit				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	
Plasticity index	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	
Usual types of significant constituent materials	Stone fragments, gravel, and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand				
General subgrade rating	Excellent to good							
General classification	Silt-clay materials (more than 35% of total sample passing No. 200)							
Group classification	A-4			A-5		A-6		A-7
								A-7-5^a A-7-6^b
Sieve analysis (percentage passing)								
No. 10								
No. 40								
No. 200			36 min.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.	
Characteristics of fraction passing No. 40								
Liquid limit			40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	41 min.	
Plasticity index			10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	11 min.	
Usual types of significant constituent materials				Silty soils		Clayey soils		
General subgrade rating	Fair to poor							
^a For A-7-5, $PI \leq LL - 30$								
^b For A-7-6, $PI > LL - 30$								

(Sumber : Braja M Das, Principles of Foundation Engineering, 2011)

Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria sebagai berikut:

1. Ukuran butiran

Kerikil adalah bagian tanah yang lolos ayakan diameter 75 mm dan tertahan pada ayakan no. 10. Pasir adalah tanah yang lolos ayakan no.10 (2 mm) dan tertahan ayakan no. 200 (0.075 mm). Lanau dan lempung adalah yang lolos ayakan no. 200.

2. Plasitistas

Tanah berlanau mempunyai indeks plastis sebesar 10 atau kurang. Tanah berlempung bila indeks plastisnya 11 atau lebih.



3. Bila dalam contoh tanah yang akan diklasifikasikan terdapat batuan yang ukurannya lebih besar dari 75 mm, maka batuan tersebut harus dikeluarkan dahulu tetapi persentasenya tetap dicatat..

4. Sistem Klasifikasi Unified (USCS)

Sistem klasifikasi *Unified* pada mulanya diperkenalkan oleh Prof. Arthur Cassagrande pada tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang selama Perang Dunia II. Sistem ini disempurnakan oleh *United Bureau of Reclamation* pada tahun 1952.

Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu:

1. Berbutir Kasar (lebih dari 50% tertahan pada saringan no. 200)

Tanah berbutir kasar dibagi menjadi kerikil dan pasir. Tanah berbutir kasar dibagi menjadi kerikil (G=Gravel) dan pasir (S=Sand). Setiap grup dari bagian ini dibagi kembali menjadi empat golongan yaitu W (Well Graded), P (Poorly Graded), C (Clay), dan M (Silt, (untuk membedakan terhadap Sand maka digunakan notasi M)).

2. Berbutir Halus (kurang dari 50% tertahan pada saringan No. 200)

Golongan ini dibagi menjadi M (Silt), C (Clay), O (Organic), Pt (Peat). Untuk golongan M, C, O dibagi lagi menjadi beberapa golongan berdasarkan batas cairnya :

- Batas cair <50%, L (Low plasticity)
- Batas cair >50%, H (High plasticity)

Pada sistem klasifikasi *Unified* ini factor-factor yang perlu diperhatikan dalam pengklasifikasian antara lain:

1. Persentase butiran yang lolos ayakan No. 200
2. Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan No. 4.
3. Koefisien keseragaman (Cu) dan koefisien gradasi (cc).
4. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (IP)

Adapun prosedur klasifikasi USCS adalah sebagai berikut:

Menentukan gradasi tanah. Jika lebih dari 50% lolos saringan No. 200 maka tanah tergolong gradasi halus, jika sebaliknya lebih dari 50% tanah tertahan di saringan no. 200 maka tanah tergolong gradasi kasar



2. Untuk gradasi kasar, tentukan apakah tanah berjenis pasir atau kerikil. Jika lebih 50% dari fraksi kasar lolos saringan no. 4 maka tanah dikatakan pasir (*Sand* (S)). Jika kebalikannya, persen lolos ayakan no. 4 kurang dari 50%, maka tanah dikatakan kerikil (*Gravel* (G)).
- a. Tentukan apakah tanah mengandung lempung-lanau. Jika kurang dari 5% tanah lolos no. 200 dapat dikatakan tanah tidak mengandung lempung-lanau. Jika lebih dari 12% lolos saringan no. 200 itu adalah tanah berlempung-lanau. Jika 5-12% lolos no. 200 maka tanah tergolong dual klasifikasi.

- Kurang dari 5% lolos saringan no. 200

Hitung koefisien keseragamannya (c_u) dan koefisien kurva (c_c), dengan rumus:

$$c_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$c_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60}D_{10}}$$

Dengan:

D_{10} = Ukuran butir pada persen lolos 10%

D_{30} = Ukuran butir pada persen lolos 30%

D_{60} = Ukuran butir pada persen lolos 60%

Jika $c_u > 6$ dan $1 < c_c < 3$, maka tanah tergolong gradasi baik (*Well* (W)), jika tidak maka tanah tergolong gradasi buruk (*Poor* (P))

- Lebih dari 12 % lolos saringan no. 200

Plot nilai batas cair (LL) dan indeks plastis (PI) pada grafik dalam gambar 2.1. Jika titik berada di atas A-line ($PI > 0,73(LL - 20)$), maka tanah tergolong berlempung (*clayey* (C)), jika sebaliknya titik berada dibawah A-line maka tanah tergolong berlanau (*silty* (M))

