

## **TUGAS AKHIR**

# **ANALISIS *LAND SUBSIDENCE* AKIBAT BEBAN TANAH TIMBUNAN PADA PEMBANGUNAN GEDUNG PESANTREN MAHASISWA UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG**

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



**Disusun Oleh :**

**Hanif Muhammad Ridho E.**

**NIM : 30201900100**

**Muhammad Arief Mardhotillah.**

**NIM : 30201900130**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

**2023**

## LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS *LAND SUBSIDENCE* AKIBAT BEBAN TANAH  
TIMBUNAN PADA PEMBANGUNAN GEDUNG PESANTREN  
MAHASISWA UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG



**Hanif Muhammad Ridho E.**

**NIM : 30201900100**



**Muhammad Arief Mardhotillah.**

**NIM : 30201900130**

Telah disetujui dan disahkan di Semarang,

Agustus 2023

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.**

NIDN : 0605016802

2. **Selvia Agustina, ST., M.Eng.**

NIDN : 0609099001

3. **Dr. Abdul Rochim, ST. MT.**

NIDN : 0610118101

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: 43 / A.2 / SA – T / III / 2023

Pada hari ini tanggal ..... berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.  
Jabatan Akademik : Lektor  
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Selvia Agustina, ST., M.Eng.  
Jabatan Akademik : Asisten Ahli  
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Hanif Muhammad Ridho E.  
NIM : 30201900100

Muhammad Arief Mardhotillah.  
NIM : 30201900130

**Judul : ANALISIS *LAND SUBSIDENCE* AKIBAT BEBAN TANAH TIMBUNAN PADA PEMBANGUNAN GEDUNG PESANTREN MAHASISWA UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG**

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	14/03/2023	
2	Seminar Proposal	26/05/2023	ACC
3	Pengumpulan data	31/05/2023	
4	Analisis data	10/06/2023	
5	Penyusunan laporan	03/07/2023	
6	Selesai laporan	04/08/2023	ACC

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

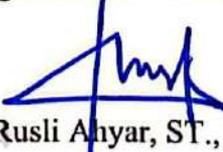
Dosen Pembimbing Utama

  
Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.

Dosen Pembimbing Pendamping

  
Selvia Agustina, ST., M.Eng.

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Sipil

  
Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Hanif Muhammad Ridho E.

NIM : 30201900100

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

**ANALISIS *LAND SUBSIDENCE* AKIBAT BEBAN TANAH  
TIMBUNAN PADA PEMBANGUNAN GEDUNG PESANTREN  
MAHASISWA UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG**

benar bebas 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, 3 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan



Hanif Muhammad Ridho E.

NIM : 30201900100

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Muhammad Arief Mardhotillah

NIM : 30201900130

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

### **ANALISIS *LAND SUBSIDENCE* AKIBAT BEBAN TANAH TIMBUNAN PADA PEMBANGUNAN GEDUNG PESANTREN MAHASISWA UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG**

benar bebas 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, 9 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan



Muhammad Arief Mardhotillah

NIM : 30201900130

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Hanif Muhammad Ridho E.  
NIM : 30201900100  
JUDUL TUGAS AKHIR : Analisis *Land Subsidence* Akibat Beban Tanah  
Timbunan Pada Pembangunan Gedung Pesantren  
Mahasiswa Universitas Islam Sultan Agung

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 ijazah 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, 9 Agustus 2023  
Yang membuat pernyataan,



Hanif Muhammad Ridho E.  
NIM : 30201900100

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Muh. Arief Mardhotillah  
NIM : 30201900130  
JUDUL TUGAS AKHIR : Analisis *Land Subsidence* Akibat Beban Tanah  
Timbunan Pada Pembangunan Gedung Pesantren  
Mahasiswa Universtas Islam Sultan

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 ijazah 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, 9 Agustus 2023  
Yang membuat pernyataan,

Muh. Arief Mardhotillah  
NIM : 30201900130

## MOTTO

مَنْ خَرَجَ فِي طَلَبِ الْعِلْمِ فَهُوَ فِي سَبِيلِ اللَّهِ

“Barang siapa keluar untuk mencari ilmu maka dia berada di jalan Allah “

(HR. Turmudzi)

يُحِبُّ اللَّهُ الْعَامِلَ إِذَا عَمِلَ أَنْ تُحْسِنَ. رواه الطز ان نى

“Allah mencintai pekerjaan yang apabila bekerja ia menyelesaikannya dengan baik”.

( HR. Thabrani )

مَنْ أَمْسَى كَأَلَا مِنْ غَمَلٍ يَدٍ وَأَمْسَى مَغْفُورًا لَهُ. رواه احمد

“Barang siapa merasa letih di malam hari karena berkerja, maka di malam itu ia diampuni”.

(H.R. Ahmad )

الصَّلَاةُ عِمَادُ الدِّينِ الصَّلَاةُ مِفْتَاحُ كُلِّ خَيْرٍ

( رواه الطبرانى )

“Shalat itu adalah tiang agama, shalat itu adalah kunci segala kebaikan”.

( H.R. Tablani)

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ  
أَمَّنْ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِمَّنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

“Kamu adalah umat yang terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang ma’ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka, di antara mereka ada yang beriman, dan kebanyakan mereka adalah orang-orang yang fasik.”

(Q.S Ali ‘Imran : 110)

## PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadirat Allah SWT, Tuhan pemilik jiwa dan alam semesta yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya. Sholawat serta salam selalu tucurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarganya, sahabatnya dan juga para pengikutnya. Tugas akhir ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua saya, Bapak saya Supriyadi dan Ibu saya Elok Susilaningsih, atas semua dukungan moral maupun material, kasih sayang, kesabaran dan do'a.
2. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng dan Ibu Selvia Agustina, ST., M.Eng yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
3. Seluruh dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terimakasih atas semua ilmunya yang sangat bermanfaat.
4. Keluarga saya, dan kakak – kakak saya yang telah *support* saya.
5. Sahabat sekaligus partner laporan tugas akhir saya Muh. Arief Mardhotillah, terimakasih atas waktu dan semangatnya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Semua teman-teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2019, terimakasih atas semua bantuan, perhatian dan semangatnya.
7. Semua teman-teman WWW dan kontrakan Barak Tempur, terimakasih atas semua bantuan, perhatian dan semangatnya.
8. *Last but not least*, terima kasih kepada diriku sendiri yang sudah mampu berjuang dan bertahan menyelesaikan kewajiban studi strata satu Teknik sipil.

Hanif Muhammad Ridho E.

NIM : 30201900100

## PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadirat Allah SWT, Tuhan pemilik jiwa dan alam semesta yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarganya, sahabatnya dan juga para pengikutnya. Tugas akhir ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua saya, Bapak saya Bambang Sugianto dan Ibu saya Nur Asiah, atas semua dukungan moral maupun material, kasih sayang, kesabaran dan do'a.
2. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng dan Ibu Selvia Agustina, ST., M.Eng yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
3. Seluruh dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terimakasih atas semua ilmunya yang sangat bermanfaat.
4. Keluarga saya adik saya yang telah mensupport saya.
5. Sahabat sekaligus partner laporan tugas akhir saya Hanif Muhammad Ridho E., terimakasih atas waktu dan semangatnya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Semua teman-teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2019, terimakasih atas semua bantuan, perhatian dan semangatnya.
7. Semua teman-teman WWW dan kontrakan Barak Tempur, terimakasih atas semua bantuan, perhatian dan semangatnya.
8. Alfitri Ratnasari (30202100025), terimakasih atas semua perhatian dan semangatnya.

Muh. Arief Mardhotiollah

NIM : 30201900130

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya laporan Tugas Akhir ini dapat terselasaikan dengan baik tentang “ANALISIS *LAND SUBSIDENCE* AKIBAT BEBAN TANAH TIMBUNAN PADA PEMBANGUNAN GEDUNG PESANTREN MAHASISWA UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG”, guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Sarjana Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Pada kesempatan ini, penulis hendak menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyusunan tugas akhir ini, yaitu:

1. Bapak M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
3. Ibu Selvia Agustina, ST., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
5. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya, semoga tugas akhir ini bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembacanya.