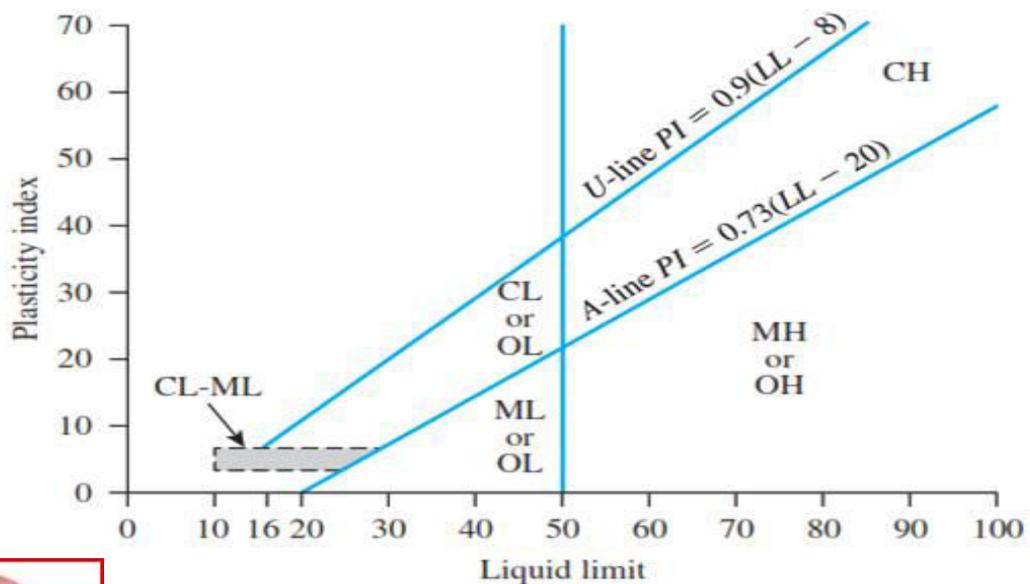
- Untuk dual klasifikasi, hitung c_c dan c_u serta plot nilai batas cair dan indeks plastis, sehingga merujuk 4 huruf dual klasifikasi. Untuk penulisannya dapat diperhatikan tabel 2.2.



Tabel 2.2 Klasifikasi USCS untuk Tanah Bergradasi Kasar

Coarse-Grained Soils						USCS Symbol	USCS Name		
% passing #200	% of C.F. passing #4	% passing #200							
<50%	>50%	0-5%	$c_u > 6$ and $1 < c_c < 3$?		yes	SW	Well-graded sand		
					no	SP	Poorly-graded sand		
		Dual classification					SP-SM	Poorly-graded sand with silt	
							SP-SC	Poorly-graded sand with clay	
							SW-SM	Well-graded sand with silt	
							SW-SC	Well-graded sand with clay	
	12-50%		$PI > 0.73(LL-20)\%$?		yes	SC	Clayey sand		
					no	SM	Silty sand		
	<50%	<50%	0-5%	$c_u > 4$ and $1 < c_c < 3$?		yes	GW	Well-graded gravel	
						no	GP	Poorly-graded gravel	
			Dual classification					GP-GM	Poorly-graded gravel with silt
								GP-GC	Poorly-graded gravel with clay
						GW-GM	Well-graded gravel with silt		
						GW-GC	Well-graded gravel with clay		
12-50%		$PI > 0.73(LL-20)\%$?		yes	GC	Clayey gravel			
				no	GM	Silty gravel			

3. Untuk gradasi halus, plot nilai *liquid limit* (LL) dan *plasticity index* (PI) pada grafik dalam gambar 2.1 dibawah.



Gambar 2.1 Sistem Klasifikasi Tanah Menurut USCS

(Sumber: Braja M. Das (1995))



Untuk penggolongannya dapat diperhatikan dalam tabel 2.3 sebagai berikut

Tabel 2.3 Klasifikasi USCS untuk Tanah Bergradasi Halus

Fine-Grained Soils				
% passing #200?	LL > 50%?	PI > 0.73(LL-20)%?	USGS Symbol	USCS Name
>50%	yes	yes	CH	Fat clay
		no	MH	Elastic silt
	no	yes	CL	Lean clay
		no	ML	Lean silt

B. Karakteristik Tanah Lempung Lunak

Tanah lempung lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari tanah yang sebagian terbesar terdiri dari butir-butir yang sangat kecil seperti lempung atau lanau. Sifat lapisan tanah lempung lunak adalah gaya gesernya yang kecil, kemampuan yang besar, koefisien permeabilitas yang kecil dan mempunyai daya dukung rendah dibandingkan tanah lempung lainnya. Tanah-tanah lempung lunak secara umum mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Kuat geser tanah yang rendah.
2. Berkurang kuat geser apabila kadar air bertambah.
3. Berkurang kuat geser apabila struktur tanahnya terganggu.
4. Bila basah, bersifat plastis dan mudah mampat.
5. Menyusut bila kering dan mengembang bila basah
6. Kompresibilitasnya besar.
7. Berubah volumenya dengan bertambahnya waktu akibat rangkakan pada beban yang konstan.
8. Merupakan material kedap air.

Daerah dengan lempung lunak banyak dijumpai didaerah dataran rendah dan disekitar pantai terutama dimuara sungai-sungai besar sebagai tanah endapan alluvial atau delta seperti yang terlihat pada gambar 2.2. Adapun detail lokasi sebaran tanah lempung lunak di Indonesia adalah sebagai berikut:

1. Pantai Sumatera sebelah timur, disekitar muara sungai Sigli, muara sungai Kuala Tanjung, muara sungai Belawan. Dibagian tengah Sumatera, disekitar Dumai, sungai Pakning, sungai Kampaar, sungai Batanghari kodya Pekanbaru. Sumatera selatan di daerah sungai Musi,



wilayah sekitar Palembang. Sebagian barat Sumatera, misalnya disekitar kota Meulaboh, kota Tapak Tuan, kota Sibolga, Air Bangis.