Semarang, Agustus 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
BERITA ACARA .....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	vi
MOTTO .....	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xv
ABSTRAK.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Maksud dan Tujuan.....	3
1.4. Manfaat Penelitian .....	3
1.5. Batasan Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Pengertian Tanah.....	5
2.1.1. Parameter Tanah .....	6
2.1.2. Klasifikasi Tanah .....	8
2.1.3. Konsistensi Tanah dan Nilai-SPT .....	9
2.1.4. Batasan Partikel Tanah.....	9
2.2. Penurunan Tanah ( <i>land subsidence</i> ) .....	9
2.2.1. <i>Land Subsidence</i> di Kawasan Kaligawe .....	12
2.3. Konsolidasi Tanah.....	13
2.3.1. Dasar Konsolidasi .....	15
2.3.2. Penurunan Segera.....	15
2.3.3. Konsolidasi dan Penurunan Konsolidasi.....	16
2.3.4. Laju Konsolidasi .....	17
2.3.5. Koefisien Konsolidasi .....	20

2.4. Penurunan Konsolidasi .....	21
2.4.1. Parameter Konsolidasi .....	21
2.4.2. Besar Penurunan Konsolidasi Primer.....	24
2.4.3. Waktu Konsolidasi .....	27
BAB III METODOLOGI.....	28
3.1. Pendahuluan .....	28
3.2. Tahapan Penelitian .....	28
3.2.1. Tahap Pengumpulan Data .....	28
3.2.2. Data Teknis Proyek.....	28
3.2.3. Analisis Data .....	30
3.2.4. Analisis Menggunakan <i>Software Plaxis</i> .....	30
3.3. Diagram Alir .....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	33
4.1. Parameter Penurunan Konsolidasi .....	33
4.2. Korelasi NSPT dengan Koefisien Permeabilitas ( $m_v$ ).....	33
4.2.1. Korelasi NSPT dengan Koefisien Konsolidasi ( $C_v$ ) .....	37
4.3. Penurunan Konsolidasi Primer .....	39
4.3.1. Perhitungan Penurunan Konsolidasi .....	42
4.3.2. Laju Penurunan Konsolidasi .....	43
4.4. Penurunan Tanah Menggunakan <i>Software PLAXIS 8.6</i> .....	44
4.5. Pembahasan.....	56
4.5.1. Perhitungan Penurunan .....	56
BAB V PENUTUP.....	58
5.1. Kesimpulan .....	58
5.2. Saran.....	58

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

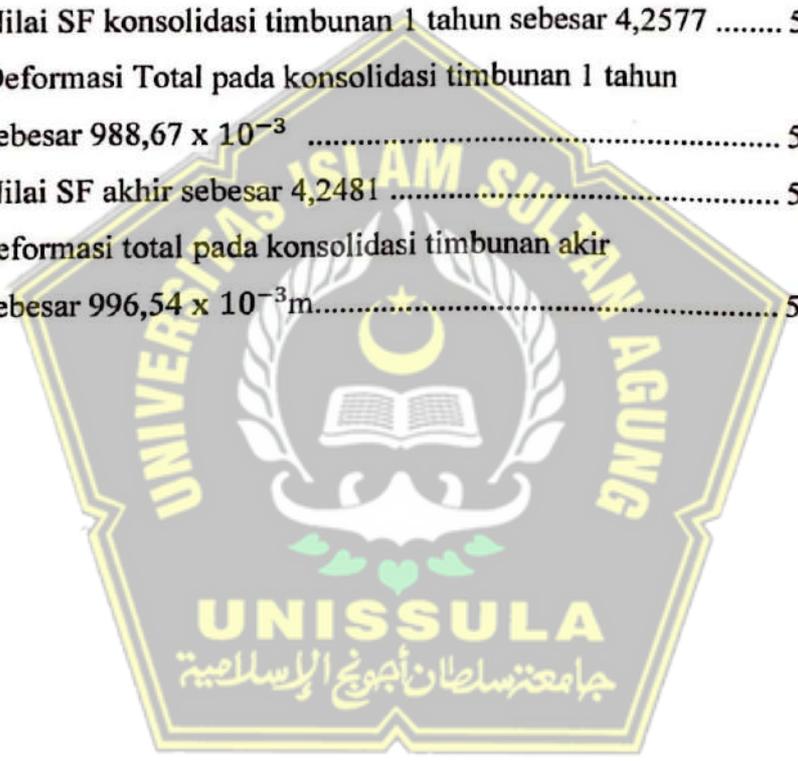
Tabel 2.1. Nilai Perkiraan <i>Modulus Young</i> .....	6
Tabel 2.2. Hubungan Antara Jenis Tanah dan <i>Poisson Ratio</i> .....	7
Tabel 2.3. Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dan Jenis Tanah .....	7
Tabel 2.4. Perbandingan Antara Sistem AASHTO dengan sistem USCS .....	8
Tabel 2.5. Konsistensi Tanah Berdasarkan Nilai NSPT .....	9
Tabel 2.6. Batasan – Batasan Golongan Tanah.....	9
Tabel 4.1. Hasil Korelasi NSPT dengan $M_v$ untuk Lempung Di Kota Semarang..	36
Tabel 4.2. Nilai $C_v$ pada Sembarang Nilai-SPT Tanah Lempung Di Semarang...	38
Tabel 4.3. Perhitungan Penurunan Konsolidasi .....	42
Tabel 4.4. Perhitungan Laju Konsolidasi .....	44
Tabel 4.5. Parameter Tanah dengan NSPT .....	44
Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Menggunakan Metode 1 D Terzaghi.....	56
Tabel 4.7. Hasil Perhitungan menggunakan <i>software PLAXIS V 8.6</i> .....	57



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Fase Penurunan Muka Tanah .....	10
Gambar 2.2. Fenomena <i>Land Subsidence</i> .....	13
Gambar 2.3. Peta <i>Land Subsidence</i> Kota Semarang Tahun 2007-2012 .....	13
Gambar 2.4. Konsolidasi Satu Matra .....	14
Gambar 2.5. Aliran Air Selama Proses Konsolidasi Berlangsung.....	18
Gambar 2.6. Diagram Fase Tanah .....	21
Gambar 2.7. Grafik Hubungan $e$ - $\log \delta'$ .....	23
Gambar 2.8. Grafik Konsolidasi $e$ - $\delta'$ .....	24
Gambar 2.9. Penurunan Akibat Konsolidasi 1 D (a) Kondisi di Lapangan, (b) Laboratorium.....	25
Gambar 3.1. Data Tanah .....	28
Gambar 3.2. Bor Log .....	28
Gambar 3.3. Diagram Alir Penelitian .....	32
Gambar 4.1. Grafik Hubungan $e$ - $\log \delta'$ .....	34
Gambar 4.2. Grafik Korelasi NSPT $m_v$ Lempung di Kota Semarang .....	35
Gambar 4.3. Hubungan NSPT dengan $c_v$ Pada Tanah Lempung untuk Kondisi $k_{min}$ .....	39
Gambar 4.4. Data Bor Log Pembangunan Pesantren Mahasiswa.....	41
Gambar 4.5. Pengaturan <i>Global – Project</i> .....	45
Gambar 4.6. Pengaturan <i>Global – Dimensi</i> .....	45
Gambar 4.7. Permodelan Kontur Tanah .....	46
Gambar 4.8. Kumpulan Data Material.....	46
Gambar 4.9. Data Umum .....	47
Gambar 4.10. <i>Mohr Coulomb</i> .....	47
Gambar 4.11. Dialog Muka Material Tanah .....	47
Gambar 4.12. Susunan Jaringan Elemen .....	48
Gambar 4.13. <i>Water Weight</i> .....	48
Gambar 4.14. Muka Air Tanah .....	49
Gambar 4.15. Tekanan Air Pori Aktif.....	49
Gambar 4.16. Prosedur K0.....	50
Gambar 4.17 Tegangan Efektif Tanah.....	50

Gambar 4.18. Nilai SF konsolidasi Timbunan 1 sebesar 9,5685 .....	51
Gambar 4.19. Deformasi Total pada konsolidasi timbunan sebesar $840,95 \times 10^{-3}$ m .....	51
Gambar 4.20. Nilai SF konsolidasi Timbunan 2 sebesar 6,0122 .....	52
Gambar 4.21. Deformasi Total pada konsolidasi timbunan 2 sebesar $941,98 \times 10^{-3}$ m .....	52
Gambar 4.22. Nilai SF konsolidasi timbunan 3 sebesar 4,2577 .....	53
Gambar 4.23. Deformasi Total pada konsolidasi timbunan 3 sebesar $988,67 \times 10^{-3}$ m.....	53
Gambar 4.24. Nilai SF konsolidasi timbunan 1 tahun sebesar 4,2577 .....	54
Gambar 4.25. Deformasi Total pada konsolidasi timbunan 1 tahun sebesar $988,67 \times 10^{-3}$ .....	54
Gambar 4.26. Nilai SF akhir sebesar 4,2481 .....	55
Gambar 4.27 Deformasi total pada konsolidasi timbunan akhir sebesar $996,54 \times 10^{-3}$ m.....	55



## Abstrak

Dampak negatif akibat penurunan tanah di Kota Semarang telah dirasakan oleh masyarakat selama bertahun-tahun. Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk mengetahui besar penurunan tanah dan laju penurunan tanah pada Gedung Pesantren Mahasiswa Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang dipengaruhi oleh beban tanah timbunan.

Dalam penelitian ini metode yang digunakan yaitu, prngumpulan data atau tinjauan Pustaka untuk mengetahui informasi terkait dengan penelitian ini. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data tanah gedung pesantren mahasiswa UNISSULA Semarang yang meliputi data *bor log* dan data uji laboratorium pada tanah di area pesantren mahasiswa UNISSULA. Perhitungan manual menggunakan metode Terzaghi 1 D. Serta analisis penurunan tanah menggunakan *software PLAXIS V 8.6*. Kemudian tahap selanjutnya yaitu analisis data yang telah dikumpulkan dan dari pembahasan tersebut dapat ditarik kesimpulan.