2. Dihampir seluruh pantai utara pulau Jawa misalnya, sekitar daerah Jakarta Utara atau Tanjung Priok, daerah Muara Angke dan Muara Karang
 3. Kalimantan misalnya disekitar daerah kodya Pontianak, Ketapang, Sebamban, Pulo Laut, Tarakan.
 4. Sulawesi misalnya daerah Maros, Watampone, Malili, Poso, Kolonadale, Luwuk.
 5. Irian jaya misalnya Sorong, Biak, daerah Serui, Kaimana, Nabire, Ewer.
- Jika diplot kedalam peta Indonesia maka



Gambar 2.2 Daerah Penyebaran Tanah Lunak di Indonesia

Menurut Terzaghi (1967) tanah lempung kohesif diklasifikasikan sebagai tanah lempung lunak apabila mempunyai daya dukung ultimit lebih kecil dari 0,5 kg/cm² dan nilai standard penetrasi tes lebih kecil dari 4 (N-value < 4). Berdasarkan uji lapangan, lempung lunak secara fisik dapat diremas dengan mudah oleh jari-jari tangan. Toha (1989) menguraikan sifat umum lempung lunak seperti dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Sifat-Sifat Umum Lempung Lunak

No.	Parameter	Nilai
1	Kadar Air	80-100%
2	Batas Cair	80-100%



3	Batas Plastis	30-45%
4	Persentase Lolos Saringan No. 200	>90%
5	Kuat Geser	20-40 kN/m²

(Sumber : Toha, 1989)

C. Metode Perbaikan Tanah

Dalam pengertian luas, stabilitas tanah ialah pencampuran tanah dengan bahan tertentu, guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat tertentu. Proses stabilitas tanah meliputi pencampuran tanah dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi yang diinginkan, atau pencampuran tanah dengan bahan-bahan buatan pabrik sehingga sifat-sifat teknis menjadi lebih baik. Menurut Joseph E Bowles (1984), stabilisasi merupakan salah satu tindakan berikut :

1. Menambah kerapatan tanah
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan atau tahanan geser
3. Menambah material untuk menyebabkan perubahan kimiawi dan fisis material tanah
4. Menurunkan muka air
5. Mengganti tanah yang buruk

Adapun pekerjaan yang dapat dilakukan untuk mendukung tindakan-tindakan di atas tersebut, yaitu sebagai berikut:

1. Mekanis, pemadatan dengan berbagai jenis peralatan mekanis seperi mesin gilas (*roller*), benda-benda berat yang dijatuhkan, eksplosif, tekanan statis, pembekuan, pemanasan dan lainnya.
2. Pencampuran, menambahkan kerikil pada tanah kohesif, menambahkan lempung pada tanah berbutir kasar, mencampur bahan kimia seperti semen Portland, gamping, abu batubara, klorida, limbah pabrik-pabrik kenas, dan lainnya.
3. Suntikan (*grouting*), suatu injeksi dari campuran kerual (larutan).

Bahan tambah, hasil olahan pabrik yang bila ditambahkan ke dalam tanah dengan perbandingan yang tepat akan memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, seperti kekuatan, tekstur, kemudahan dikerjakan



(*workability*) dan plastisitas. Stabilisasi dengan bahan tambah juga sering disebut stabilisasi kimiawi yang bertujuan untuk memperbaiki sifat teknis tanah dengan mencampur tanah dengan menggunakan bahan tambah dengan perbandingan tertentu.

D. Stabilisasi Tanah Media Bakteri *Bacillus Subtilis*

1. Klasifikasi *Bacillus Subtilis*

Kingdom : *Procaryorae*
Divisi : *Firmicutes*
Kelas : *Schizomycetes*
Bangsa (Ordo) : *Eubacteriales*
Suku (Familia) : *Bacillaceae*
Marga (Genus) : *Bacillus*
Jenis (Specsies) : *Bacillus Subtilis*

2. Sifat dan Morfologi

Bacillus Subtilis merupakan bakieri berbentuk barang berukuran 0.5-2,5 x 1,2-10 mikron, tersusun dalam sepasang atau bentuk rantai, dimana silika meliputi seluruh permukaan sel. Dalam kondisi kritis mampu membentuk spora. Dapat tumbuh pada suhu maksimum 25-75°C. Dapat ditemukan di udara, air, tanah, bulu binatang atau bangkai, pH optimum tumbuh 5,5-8,5 (Buchanan dan Gibbons 1975). Selanjutnya Brock et al. (1994) mengatakan bahwa *Bacillus* mampu memproduksi enzim hydrolytic untuk memecah polisakarida, asam nuklea dan lemak yang memungkinkan organisme menggunakannya sebagai sumber karbon dan elekron. Selain itu bakteri genus *Bacillus* juga mengandung enzim protease, lipase, amilase, dan selulose.

Menurut Rao (1994), bakteri genus *Bacillus* termasuk bakteri pengurai dan mampu memanfaatkan komponen bahan organik yang berbeda-beda seperti selulosa, hemiseiulosa, tepung, pectin, khitin, protein dan asam nukleat.

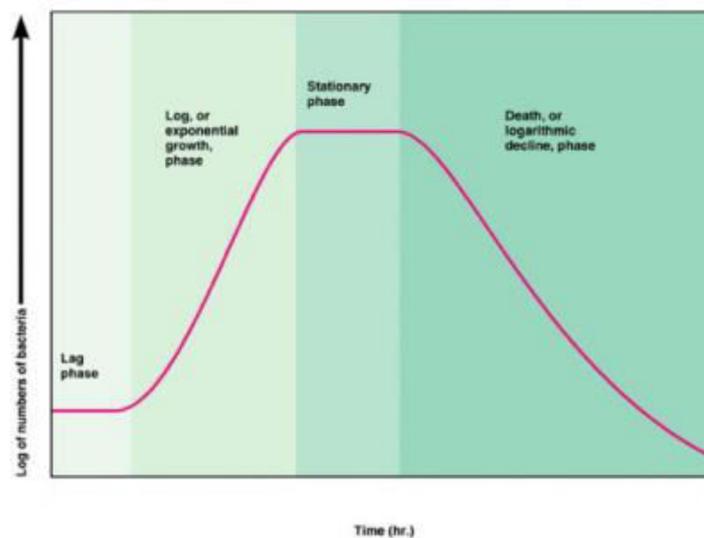
ya dijelaskan bahwa *Bacillus* termasuk bakteri denitrifikasi, juga bakteri amonifikasi (Hanafi dkk, 1995) mampu mengurai penumpukan nitrogen. Berdasarkan hasil Laboratorium Mikro oleh Sri pada Juli



2003, karakteristik biokimia *bacillus subtilis* menunjukkan bahwa ini mampu mengurai bahan organik dan mampu memproduksi enzim uerase.

3. Kurva Pertumbuhan Mikroorganisme

Apabila sejumlah sel mikroba (contoh: Bakteri) ditanam kedalam suatu medium baru, maka sel-sel bakteri tersebut tidak akan segera membelah diri. Bila pada waktu-waktu tertentu jumlah populasi bakteri tersebut dihitung dan hasilnya diplot dalam grafik hubungan antara jumlah sel dengan waktu generasi (waktu yang dibutuhkan sampai populasi selnya menjadi dua kali lipat), lazimnya jumlah populasi selnya dinyatakan dalam logaritma jumlah. Dari profil garis grafik penumbuhan set bakteri tersebut, dapat dikenal fase-fase pertumbuhan populasi sel bakteri tersebut (gambar 2.3)



Gambar 2.3 Fase-Fase Pertumbuhan Sel Bakteri

(Sumber : Imelda Vera, 2014)

Kurva yang menunjukkan logaritma dari kerapatan populasi sel. Titik vertikal menunjukkan batas-batas setiap fase penumbuhan:

1. Fase Permulaan

Dikenal pula dengan initial phase atau lag phase atau laten phase. Dalam fase ini bakteri belum mengadakan perbanyakan sel, bahkan sebagian sel bakteri mati, hingga hanya sel yang kuat saja yang bertahan hidup. Ukuran sel membesar yang disebabkan oleh adanya



pemasukan air imbibisi kedalam sel. Secara teoritis, keadaan laten atau lag dari populasi bakteri ini diakibatkan oleh pasokan metabolit yang tidak mencukupi, atau oleh tidak aktifnya suatu enzim hingga keseluruhan metabolisme terhambat. Ini disebabkan oleh keberadaan sel bakteri dalam lingkungan baru hingga sel harus menyesuaikan diri dalam lingkungan yang baru tersebut.

Disamping itu, secara khusus ada dua peristiwa lain yang memungkinkan terjadinya fase ini, yaitu:

- a. Fase lag yang terjadi karena pembentukan enzim induktif.
- b. Fase lag yang terjadi karena germinasi spora.

2. Fase Pertumbuhan yang Dipercepat (*Accelerated Growth Phase*)

Selama fase ini, sel bakteri belum memperbanyak diri. Kecepatan penumbuhannya makin lama makin meningkat. Bila kecepatan pertumbuhan diberikan dalam term waktu generasi (*doubling time*, t_d , yaitu waktu yang dibutuhkan populasi sel untuk melipatgandakan jumlahnya menjadi dua kali lipat, maka waktu generasinya makin lama makin pendek). Sedangkan kecepatan penumbuhannya dinyatakan dalam kecepatan tumbuh spesifik (*specific growth rate*, μ = maka kecepatan tumbuhnya makin lama makin x dt tinggi). Secara individual, makin lama ukuran sel makin mendekati maksimum. Ini disebabkan oleh adanya pemasukan air imbibisi dan adanya permulaan aktivitas metabolisme.

3. Fase Penumbuhan Logaritma (*Logarithm Phase* atau *Exponential Phase*)

Selama fase ini kecepatan pertumbuhan populasi sel berjalan maksimum dan konstan, sangat tepat bila digambarkan dengan term logaritma, apabila kecepatan pertumbuhannya dinyatakan dengan kecepatan penumbuhan spesifik. μ seperti dinyatakan diatas. Nilai μ sangat tergantung pada spesies dan strain mikroba, serta kondisi lingkungan kultur mikroba tersebut. Dalam kondisi kultur yang optimum, sel mikroba mengalami kecepatan reaksi metabolisme yang maksimum. Ditinjau dari sel bakteri secara individual, ukuran sel justru ada pada



ukuran yang minimum, dengan ketebalan dinding sel yang minimum. Ini disebabkan oleh sangat aktifnya sel membelah diri. hingga sintesis makromolekul dari komponen sel pun berlomba dengan waktu.

Bila populasi sel yang sedang mengalami fase ini dipindahkan ke dalam medium baru dengan komposisi nutrisi yang sama dengan kondisi lingkungan yang juga sama., maka di dalam medium baru populasi sel ini akan langsung mengalami fase logaritma. Jadi tidak mengawali pertumbuhan dengan fase permulaan dan fase pertumbuhan dipercepat.

4. Fase Pertumbuhan Mulai Terhambat (*Phase of Negative Accelerated Growth*)

Dimulai dari awal fase ini, kecepatan pertumbuhan, makin lama makin menurun. Penghambatan pertumbuhan dapat diakibatkan oleh berbagai sebab dalam banyak hal, penurunan kecepatan pertumbuhan ini diakibatkan oleh kehabisan nutrisi. Tetapi sering terjadi walaupun pasokan nutrisi diberikan dengan cukup, penurunan kecepatan pertumbuhan tetap berjalan. Umumnya ini disebabkan oleh akumulasi substansi toksik hasil metabolisme sel, yang menghambat dapat menghambat pertumbuhan sel. Substansi ini memungkinkan pula menyebabkan tekanan terhadap kerja sistem sintesis enzim, yang mengakibatkan terhentinya transkripsi kode genetik dari gen tertentu hingga pembentukan enzim baru terhenti sama sekali. Selanjutnya perubahan kondisi lingkungan, seperti perubahan pH yang tajam sebagai akibat metabolisme sel, dapat mengakibatkan penghambatan terhadap pertumbuhan sel.