Hasil analisis proyek pembangunan Gedung Pesantren Mahasiswa Universitas Islam Sultan Agung Semarang perhitungan penurunan tanah pada Gedung Pesantren Mahasiswa menggunakan perhitungan manual mendapatkan nilai sebesar 94,2 cm, sedangkan perhitungan laju konsolidasi pada Gedung Pesantren Mahasiswa menggunakan perhitungan manual mendapatkan nilai sebesar 1,41 cm tiap tahun. Hasil perhitungan penurunan tanah pada Gedung Pesantren Mahasiswa menggunakan *software plaxis 8.6* sebesar 99,654 cm. Penurunan tanah dapat disebabkan oleh bermacam-macam factor, salah satunya yaitu karena beban timbunan yang berada pada lapisan tanah tersebut.

**Kata kunci:** *Penurunan; perhitungan; Tanah; Plaxis 8.6; dan Timbunan*

## **Abstract**

*The negative impact of land subsidence in Semarang City has been felt by the community for years. The purpose of this final project research is to determine the amount of land subsidence and the rate of land subsidence in the Sultan Agung Islamic University Student Islamic Boarding School Building in Semarang which is affected by the heaped soil load*

*The research method explains the concept of research, namely the sequence of methods used, and the tools and materials used. The initial stage of research is data collection or literature review to find information related to this research. The data used in this study were soil data on the UNISSULA student Islamic boarding school building in Semarang which included drill log data and laboratory test data on soil in the UNISSULA student boarding school area. Manual calculations use the Terzaghi 1 D method. As well as land subsidence analysis using PLAXIS V 8.6 software. Then the next stage is the analysis of the data that has been collected and conclusions can be drawn from the discussion.*

*The results of the analysis of the construction project for the Sultan Agung Islamic University Student Islamic Boarding School Building, Semarang, calculation of land subsidence at the Student Islamic Boarding School Building using manual calculations obtained a value of 94,2 cm, while the calculation of the rate of consolidation at the Student Islamic Boarding School Building using manual calculations obtained a value of 1.41 cm each year . The results of the calculation of land subsidence in the Student Islamic Boarding School Building using plaxis 8.6 software is 99,654 cm. Land subsidence can be caused by various factors, one of which is due to the heap load that is on the soil layer.*

**Keywords:** *Decline; calculation; Land; Plaxis 8.6; and Heaps*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dampak negatif akibat penurunan tanah di Kota Semarang telah dirasakan oleh masyarakat selama bertahun-tahun. Penurunan tanah yang dibarengi dengan abrasi pantai, intrusi air laut dan banjir pasang air laut (rob) ke permukiman penduduk telah menyebabkan berbagai macam kerusakan pada bangunan, infrastruktur, lingkungan, serta menimbulkan dampak sosial dan ekonomi bagi masyarakat. Penurunan tanah yang terjadi dari tahun 1979-2006, secara spasial bervariasi dengan laju mulai dari 1 cm/tahun sampai dengan lebih dari 15 cm/tahun dengan kecenderungan meningkat ke arah utara (Abidin et al., 2010). Hilangnya daratan dan tenggelamnya rumah penduduk di Kecamatan Genuk dan Kecamatan Semarang Utara akibat penurunan permukaan tanah (land subsidence) yang dibarengi dengan naiknya elevasi muka air laut, harus menjadi peringatan betapa besar dampak yang ditimbulkan akibat bencana tersembunyi ini.

Terkait dengan penyebab penurunan tanah di Kota Semarang, hasil kajian tentang struktur geologi dan pola morfologi menunjukkan bahwa penurunan tanah di Kota Semarang tidak berhubungan langsung dengan aktivitas tektonik tetapi lebih banyak disebabkan oleh faktor endapan alluvium berumur muda yang berkonsolidasi secara alamiah (Wardana et al., 2014). Tanah endapan alluvium mendominasi kawasan pesisir pantai utara memanjang dari arah barat ke timur, yaitu dari Kecamatan Tugu sampai dengan Kecamatan Genuk, sedangkan bagian selatan berupa daerah perbukitan yang didominasi oleh tanah pasir dan batuan vulkanik. Tanah endapan alluvium yang bersifat mudah mampat atau mempunyai kompresibilitas tinggi mendukung terjadinya penurunan tanah akibat proses konsolidasi. Proses konsolidasi terjadi jika tanah lunak jenuh air mengalami pemampatan sehingga volume tanah berkurang akibat keluarnya air pori dalam waktu yang sangat lama. Kombinasi pembebanan permukaan dan keluarnya air 2 pori terhadap fungsi waktu, turut berkontribusi dalam mempercepat laju penurunan tanah.

Semakin tingginya penggunaan lahan tanah sebagai tempat pemukiman atau konstruksi bangunan sipil lainnya mengakibatkan pemanfaatan lahan dengan tanah lunak. Beban diatas tanah lunak menyebabkan penurunan berlebih pada tanah lunak. Penurunan dapat mengakibatkan kegagalan konstruksi karena tanah asli belum pernah memikul beban yang lebih besar dibandingkan beban yang sedang bekerja, sehingga tanah tidak mampu memikul beban konstruksi yang telah dibangun. Karena itu perlu perkuatan tanah untuk memperbaiki kualitas serta meningkatkan daya dukung dari tanah sehingga dapat mencegah terjadinya perbedaan penurunan yang terlampau besar dan pembebanan awal (preloading) yang dimaksudkan untuk mempercepat proses pemampatan tanah. Proses penurunan tanah memerlukan waktu yang lama agar penurunan berhenti atau stabil dan tidak dapat diketahui kapan waktunya jika hanya dari pengamatan. Setelah penurunan berhenti maka tanah baru dapat ditimbun lagi (penimbunan bertahap). Oleh karena itu perlu analisis untuk memperkirakan penurunan akibat beban timbunan pada tanah lunak.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas sebagai berikut :

1. Berapa besar penurunan tanah (*land subsidence*) yang terjadi pada Pesantren Mahasiswa di UNISSULA Semarang akibat beban tanah timbunan ?
2. Berapa besar laju penurunan tanah pada Pesantren Mahasiswa UNISSULA Semarang ?
3. Berapa besar laju penurunan tanah pada Pesantren Mahasiswa UNISSULA Semarang menggunakan *software PLAXIS 8.6* ?

### **1.3 Maksud dan Tujuan**

Maksud dan tujuan dari penyusunan tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Mengetahui besar penurunan (*land subsidence*) yang terjadi pada Pesantren Mahasiswa di UNISSULA Semarang.
2. Mengetahui besar laju penurunan tanah pada Pesantren Mahasiswa di UNISSULA Semarang.
3. Mengetahui besar laju penurunan tanah yang terjadi pada Pesantren Mahasiswa UNISSULA menggunakan *software PLAXIS 8.6*.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang didapat dari hasil penelitian ini mengetahui besarnya penurunan tanah (*land subsidence*) serta laju penurunan tanah akibat beban tanah timbunan.

### **1.5 Batasan Masalah**

Penelitian ini dibatasi pada masalah penurunan tanah dan laju penurunan tanah pada Gedung Pesantren Mahasiswa UNISSULA Semarang mencakup hal-hal sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian berada di Gedung Pesantren Mahasiswa UNISSULA Semarang.
2. Menggunakan sampel Gedung Pesantren Mahasiswa UNISSULA Semarang.
3. Mengetahui besar penurunan tanah dan laju penurunan tanah pada Gedung Pesantren Mahasiswa UNISSULA Semarang.
4. Analisis menggunakan *software plaxis*.
5. Untuk perhitungan penurunan tanah yang ditinjau hanya beban tanah timbunan.

## 1.6 Sistematika Penulisan

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menerangkan tentang latar belakang, rumusan masalah, maksud dan tujuan, batasan masalah dan sistematika Tugas Akhir.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menerangkan tentang konsep analisis penurunan tanah dan laju penurunan tanah.

### **BAB III METODE PERANCANGAN**

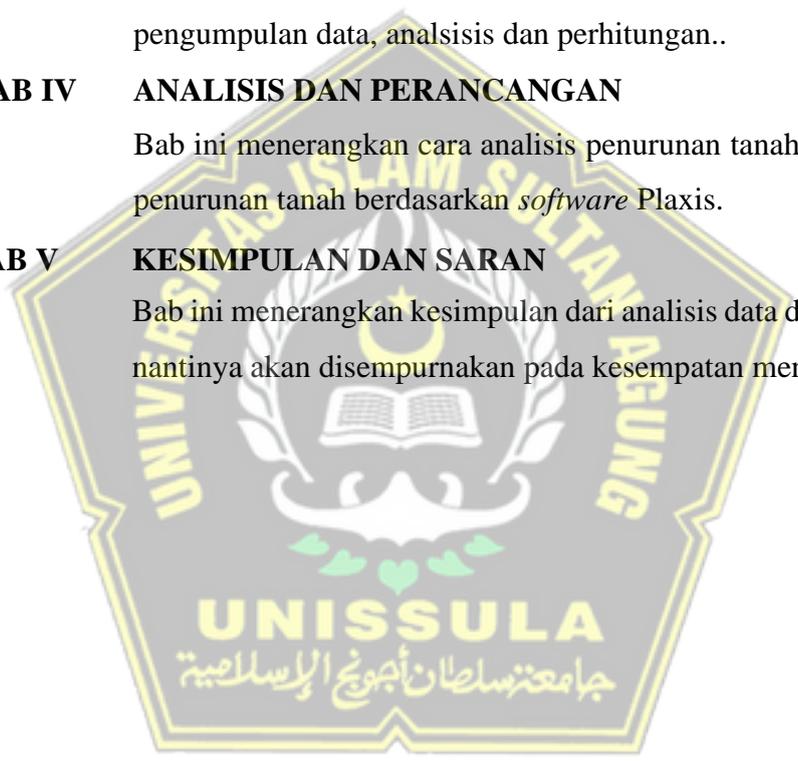
Bab ini menerangkan tentang *software* yang digunakan, pengumpulan data, analisis dan perhitungan..