5. Fase Stasioner atau Fase Konstan

Karena adanya penurunan kadar nutrisi dan adanya penimbunan zat-zat yang bersifat racun, maka kecepatan pertumbuhan dan perbanyakan mikroorganisme akan terhambat. Selain daripada itu juga jumlah mikroorganisme yang mati semakin meningkat, sehingga jumlah mikroorganisme yang mati sama dengan yang hidup. Panjang pendek



fase stasioner ini sangat tergantung pada kepekaan mikroorganisme dalam menghadapi faktor-faktor pertumbuhan serta perubahan-perubahan yang berlangsung dalam mediumnya. Semakin peka bakteri itu, semakin pendek pula fase stasionernya.

6. Fase Kematian Dipercepat dan Fase Kematian Logaritma

Kedua fase ini biasanya dijadikan satu menjadi fase yang menurun (*phase of decline*). Selama fase ini jumlah sel yang hidup makin lama makin menurun, sedangkan jumlah kematian sel makin banyak. Kematian ini disebabkan oleh kondisi lingkungan yang memburuk, terutama sekali oleh makin banyaknya akumulasi hasil metabolisme yang toksik terhadap sel. Lamanya fase ini tergantung pada kondisi lingkungannya sendiri (M. Natsir Djide dan Sartini. 2012).

4. Pengaruh Bakteri *Bacillus Subtilis* pada Tanah Lempung

Bakteri urease akan mengkatalisis urea sehingga melepas ion karbonat, yang selanjutnya akan terikat dengan ion kalsium dari CaCl_2 dan mempresipitaskan Kalsium Karbonat/Kalsit (CaCO_3). Kalsit inilah yang mengikat partikel tanah satu sama lain. Sehingga presipitasi kalsium karbonat merupakan proses yang utama dalam teknik biogrouting. Teknik tersebut bekerja pada tingkat pori-pori yaitu memperbaiki kondisi tanah dengan meningkatkan kekuatan dan kekakuan (*stiffness*) serta sedikit mempengaruhi permeabilitas. Berikut reaksi / proses yang terjadi saat presipitasi kalsium karbonat oleh bakteri pada tanah.



Peran bakteri dalam menstabilkan tanah tersebut pada saat proses presipitasi kalsium karbonat, beberapa penelitian (Gusmawati, N.F dkk. 2009) menyebutkan bahwa presipitasi kalsium karbonat oleh bakteri diakibatkan oleh adanya aktivasi sel bakteri, ion Ca_2^+ dari senyawa CaCl_2 yang ditarik oleh bakteri dari lingkungan dan terdepositkan pada permukaan sel, dan enzim urease mengambil urea ke dalam bakteri yang mendekomposisinya dengan enzim urease menjadi amoniak (NH_3) dan karbon dioksida (CO_2). Suatu investigasi terhadap kinetika



telah mengindikasikan bahwa presipitasi kalsit merupakan fungsi dari konsentrasi sel, kekuatan ionik dan pH media (Lappin-Scott 1998 dan Deo 1997). Mikroorganisme menarik kation termasuk ion Ca_2^+ dari lingkungan dan terdepositkan pada permukaan sel.

E. Daya Dukung Pondasi dan Modulus Reaksi Tanah Dasar

Pondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang berfungsi untuk menempatkan bangunan dan meneruskan beban yang disalurkan dari struktur atas ke tanah dasar pondasi yang cukup kuat menahannya tanpa terjadinya differential settlement pada sistem strukturnya.

Dalam perencanaan pondasi untuk suatu struktur dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi. Pemilihan pondasi berdasarkan fungsi bangunan atas (*upper structure*) yang akan dipikul oleh pondasi tersebut, besarnya beban dan beratnya bangunan atas, keadaan tanah dimana bangunan tersebut didirikan dan berdasarkan tinjauan dari segi ekonomi.

Semua konstruksi yang direncanakan, keberadaan pondasi sangat penting mengingat pondasi merupakan bagian terbawah dari bangunan yang berfungsi mendukung bangunan serta seluruh beban bangunan tersebut dan meneruskan beban bangunan itu, baik beban mati, beban hidup dan beban gempa ke tanah atau batuan yang berada dibawahnya. Bentuk pondasi tergantung dari macam 7 bangunan yang akan dibangun dan keadaan tanah tempat pondasi tersebut akan diletakkan, biasanya pondasi diletakkan pada tanah yang keras.

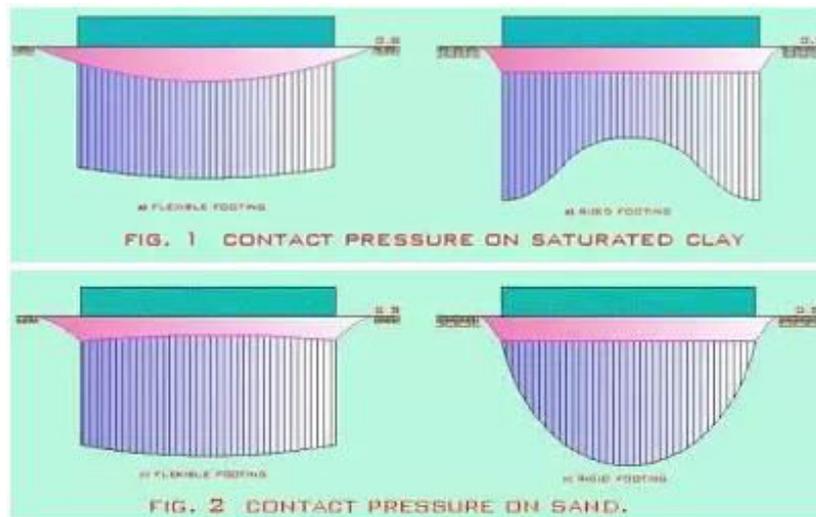
Pemilihan jenis struktur bawah (*sub-structure*) yaitu pondasi, menurut Suyono (1984) harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

- Keadaan tanah pondasi Keadaan tanah pondasi kaitannya adalah dalam pemilihan tipe pondasi yang sesuai. Hal tersebut meliputi jenis tanah, daya dukung tanah, kedalaman lapisan tanah keras dan sebagainya.
- Batasan-batasan akibat struktur di atasnya Keadaan struktur atas akan sangat mempengaruhi pemilihan tipe pondasi. Hal ini meliputi kondisi beban (besar beban, arah beban dan penyebaran beban) dan sifat dinamis bangunan di atasnya (statis tertentu atau tak tentu, kekakuannya, dll.)



- Batasan-batasan keadaan lingkungan di sekitarnya Yang termasuk dalam batasan ini adalah kondisi lokasi proyek, dimana perlu diingat bahwa pekerjaan pondasi tidak boleh mengganggu ataupun membahayakan bangunan dan lingkungan yang telah ada di sekitarnya.
- Biaya dan waktu pelaksanaan pekerjaan Sebuah proyek pembangunan akan sangat memperhatikan aspek waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan, karena hal ini sangat erat hubungannya dengan tujuan pencapaian kondisi yang ekonomis dalam pembangunan.

Dalam perencanaan pondasi, pondasi dapat diasumsikan dalam dua kondisi, yaitu kaku dan elastis. Secara umum perbedaan antara keduanya terletak pada penurunan yang ditunjukkan dengan warna merah muda dan *contact pressure* dengan garis vertikal pada gambar 2.4. Pondasi kaku memiliki distribusi penurunan yang seragam tetapi memiliki tekanan permukaan yang beragam tergantung pada tanah dasarnya, sedangkan pondasi elastis memiliki tekanan permukaan yang relatif sama, namun memiliki distribusi penurunan yang beragam tergantung pada tanah dasarnya.



Gambar 2.4 Perbandingan Pondasi Kaku dan Lentur pada pasir dan Lempung

Menurut Terzhagi, estimasi *contact pressure* yang tepat, dapat menjadi sangat tidak praktis, sehingga diasumsikan *contact pressure* konstan pada seluruh an pondasi.

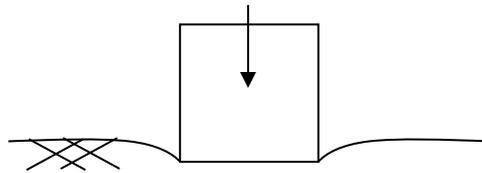


1. Daya Dukung Pondasi

Daya dukung tanah didefinisikan sebagai kekuatan maksimum tanah menahan tekanan dengan baik tanpa menyebabkan terjadinya failure. Sedangkan failure pada tanah adalah penurunan (*settlement*) yang berlebihan atau ketidakmampuan tanah melawan gaya geser dan untuk meneruskan beban pada tanah. (Bowles J.E, 1992)

Untuk mempelajari perilaku tanah pada saat permulaan sampai mencapai keruntuhan dilakukan tinjauan terhadap pondasi pada kedalaman dasar pondasi yang tidak lebih dari lebar pondasinya dengan penambahan beban secara berangsur-angsur. Fase keruntuhan tanah dapat dibagi menjadi 3, yaitu:

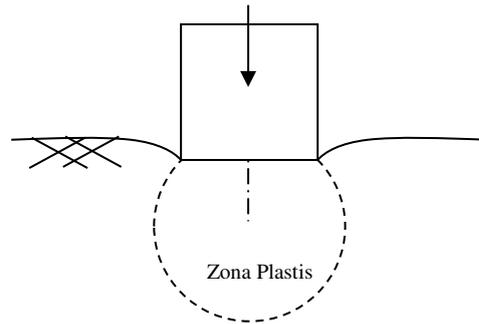
1. Awal pembebanan tanah dibawah pondasi turun, terjadi deformasi lateral dan vertikal ke bawah. Penurunan yang terjadi sebanding dengan besarnya beban tanah dalam kondisi keseimbangan elastis. Massa tanah di bawah pondasi mengalami kompresi mengakibatkan kuat geser tanah naik, sehingga daya dukung bertambah (Gambar 2.5).



Gambar 2.5 Kondisi Keseimbangan Elastis

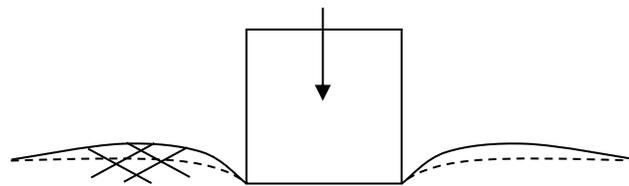
2. Pada penambahan beban selanjutnya, penurunan tanah terbentuk tepat di dasar pondasi dan deformasi plastis tanah menjadi dominan. Gerakan tanah pada kedudukan plastis dimulai dari tepi pondasi, dengan bertambah beban zona plastis berkembang, kuat geser tanah berkembang. Gerakan tanah ke arah lateral semakin besar, sehingga terjadi retakan lokal dan geseran tanah di sekeliling tepi pondasi (Gambar 2.6).





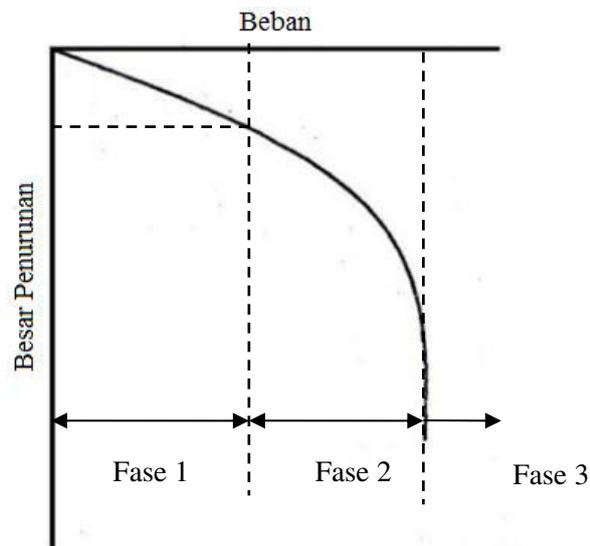
Gambar 2.6 Terbentuk Zona Plastis di bawah Pondasi

3. Fase ini dikarakteristikan oleh kecepatan deformasi yang semakin bertambah sejalan dengan penambahan beban yang diikuti oleh gerakan tanah ke arah luar sehingga permukaan tanah menggelembung, sehingga tanah mengalami keruntuhan (Gambar 2.7).