### **BAB IV ANALISIS DAN PERANCANGAN**

Bab ini menerangkan cara analisis penurunan tanah dan laju penurunan tanah berdasarkan *software* Plaxis.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini menerangkan kesimpulan dari analisis data dan saran yang nantinya akan disempurnakan pada kesempatan mendatang.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Tanah**

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel (Hardiyatmo, 2010). Tanah diartikan sebagai material yang terdapat butiran (*agregat*) mineral-mineral padat yang tidak terikat satu sama lain secara kimia serta dari bahan-bahan organik yang telah melapuk dengan zat cair dan gas yang mengisi rongga-rongga kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Pratikso, 2017).

Tanah merupakan bagian dari alam yang terdiri dari bahan anorganik dan bahan organik. Secara umum, tanah adalah kumpulan partikel mineral alam yang dipisahkan oleh siklus mekanis dan endapan sedimen yang relatif lepas pada batuan dasar (*poor rock*). Ikatan yang relatif lemah disebabkan oleh deposit intergranular karbon, organik, atau oksida. Ruang antar partikel dapat berisi udara, air, atau keduanya (Hardiyatmo, 1992).

Umumnya tanah dibagi menjadi dua yaitu lengket (kohesif) dan tidak lengket (non kohesif). Tanah tidak lengket ialah tanah yang lengas karena adanya tegangan permukaan dalam air, seperti pasir. Tanah lengket merupakan tanah yang bercampur dan mengering, seperti tanah liat/lempung (Bowles, 1991).

Dalam melakukan perencanaan diperlukan pemahaman mengenai karakteristik tanah dengan paham dan jelas. Parameter tanah berpengaruh terhadap karakteristik tanah diantaranya sebagai pendukung pondasi berupa ukuran dari butiran tanah, berat jenis tanah, kadar air tanah, kerapatan, angka pori, serta sudut geser pada tanah.

### 2.1.1 Parameter Tanah

Elemen tanah mempunyai 3 (tiga) fase, yaitu butiran padat, air, dan udara. Pemahaman mengenai komposisi tanah untuk memutuskan dalam memperoleh parameter tanah serta hubungan antar volume dengan berat. Dibawah ini parameter tanah yang digunakan untuk mendeskripsikan sifat dan karakteristik pada tanah yaitu:

a. Modulus Young (E)

Nilai Modulus Young (E) menunjukkan nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *Triaxial Test*. Suatu Nilai Modulus Elastisitas (Es) secara empiris dapat ditentukan melalui data sondir dan jenis tanah seperti pada Tabel 2.1 berikut:

**Tabel 2. 1** Nilai Perkiraan Modulus Young

Macam Tanah	E (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>LEMPUNG</b>	
• Sangat Lunak	3-30
• Lunak	20-40
• Sedang	45-90
• Berpasir	300-425
<b>PASIR</b>	
• Berlanau	50-200
• Tidak Padat	100-250
• Padat	500-1000
<b>PASIR DAN KERIKIL</b>	
• Padat	800-2000
• Tidak Padat	500-1400
<b>LANAU</b>	20-200
<b>LOSES</b>	150-600
<b>CADAS</b>	1400-14000

(Sumber : Bowles, 1997)

b. Poisson Ratio ( $\mu$ )

Gaya tekan poros terhadap ekspansi lateral digunakan untuk menghitung rasio poisson. Jenis tanah dapat digunakan untuk menentukan nilai rasio Poisson, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 di bawah ini:

**Tabel 2. 2** Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson Ratio

Jenis Tanah	Poisson Raatio ( $\mu$ )
Lempung jenuh	0,4-0,5
Lempung tak jenuh	0,1-0,3
Lempung berpasir	0,2-0,3
Lanau	0,3-0,35
Pasir	0,1-1,0
Batuan	0,1-0,4
Umum dipakai untuk tanah	0,3-0,4

(Sumber : Das, 2011)

a. Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )

Ketahanan tanah terhadap tegangan kerja dalam bentuk tekanan tanah lateral ditentukan oleh nilai sudut geser internal dan kohesi. Pengukuran Uji Geser Langsung juga dapat menghasilkan nilai ini. Tabel 2.3 menampilkan hubungan antara jenis tanah dan internal sudut geser:

**Tabel 2. 3** Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )
Kerikil kepasiran	35 <sup>0</sup> - 40 <sup>0</sup>
Kerikil kerakal	35 <sup>0</sup> - 40 <sup>0</sup>
Pasir padat	35 <sup>0</sup> - 40 <sup>0</sup>
Pasir lepas	30 <sup>0</sup>
Lempung kelanauan	25 <sup>0</sup> - 30 <sup>0</sup>
Lempung	20 <sup>0</sup> - 25 <sup>0</sup>

(Sumber : Das, 2011)

b. Kohesi (c)

Gaya tarik antar butir tanah disebut dengan kohesi. Kohesi secara simultan dengansudut geser tanah dan kuat geser tanah untuk menentukan ketahanan tanah terhadapdeformasi yang disebabkan oleh regangan. Ketika tegangan normal dan tegangan geser digabungkan dalam keadaan kritis, terjadi deformasi.Jenis tanah yang terdapat di lapangan merupakan tanah non kohesif karena berupa pasir, dengan tanah keras pada kedalaman 10,6 m yang mempunyai lapisan tanah dengan konsistensi kaku sampai keras dengan tahanan konus (*Cone Resistance*) antara  $q_c = 21,0 \text{ kg/cm}^2$  sampai  $q_c = 186 \text{ kg/cm}^2$ .

### 2.1.2 Klasifikasi Tanah

Mengetahui sifat tanah merupakan hal yang penting pada saat menganalisis penurunan tanah atau rekayasa geoteknik. Mendapatkan klasifikasi tanah persetiap lapisan dilakukan pengujian tanah di lapangan dan di laboratorium. Klasifikasi parameter tanah untuk keperluan teknik antara lain : 1) *Unified Soil Classification System* (USCS), 2) *United States Department of Agriculture* (USDS), 3) *American Association of State Highway and Transportation Official* (AASHTO), dan 4) *Brittish System* (BS). Jenis tanah ada empat menurut AASHTO dan perbedaan ukuran pada partikel tanahnya menurut USCS. Bataas ukuran antara pasir dan kerikil adalah sebesar 4.74 mm, pada AASHTO batas kerikil dan pasir memiliki besaran 2 mm. Perbedaan dari beberapa sistem klasifikasi tanah yaitu terletak pada simbol klasifikasitanahnya pada USCS penamaan jenis tanah yaitu kerikil (G), pasir (S), lanau (M), dan lempung (C) pada AASHTO pada penyimbolan terbagi menjadi 7 jenis, yaitu: A1 – A7, dengan simbol A1 – A3 adalah tanah yang memiliki butiran kasar, dan pada A4 – A7 termasuk tanah yang memiliki butiran halus.

**Tabel 2.4.** Perbandingan Antara Sistem AASHTO dengan sistem USCS

Soil Group in AASHTO System	Comparable Soil Groups in USCS		
	Most Probable	Possible	Possible but Improbable
A-1-a	GW, GP	SW, SP	GM, SM
A-1-b	SW, SP, GM, SM	GP	—
A-3	SP	—	SW, GP
A-2-4	GM, SM	GC, SC	GW, GP, SW, SP
A-2-5	GM, SM	—	GW, GP, SW, SP
A-2-6	GC, SC	GM, SM	GW, GP, SW, SP
A-2-7	GM, GC, SM, SC	—	GW, GP, SW, SP
A-4	ML, OL	CL, SM, SC	GM, GC
A-5	OH, MH, ML, OL	—	SM, GM
A-6	CL	ML, OL, SC	GC, GM, SM
A-7-5	OH, MH	ML, OL, CH	GM, SM, GC, SC
A-7-6	CH, CL	ML, OL, SC	OH, MH, GC, GM, SM

(Sumber: Das, 2009)

### 2.1.3 Konsistensi Tanah dan Nilai N – SPT

Pengujian data lapangan biasanya menggunakan N-SPT (*unitless*) atau  $q_c$  (*cone pressure*) ( $\text{kg/cm}^2$ ). Apabila data yang dimiliki ialah  $q_c$  *cone compaction*, maka dikonversi menjadi N-SPT dengan menggunakan rumus empiris  $N\text{-SPT} = q_c$  ( $\text{kg/cm}^2$ ) / 4. Namun pada penelitian ini data tanah yang digunakan merupakan kerelasi dari parameter tanah menurut hanis N-SPT dapat dilihat pada Tabel 2.5.