Gambar 2.7 Terjadi Pengelembungan Tanah di Sekitar Pondasi

Dari seluruh tahap penurunan tanah dapat disimpulkan menjadi grafik, seperti pada gambar 2.8 berikut:



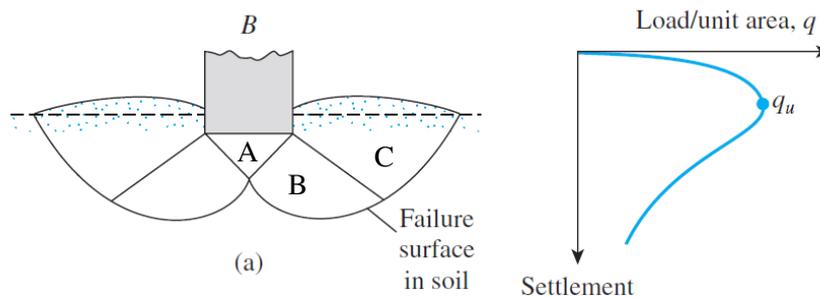
Gambar 2.8 Tahap-tahap Keruntuhan pada Tanah Pondasi



Berdasarkan pengujian model Vesic (1963) membagi mekanisme keruntuhan pondasi menjadi 3 macam:

- Keruntuhan Geser Umum (*General Shear Failure*)

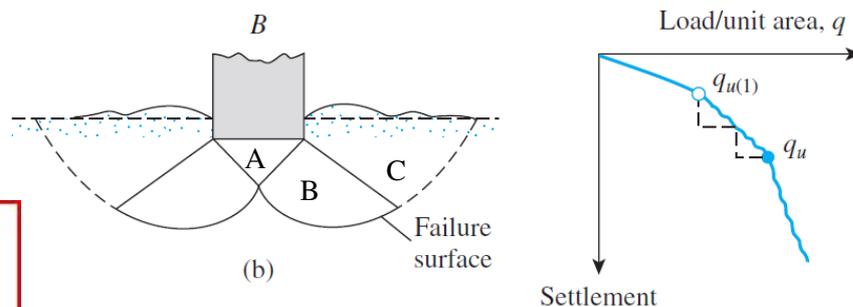
Keruntuhan yang terjadi pada tanah yang tidak mudah mampat, yang mempunyai kekuatan geser tertentu atau dalam keadaan terendam. Suatu baji tanah terbentuk tepat pada dasar pondasi (zona A) yang menekan ke bawah hingga aliran tanah secara plastis pada zona B. Gerakan ke arah luar ditahan oleh tahanan pasif di zona C. Saat tahanan pasif terlampaui terjadi pengembangan dipermukaan. Keruntuhan secara mendadak yang diikuti oleh penggulingan pondasi.



Gambar 2.9 Keruntuhan Geser Umum

- Keruntuhan Geser Lokal (*Local Shear Failure*)

Pola keruntuhan terjadi pada tanah yang mudah mampat atau tanah yang lunak. Bidang gelincir tidak mencapai permukaan tanah tetapi berhenti di suatu tempat. Pondasi tenggelam akibat bertambahnya beban pada kedalaman yang relatif dalam sehingga tanah yang didekatnya mampat. Terdapat sedikit pengembangan tanah, tetapi tidak terjadi penggulingan pondasi. Dari grafik terlihat bahwa dengan penggulingan pondasi.



Gambar 2.10 Keruntuhan Geser Lokal

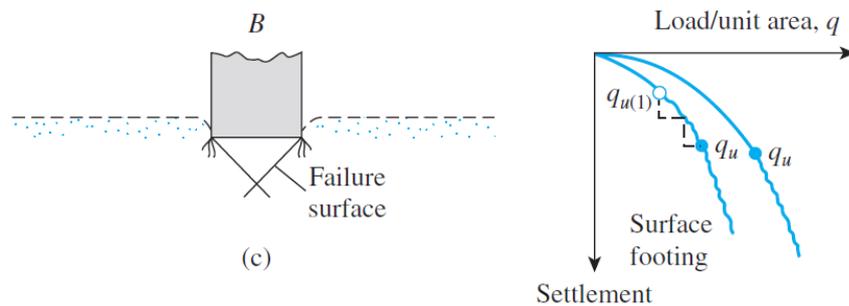


- Keruntuhan Geser Penetrasi (*Punching Shear Failure*)

Penggembungan permukaan tanah tidak terjadi, akibat pembebanan pondasi bergerak ke bawah arah vertikal dengan cepat dan menekan tanah kesamping sehingga terjadi pemampatan tanah dekat pondasi. Penurunan bertambah secara linier dengan penambahan beban. Penurunan yang terjadi tidak cukup memberikan gerakan ke arah lateral yang menuju kedudukan kritis tanah. Kuat geser ultimit tidak tercapai dan tidak nampak diang runtuh sama sekali. Umumnya terjadi pada lapisan tanah yang mempunyai ciri sebagai berikut:

- Lapisan pasir yang sangat lunak
- Lapisan tanah yang mudah mampat
- Lapisan pasir yang berada di atas tanah lunak
- Lapisan tanah lunak yang mendapat pembebanan perlahan dan memungkinkan terjadi kondisi drainase

Pola keruntuhan ini juga terjadi bila kedalaman pondasi (D_f) sangat besar jika dibandingkan dengan lebarnya (B).