**Tabel 2.5.** Konsistensi Tanah Berdasarkan Nilai N-SPT

Consistency	Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Very Stiff	Hard
SPT-N	< 2	2 – 8	4 – 8	8 – 15	15 - 30	>30
$Q_u$ (kPa)	< 25	25 - 80	50 – 100	100 - 400	200 - 400	> 400

(Sumber : Terzaghi and Peck, 1967)

### 2.1.4 Batasan Partikel Tanah

Bentuk Partikel – partikel tanah biasanya ialah kerikil, Lanau, Pasir, atau Lempung. Partikel yang paling dominan biasanya bergantung pada kondisi tanah pada suatu lokasi tersebut. Batasan ukuran jenis tanah (*Soil-separate-size limits*) dapat dilihat pada Tabel 2.6. yang menggambarkan perbedaan antara jenis tanah berdasarkan pada ahli.

**Tabel 2.6.** Batasan – Batasan Golongan Tanah

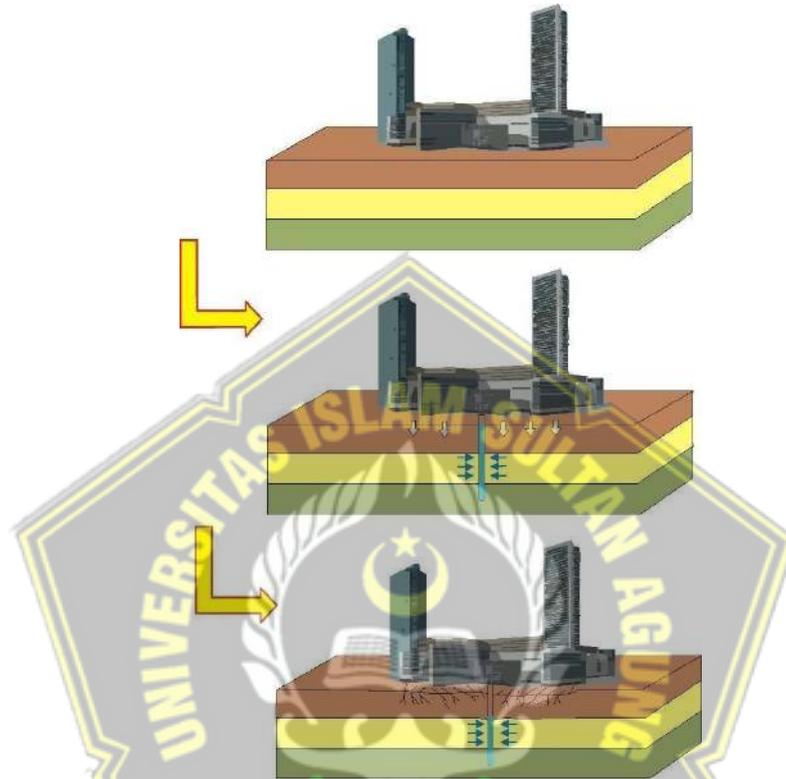
Nama Golongan	Ukuran Butiran ( mm )			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
<i>Massachusetts Institute of Technology ( MIT )</i>	> 2	2 - 0,06	0,06 - 0,002	< 0,002
<i>U.s. Department of Agriculture ( USDA )</i>	> 2	2 - 0,05		< 0,002
<i>American Association of State Highway and Transportation Officials ( AASHTO )</i>	76,2 - 2	2 - 0,075		
<i>Unified Soil Classification System ( U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation )</i>	76,2 - 4,75	4,75 - 0,075		

(Sumber : Das, 1995)

## 2.2 Penurunan Tanah (*Land Subsidence*)

Penurunan muka tanah dapat ditandai oleh kondisi fisik pada suatu bangunan, misalnya terjadi amblesnya tanah akibat dari beban yang terus menerus tanpa menentukan renggang waktu tertentu. Antisipasi amblesan tanah ini dapat dilakukan dengan merealisasikan pemantauan secara berkala dengan pengamatan kecepatan dan percepatan amblesan yang terjadi.

Metode Hidregeologi, obsrvasi level muka air tanahdan observasi dengan ekstensometer dan piezometer yang dikonversi ke penurunan muka tanah (Fahrudin dkk., 2009), serta metode geodetik seperti survey sipat datar (*leveling*), GPS, dan INSAR adalah cara untuk memantau penurunan tanah (Yuwono dkk., 2013). Efisiensidapat ditingkatkan dengan pemantauan periodik.



**Gambar 2.1.** Fase penurunan Muka Tanah  
(Sumber : [syawal88.worldpress.com](http://syawal88.worldpress.com))

Karakteristik amblesan tanah sebaiknya dilakukan pemantauan secara berkelanjutan seperti pada saat perencanaan struktur bangunan, pengendalian air tanah, dan untuk mengetahui karakteristik amblesan, pengendalian intrusi air laut dan perlindungan masyarakat dari dampak penurunan tanah diperlukan. Kecepatan amblesan tanah ini bergantung pada kondisi geologi, hidrologi, intensitas pemampatan air tanah dan sifat-sifat mekanik tanah sudah melebihi kapasitasnya.

Pada Metasari 2010, Whittaker and Reddish, 1989 menyimpulkan bahwa *land subsidence* dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu :

## 1. Penurunan tanah alami (*natural subsidence*)

Disebabkan oleh sedimentasi pada daerah cekungan dan sebagainya, yaitu proses geologi. Penyebab penurunan tanah alami dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

### a. Siklus Geologi

Siklus geologi adalah siklus yang terjadi sepanjang waktu. Dimulai dengan pelapukan, yaitu saat batuan aus oleh angin, hujan, dan hal lainnya. Kemudian, pengendapan terjadi ketika batuan diletakkan di atas tanah. Nantinya, bebatuan tersebut dipindahkan oleh kerak bumi.

### b. Sedimentasi pada daerah Cekungan

Didaerah Cekungan, biasanya ditemukan di dekat batas lempeng. Terkadang, perilaku pengumpulan sedimen akan menyebabkan beban kerja meningkat. Hal ini dapat menyebabkan penurunan permukaan tanah yang pada gilirannya menyebabkan tanah tenggelam. Penurunan dapat terjadi karena :

- Proses pembebanan menyebabkan bumi menjadi lebih lentur, yang pada gilirannya memudahkan pengendapan sedimen dan air meningkatkan pengaruhnya.
- Kerak bumi terdiri dari batuan dan material yang berbeda. Seiring waktu, batuan dan material ini dapat bergerak dan bergeser. Hal ini menyebabkan permukaan tanah mengembang. Proses ini juga dapat mengakibatkan muka tanah menjadi menurun.
- Deformasi pada lapisan tanah bawah disebabkan oleh tekanan.

## 2. *Land subsidence* karena pemompaan tanah

Jika seorang mengambil lebih banyak air tanah dari akuifer daripada yang dapat ditampung oleh akuifer, tanah akan tenggelam karena lebih sedikit air tanah yang tersedia untuk menyatukan tanah. Hal ini membuat tanah lebih sulit untuk digali, dan juga membuat tekanan di bawah permukaan tanah berkurang, karena lebih sedikit air tanah yang menahan tanah. Dalam beberapa kasus, penurunan tekanan ini dapat menyebabkan tanah pecah, atau bahkan runtuh.

3. Penurunan terjadi akibat pembebanan tanah karena beban bangunan (settlement). Tanah berperan penting dalam menopang bangunan. Ketika konstruksi dilakukan di atas tanah, dapat menyebabkan lapisan di bawahnya menjadi padat. Proses kompresi ini menyebabkan penurunan tanah. Ada dua jenis penurunan muka tanah, yang satu disebabkan oleh pembebanan (seperti bangunan yang dibangun di atas tanah) dan yang lainnya disebabkan oleh proses alam (seperti tanah akibat beban dibagi 2 jenis yaitu :

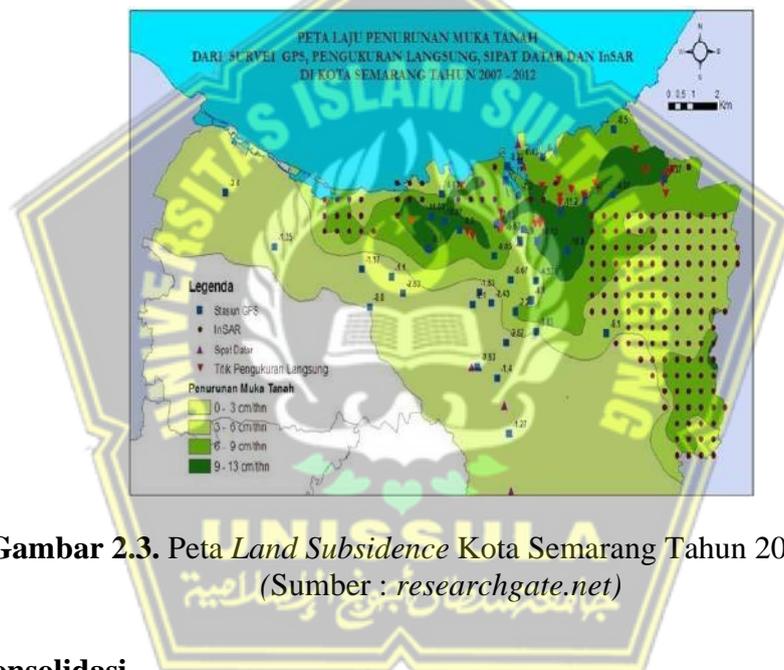
- a. Ketika air dilepaskan dari tanah, hal itu menyebabkan tanah menjadi lebih jenuh air, yang berarti tanah kurang mampu membentuk batuan dan bongkahan secara bersamaan. Hal ini akan menyebabkan berkurangnya jumlah tanah yang dapat terkonsolidasi, yang berarti tanah menjadi kurang stabil dan mudah terurai.
- b. Tanah kering, basah, dan jenuh air semuanya akan sedikit berubah bentuk saat basah, tetapi tidak akan ada perubahan kadar air. Pengendapan ini dapat terjadi dengan segera, dan merupakan hasil dari pengendapan tanah secara langsung.

### **2.2.1 Land Subsidence di Kawasan Kaligawe**

Kawasan Kaligawe merupakan kelurahan yang berada di Kota Semarang yang letaknya di pesisir utara Jawa Tengah, dan selama kurang lebih 30 tahun terakhir, tanahnya sedikit tenggelam. Laju penurunan muka tanah bervariasi antara tempat ke tempat yang lain, dan secara umum, semakin dekat ke pantai, penurunan tanah semakin besar. Semarang sangat rentan terhadap penurunan muka tanah karena kepadatan penduduk yang tinggi di dekat pantai. Sutanta dan Hobma berpendapat bahwa sangat sulit untuk menentukan laju amblesan di Semarang, karena lajunya berubah tergantung pada tahun dan tempat yang berbeda. Masalah amblesan diperumit oleh faktor alam dan pengaruh aktivitas manusia, sehingga penting untuk memantaunya secara berkala.



**Gambar 2.2.** Fenomena *Land Subsidence* Kota Semarang  
(Sumber : kompas.com)



**Gambar 2.3.** Peta *Land Subsidence* Kota Semarang Tahun 2007-2012  
(Sumber : researchgate.net)

### 2.3 Konsolidasi

Konsolidasi adalah proses pelepasan air secara bertahap dari pori-pori tanah, sampai tanah menjadi jenuh dan volumenya berkurang. Ini terjadi karena tekanan yang meningkat dari semua air di tanah terlalu banyak untuk ditanganitanah, dana menghilang seiring waktu. Proses konsolidasi dapat terjadi lebih cepat jika tekana ekstra dari berat tanah dihilangkan dengan cepat, yang menyebabkan muka air tanah turun. Koefisien permeabilitas penting dalam menentukan seberapa jauh air harus dikeluarkan melalui pori-pori. Konsolidasi adalah proses pengurangan jumlah air secara bertahap dalam lapisan jenuh tanah liat tanpa mengganti udara dengan air. (Terzaghi, 1964).

Konsolidasi adalah proses percepatan pengurangan volume yang di akibatkan keluarnya udara di dalam air pori(Crawford, 1964), (Tuma dan Hadi, 1973), Cernnica, 1982). Holzs dan Kovacs(1981), berpendapat bahwa jika tanahnya sangat permeabel, artinya air dapat dengan mudah keluar melalui pori-pori, tanah liat akan cenderung terkonsolidasi (membentuk gumpalan) saat ditekan, karena tekanannya tetap terkendali. (visco elastic).

Jika menambahkan lebih banyaj beban berat daripada yang dapat ditopang oleh permukaan, tanah di bawahnya dapat dikompresi. Hal ini dapat terjadi karena adanya perubahan partikel tanah, pergerakan partikel, dan keluarnya air atau udara di dalam pori-pori. Ini mempengaruhi kondisi tanah dengan cara yang berbeda, tergantung penyebabnya, yaitu :

1. Yang dimaksud dengan penurunan konsolidadi adalah ketika muka air diddalam tanah turun, dan tanah yang terisi air mulai menghilang.
2. Penurunan (immediate settlement) adalah perubahan elastis pada kelembaban tanah yang mempengaruhi kemampuan tanah menahan air, tetapi tidak mengubah kadar air.



**Gambar 2.4.** Konsolidasi Satu Matra  
(Sumber : Das, 1998)

### 2.3.1 Dasar Konsolidasi

Penyelidikan perilaku pemampatan pada tanah endapan dengan melakukan uji oedometer dengan contoh tanah yang dibuat sedemikian rupa mendekati serupa dengan keadaan alami. Untuk menyatakan perilaku pemampatan satu dimensi pada lempung, terdapat dua koefisien yang berbeda (Wesley, 2012) yaitu :

1. Parameter linier  $m_v$ , merupakan cara yang paling sederhana.
2. Parameter logaritmis  $c_c$  (indeks pemampatan), dan  $c_r$  (indeks pemampatan kembali).

### 2.3.2 Penurunan Segera

Nilai penurunan segera ( $\rho_i$ ) memiliki nilai jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan harga konsolidasi primer ( $S_s$ ) dan membutuhkan waktu yang tidak terlalu panjang.

Dapat diperoleh melalui persamaan (2.1) (Das, 1988)

$$\rho_i = \rho \cdot B \frac{1-\mu^2}{E} I_p \dots\dots\dots (2.1)$$

Didapatkan keterangan sebagai berikut :

$\rho_i$  = penurunan segera (m)

$E$  = modulus elastisitas tanah (modulus *Young*) ( $\text{kg/cm}^2$ )

$I_p$  = faktor pengaruh yang tidak memiliki dimensi

$P$  = tekanan bersih yang dibebankan ( $\text{N/m}^2$ )

$B$  = lebar pada beban (m)

$\mu$  = angka *poisson*'s

Total penurunan tanah secara keseluruhan akibat suatu beban dapat dilihat pada persamaan (2.2)

$$ST = S + SS + \rho_i \dots\dots\dots (2.2)$$

$ST$  = total penurunan (m)

$\rho_i$  = penurunan segera (m)

$S$  = penurunan disebabkan konsolidasi primer (m)

$S_s$  = penurunan disebabkan konsolidasi sekunder (m)

### 2.3.3 Konsolidasi dan Penurunan Konsolidasi

Menurut Atkinson & Bransby (1982), secara garis besar ada 2 konsep tegangan efektif yang diusulkan oleh Terzaghi (1936), yaitu :

- a. Tegangan pada sembarang titik dari suatu bidang pada massa tanah dapat dihitung berdasarkan tegangan normal total yang terjadi pada titik tersebut. Jika rongga udara pada massa tanah terisi penuh oleh air sehingga tanah menjadi jenuh seluruhnya maka tekanan air pori ( $u$ ) bekerja pada seluruh bidang permukaan ke segala arah sama besar.
- b. Perhitungan mekanika tanah lainnya seperti kompresi, distorsi dan kuat geser tanah harus mengikuti prinsip tegangan efektif dan dihitung dalam kondisi efektif. Apabila terjadi perubahan volume di dalam tanah, maka terjadi pula perubahan tegangan efektif. Tegangan efektif didefinisikan sebagai tegangan yang terjadi akibat kontak antar partikel tanah akibat beban vertikal per satuan luas bidang kontak massa tanah (Das, 2010).

Berkurangnya volume atau rongga pori pada tanah jenuh air berpermeabilitas rendah yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total dan terdisipasinya air pori terhadap fungsi waktu disebut proses konsolidasi (Craig, 2004). Pada tanah lempung jenuh seluruhnya segera setelah pembebanan selesai, air akan mulai mengalir keluar yang disebabkan oleh adanya perbedaan tekanan air pori dan kemudian terjadi perubahan volume tanah. Apabila tekanan air pori bernilai positif sehingga menyebabkan pengurangan volume tanah maka proses tersebut disebut konsolidasi, tetapi apabila tekanan air pori bernilai negatif sehingga tanah mengalami penambahan volume maka disebut *swelling* atau *heave* (Lambe & Whitman, 1969). Perilaku tanah lempung jenuh yang termampatkan ketika diberi tambahan tegangan akan mengalami penurunan elastis sesaat setelah beban bekerja, hal ini terjadi karena tekanan air pori di dalam tanah bertambah sehingga menyebabkan terjadinya aliran air menuju ke tekanan air pori yang lebih rendah yang diikuti oleh penurunan tanah (Budhu, 2000). Terjadinya deformasi (*displacement*) vertikal pada permukaan tanah sehingga menyebabkan adanya perubahan pada volume tanah pada saat proses konsolidasi berlangsung disebut penurunan konsolidasi (Craig, 2004).

Suatu material tanah apabila diberi beban atau tegangan akan mengalami deformasi atau regangan, kemudian ketika tegangan tersebut dihilangkan maka sisa deformasi masih akan tetap ada. Secara umum deformasi yang terjadi dapat berupa perubahan bentuk (*distortion*) atau perubahan volume (*compression*) atau juga keduanya (Holtz & Kovacs, 1981). Kenaikantegangan efektif akibat pembebanan pada suatu massa tanah menyebabkan pemampatan lapisan tanah, hal ini terjadi karena partikel tanah mengalami deformasi, perpindahan partikel tanah dan keluarnya udara atau air dari rongga pori (*void*) (Das, 2010). Menurut Holtz & Kovacs (1981) dan Craig (2004), penurunan tanah (*settlement*) akibat pembebanan mempunyai 3 komponen, yaitu :

- a. Penurunan segera (*immediate settlement*) atau *distortion* adalah deformasi elastis atau deformasi segera setelah beban bekerja pada tanah kering, basah dan jenuh tanpa mengalami perubahan kadar air. Perilaku penurunan segera sebenarnya tidak betul-betul elastis, tetapi biasanya diselesaikan dengan teori elastis jika berupa tanah kohesif jenuh air.
- b. Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*) adalah penurunan tanah terhadap fungsi waktu yang terjadi pada tanah berbutir halus yang mempunyai koefisien permeabilitas rendah pada saat terjadi proses konsolidasi.
- c. Penurunan sekunder (*secondary settlement*) adalah penurunan tanah lanjutan dari penurunan konsolidasi dan biasanya terjadi dengan laju yang sangat lama. Penurunan sekunder terjadi ketika tegangan efektif konstan dan tekanan air pori terdisipasi seluruhnya.