Gambar 2.11 Keruntuhan Geser Penetrasi

2. Modulus Reaksi Tanah Dasar (*Modulus of Subgrade Reaction*)

Kemungkinan nilai yang paling sering digunakan dalam laporan investigasi tanah adalah daya dukung. Alasan utamanya adalah penggunaannya yang sangat umum pada perhitungan perencanaan dimensi pondasi. Karena mudah digunakan metode ini dapat dikatakan sebagai dasar dalam mendesain

Namun, metode ini hanya berlaku jika pondasi bersifat kaku dan hanya dalam desain pondasi kolom tunggal dan berskala kecil. Untuk an pondasi dengan skala besar dan memiliki kolom lebih dari satu,



digunakan analisa fleksibel. Analisa fleksibel sangat rumit sehingga diperlukan bantuan program komputer dalam pelaksanaannya, seperti STAAD, SAFE, GT STRUDL, dan sebagainya. Dalam perhitungan dengan analisa fleksibel diperlukan parameter tanah yang disebut Modulus Reaksi Tanah Dasar (*Modulus of Subgrade Reaction*) umumnya dituliskan dengan simbol “ k_s ” dalam satuan kN/m^3 .

Untuk menentukan nilai k_s , dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$k_s = 1,13 \frac{E}{(1-\nu^2)\sqrt{A}}$$

dengan:

k_s = *Modulus of subgrade reaction* (kN/m^3)

E = Modulus elastisitas tanah (kN/m^2)

ν = *poisson ratio*

A = Luas penampang penekan hidrolik (m^2)

(Elsa E, 2012)

Modulus elastisitas adalah besaran yang menggambarkan tingkat elastisitas bahan. Modulus elastisitas dapat ditentukan berdasarkan, rumus yang ditemukan Thomas Young pada abad 19, yang dituliskan sebagai berikut:

$$E = \frac{FL}{A\Delta x}$$

dengan:

E = Modulus Elastisitas tanah (kN/m^2)

F = gaya penekan hidrolik (kN)

L = tebal tanah sampel uji (m)

A = luas alas penekan hidrolik (m^2)

Δx = besar penurunan (m)

Selain rumus tersebut, terdapat beberapa pendekatan lain dalam menentukan nilai k_s , antara lain dapat dilihat dalam tabel 2.5.

Tabel 2.5 Beberapa formula untuk menentukan modulus reaksi tanah dasar, k_s



No.	Investigator	year	Suggested formula
1	Winkler	(1867)	$k_s = \frac{q}{\delta}$
2	Biot	(1937)	$k_s = \frac{0.95E_s}{B(1-\nu_s^2)} \left[\frac{B^*E_s}{(1-\nu_s^2)EI} \right]^{-0.108}$
3	Terzaghi	(1955)	$k_{sf} = k_{sp} \left(\frac{B+B_1}{2B} \right)$
4	Vesic	(1961)	$k_s = \frac{0.65E_s}{B(1-\nu_s^2)} \sqrt{\frac{E_s B^*}{EI}}$
5	Meyerhof and Baike	(1965)	$k_s = \frac{E_s}{B(1-\nu_s^2)}$
6	Selvadurai	(1984)	$k_s = \frac{0.65}{B} \cdot \frac{E_s}{(1-\nu_s^2)}$
7	Bowles	(1998)	$k_s = \frac{E_s}{B_1(1-\nu_s^2)mI_f}$

(Sumber : Wael N. Abd Elsamee, 2013)

Braja M. Das (2011), memberikan rentang nilai modulus reaksi tanah dasar yang dapat diperhatikan pada tabel 2.6.

Tabel 2.6 Jenis - jenis tanah berdasarkan nilai modulus reaksi tanah dasar, k_s

Jenis Tanah	k_s (MN/m ³)
Pasir (kering/kering permukaan):	
Renggang	8 - 25
Sedang	25 - 125
Padat	125 - 375
Pasir jenuh air:	
Renggang	10 - 15
Sedang	35 - 40
Padat	130 - 150
Lempung:	
Kaku	10 - 25
Sangat kaku	25 - 50
Keras	> 50

(Sumber : Braja M.Das, 2011)



penelitian terdahulu

Beberapa penelitian laboratorium tentang stabilisasi tanah lunak, serta penelitian tentang stabilisasi dengan mikroorganisme menjadi bahan acuan dan pertimbangan penelitian ini, yaitu :

1. Imelda Vera (2014)

Penelitian ini menggunakan sampel tanah organik dengan bahan stabilisasi bakteri *Bacillus Subtilis*. Penelitian ini mengacu pada pada hasil stabilisasi optimum dari mikroorganisme dengan variasi larutan dan waktu pemeraman. Bakteri *Bacillus Subtilis* diinjeksikan pada tanah organik dengan variasi 2 cc, 4 cc dan 6 cc. Tanah yang telah diinjeksikan mikroorganisme diperam selama 3 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Karakteristik mekanis yang ditinjau ialah sudut geser dan nilai kohesi yang berasal dari pengujian geser langsung. Hasil yang didapatkan terjadi peningkatan nilai kohesi sebesar 410% terhadap nilai sampel tanah asli serta terjadi peningkatan nilai sudut geser dalam sebesar 200% terhadap nilai sudut geser dalam tanah asli.

2. Wael N. Abd Elsamee (2013)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kedalaman, ukuran dan bentuk pondasi terhadap modulus reaksi tanah dasar (k_s) pada tanah yang tidak memiliki kohesi (pasir) dengan metode *in-situ*. Dari penelitian ini didapatkan hasil nilai k_s akan bertambah seiring bertambahnya kedalaman pondasi, nilai k_s terbesar didapatkan pada pondasi berbentuk persegi panjang.

3. Aulia Rahmawati (2014)

Dalam penelitiannya membandingkan nilai modulus reaksi tanah dasar berdasarkan hasil uji *California Bearing Ratio* dan *Plate Bearing Test*. Dari penelitian ini didapatkan hasil berdasarkan grafik hubungan CBR dan k_s , diperoleh nilai k_s pada satu titik saja. Namun nilai k_s berdasarkan grafik mendekati hasil uji beban pelat. Begitu pula dengan tebal perkerasan kakunya yang memiliki nilai yang sama dengan hasil uji beban pelat.