#### **2.3.4 Laju Konsolidasi**

Teori laju konsolidasi pada tanah lempung dikenalkan oleh Terzaghi (1925), berdasarkan persamaan differensial konsolidasi 1 D dengan melakukan perhitungan kecepatan konsolidasi pada sebuah elemen tanah lempung dari hasil pengujian oedometer. Selama proses konsolidasi berlangsung, air akan keluar dari elemen tanah bersamaan dengan perubahan volume elemen tanah, sebanding dengan aliran air masuk pada elemen. Laju perubahan volume dihitung sebagai laju aliran air keluar dikurangi laju aliran air masuk pada elemen (Gambar 3.7).

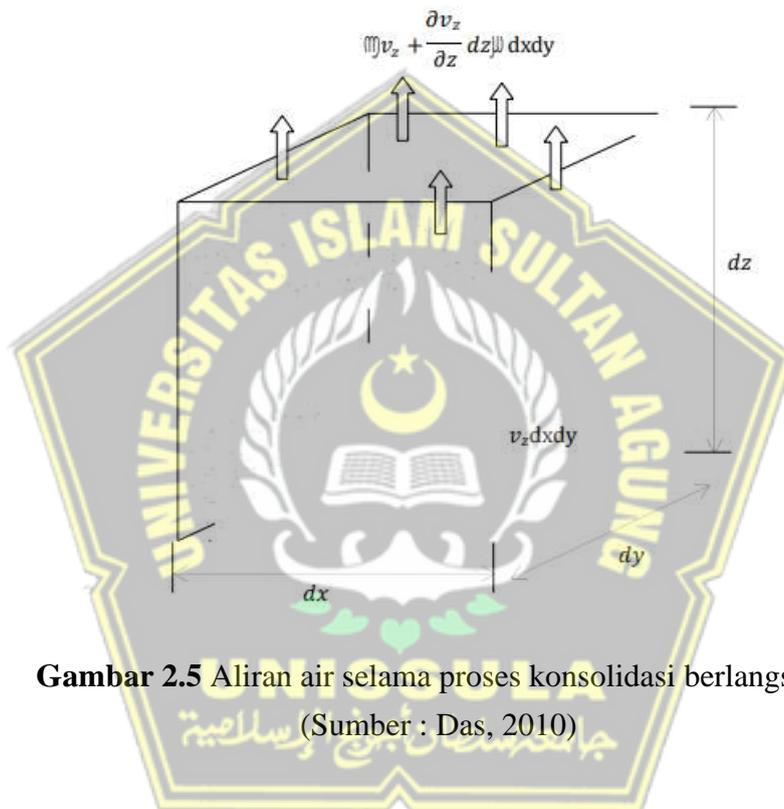
$$\left(v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} dz\right) dx dy - v_z dx dy = \frac{\partial V}{\partial t} \dots\dots\dots(2.3)$$

Atau,

$$\frac{\partial v_z}{\partial z} dx dy dz = \frac{\partial V}{\partial t} \dots\dots\dots(2.4)$$

Menggunakan Hukum Darcy pada Persamaan 2.5, didapatkan :

$$\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial u}{\partial z^2} dx dy dz = \frac{\partial V}{\partial t} \dots\dots\dots(2.5)$$



**Gambar 2.5** Aliran air selama proses konsolidasi berlangsung  
(Sumber : Das, 2010)

Kecepatan penurunan konsolidasi tergantung pada kecepatan berkurangnya kelebihan tekanan air pori yang timbul akibat kenaikan beban pada tanah yang mengalami konsolidasi.

Perubahan volume elemen tanah terhadap waktu selama konsolidasi berlangsung sebanding dengan kuantitas air yang keluar elemen dikurangi dengan air yang masuk, pada arah  $z$  dengan permeabilitas konstan. Laju perubahan volume  $\Delta q$  dinyatakan oleh :

$$\Delta q = q_{out} - q_{in} = \frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} dx dy dz \dots\dots\dots(2.6)$$

Asumsi bahwa tidak terjadi perubahan volume air dan partikel tanah atau bersifat tidak mudah mampat, volume berubah dalam bentuk penyusutan rongga udara (*voids*) sedangkan volume partikel tanah adalah konstan.

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \left( \frac{1}{1+e} \right) \frac{\partial e}{\partial t} dx dy dz \dots\dots\dots(2.7)$$

Pada kondisi elemen lempung jenuh seluruhnya, mengalami perubahan volume akibat perubahan kuantitas air di dalamnya, maka

$$\Delta q = \frac{\partial V}{\partial t} \dots\dots\dots(2.8)$$

atau,

$$\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \left( \frac{1}{1+e} \right) \frac{\partial e}{\partial t} \dots\dots\dots(2.9)$$

Perubahan angka pori disebabkan oleh kenaikan tegangan efektif akibat penurunan tekanan airpori.

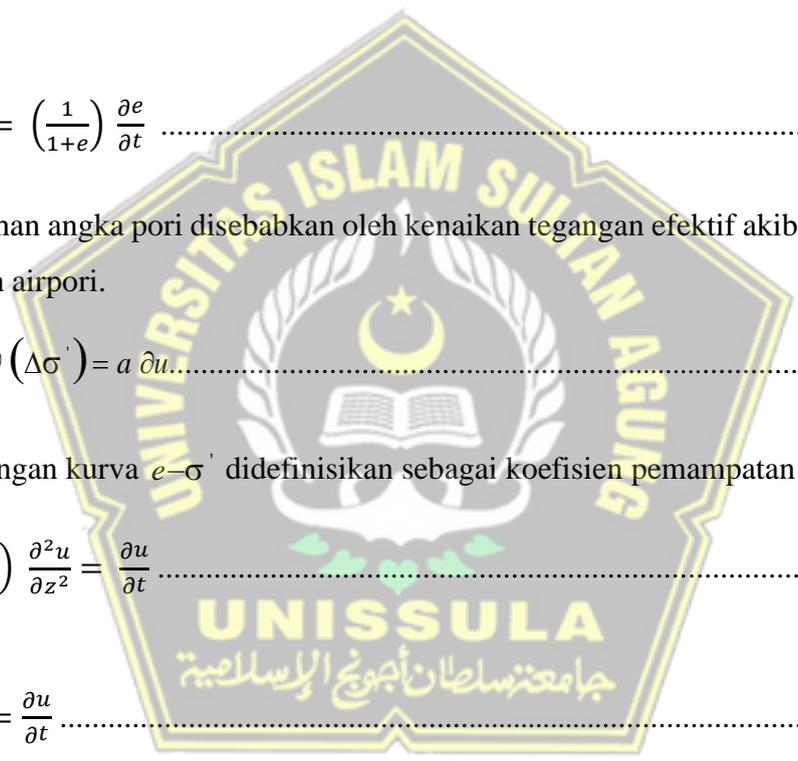
$$\partial e = a \partial (\Delta \sigma') = a \partial u \dots\dots\dots(2.10)$$

Kemiringan kurva  $e-\sigma'$  didefinisikan sebagai koefisien pemampatan ( $a_v$ ).

$$\frac{k}{\gamma_w} \left( \frac{1+e}{a_v} \right) \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u}{\partial t} \dots\dots\dots(2.11)$$

atau,

$$c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u}{\partial t} \dots\dots\dots(2.12)$$



### 2.3.5 Koefisien konsolidasi

Pengujian konsolidasi 1 D pada suatu sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*) dengan oedometer dapat digunakan untuk menghitung nilai koefisien konsolidasi ( $c_v$ ). Pada akhir pengujian konsolidasi diperoleh penurunan akhir dan derajat konsolidasi pada waktu tertentu ( $U_t$ ), sehingga dapat dilakukan plot kurva  $U_t$  terhadap  $t$ . Oleh karena faktor waktu ( $T_v$ ) merupakan fungsi dari koefisien konsolidasi ( $c_v$ ), maka tidak dapat dilakukan secara langsung plot hasil eksperimen antara derajat konsolidasi ( $U$ ) terhadap faktor waktu ( $T_v$ ). Selanjutnya, nilai  $c_v$  diperoleh dengan melakukan plot kurva (*curve fitting*) antara karakteristik grafik hasil eksperimen dan grafik konsolidasi teoritis. Jika kurva hasil eksperimen  $U_t$  terhadap  $t$  dibandingkan pada kurva konsolidasi  $U$  terhadap  $T_v$  teoritis, maka dapat diperoleh hubungan antara  $t$  dengan  $T_v$ , kemudian nilai  $c_v$  diperoleh dari Persamaan 2.12. Menurut Craig (2004), salah satu metode yang banyak digunakan untuk menghitung nilai  $c_v$  adalah metode akar waktu (*root time methods*) sebagaimana yang diusulkan oleh Taylor (1942). Derajat konsolidasi dapat ditentukan dengan melakukan plot grafik antara pembacaan *dial* (penurunan) pada sumbu ordinat yang dihubungkan dengan akar waktu pada sumbu absis.

Hubungan antara  $U$  terhadap  $T_v$  teoritis diberikan oleh Persamaan 2.13, nilai  $T_v$  pada :

$U=90\%$  adalah 0,848 atau dapat ditulis,

$$U = 0,98 \sqrt{T_v} \dots\dots\dots(2.13)$$

Berdasarkan hubungan Persamaan 3.18 dan Persamaan 3.30 di atas, maka rasio kemiringan antara grafik teoritis yang terbentuk sampai dengan proses konsolidasi mencapai  $U=60\%$   $U=90\%$  yaitu berupa kurva linier, dan kemiringan teoritis kurva pada proses konsolidasi adalah 1,15 kalinya bagian yang lurus tersebut.

Nilai  $c_v$  dinyatakan oleh persamaan :

$$c_v = \frac{0,848d^2}{4t_{90}} \text{ untuk kondisi drainase ganda } \dots\dots\dots(2.14)$$

$$C_v = \frac{0,848d^2}{t_{90}} \text{ untuk kondisi drainase tunggal .....(2.15)}$$

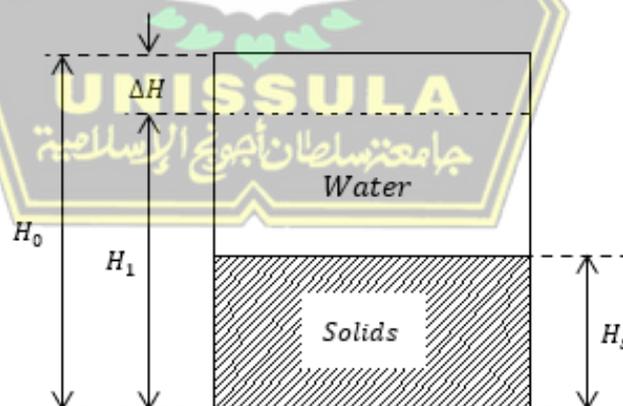
## 2.4 Penurunan Konsolidasi

Interpretasi hasil uji konsolidasi 1 D di laboratorium diperoleh beberapa parameter yang dapat digunakan untuk menghitung besar penurunan konsolidasi, yaitu parameter linier  $m_v$  dan parameter logaritmis berupa  $C_c$  atau  $C_r$ .

### 2.4.1 Parameter Konsolidasi

Karakteristik suatu tanah selama proses konsolidasi 1 D dapat disimulasikan di laboratorium dengan menggunakan oedometer atau consolidometer, untuk menentukan parameter tanah berupa  $C_c, C_r, C_v, m_v, k$ , atau  $\sigma'_c$ . Prosedur standar pengujian konsolidasi dengan consolidometer dapat dilihat di *BS 1377:Part 5:1990* (1990).

Sebelum pengujian konsolidasi dimulai harus dicatat terlebih dahulu ketebalan awal sampel dan berat jenis tanah. Kemudian setelah pengujian selesai, nilai angka pori dapat dihitung dengan mencatat penurunan pada *dial gage* dan kadar air di akhir pengujian. Pemampatan tanah akibat konsolidasi dapat dinyatakan oleh fungsi perubahan ketebalan sampel pada pengujian konsolidasi di laboratorium sebagaimana ditunjukkan seperti pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Diagram fase tanah  
(Sumber : Craig ,2004)

Berdasarkan pada Gambar 3.8, dapat diperoleh persamaan :

$$\frac{\Delta e}{\Delta H} = \frac{1 + e_0}{H_0} \quad (2.16)$$

Dengan kadar air pada akhir pengujian ( $w_1$ ), angka pori pada akhir pengujian ( $e_1 = w_1 G_s$ ), ketebalan awal sampel ( $H_0$ ), perubahan ketebalan sampel ( $\Delta H$ ), angka pori pada awal pengujian ( $e_0 = e_1 + \Delta e$ ).

Dengan cara lain, nilai angka pori pada akhir pengujian dapat dinyatakan oleh :

$$e_1 = \frac{H_1 - H_s}{H_s} = \frac{H_1}{H_s} - 1 \quad (2.17)$$

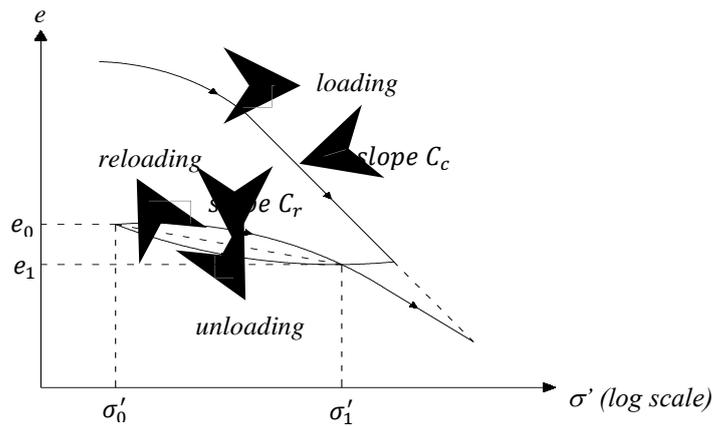
dengan massa kering tanah pada saat akhir pengujian ( $M_s$ ), ketebalan akhir sampel ( $H_1$ ), luas penampang sampel ( $A$ ), ketebalan ekuivalen bagian padat tanah ( $H_s = \frac{M_s}{AG_s}$ ).

Hasil pengujian konsolidasi ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan ketebalan (persentase perubahan ketebalan) dari benda uji atau angka pori terhadap tegangan efektif. Interpretasi hasil uji konsolidasi 1 D dengan alat consolidometer dapat diperoleh beberapa parameter sebagai berikut (Gambar 3.9) :

1. Indeks pemampatan ( $C_c$ ), yaitu kemiringan linier (*loading*) pada grafik hubungan  $e - \log \sigma'$  (tanpa satuan) ditentukan dengan menarik garis dari 2 titik pada garis lurus kurva *loading*.

$$C_c = \frac{e_0 - e_1}{\log \left( \frac{\sigma_1'}{\sigma_0'} \right)} \quad (2.18)$$

Nilai indeks pemampatan (*compression index*) dapat juga dihitung dengan pendekatan empiris melalui korelasi dengan hasil pengujian *index properties*.



**Gambar 2.7** Grafik hubungan  $e - \log \sigma'$   
 ( Sumber : (Hardiyatmo, 2010) dan (Das, 2010)

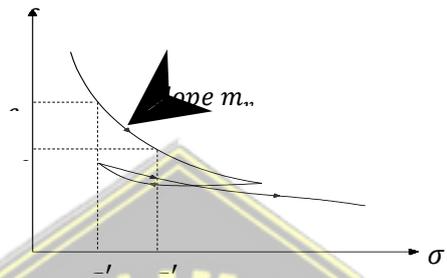
- Indeks pemampatan kembali atau *recompression index* ( $C_r$ ), yaitu kemiringan rata-rata dari kurva *unloading* dan *reloading* pada grafik  $e - \log \sigma'$ . Tanah akan berperilaku mengembang ketika beban dilepaskan (*unloading*), kemudian ketika beban diterapkan kembali (*reloading*) tanah akan kembali mengalami pemampatan.

$$C_r = \frac{e_0 - e_1}{\log \left( \frac{\sigma'_1}{\sigma'_0} \right)} \quad (2.19)$$

- Koefisien perubahan volume atau volume kompresibilitas ( $m_v$ ), adalah perubahan volume per satuan volume akibat kenaikan satu satuan tegangan efektif  $\left( \frac{m^2}{kN} \right)$ . Pada grafik hubungan  $\sigma' - \epsilon$  atau grafik hubungan  $\sigma' - e$ ,  $m_v$  diartikan sebagai kemiringan pada kurva antara 2 titik tegangan (Gambar 3.8). Perubahan volume dapat dinyatakan dalam angka pori atau tebal sampel karena asumsi luas sampel adalah tidak berubah, artinya apabila terjadi kenaikan tegangan efektif maka angka pori akan berkurang bersamaan dengan perubahan ketebalan sampel (Gambar 3.10).

$$m_v = \frac{1}{1+e_0} \left( \frac{e_0 - e_1}{\sigma'_1 - \sigma'_0} \right) = \frac{\left( \frac{\Delta e}{\Delta \sigma'} \right)}{1+e_0} \quad (2.20)$$

$$m_v = \frac{1}{H_0} \left( \frac{H_0 - H_1}{\sigma'_1 - \sigma'_0} \right) = \frac{\left( \frac{\Delta H}{\Delta \sigma'} \right)}{H_0} \quad (2.21)$$



**Gambar 2.8** Grafik konsolidasi  $e-\sigma'$   
(Sumber : Craig 2004)

Berdasarkan pada British Standart BS 1377:Part 5: 1990 (1990), pada pengujian konsolidasi 1 D di laboratorium digunakan parameter  $m_v$  dan  $c_v$  untuk menghitung besar dan laju penurunan konsolidasi, dengan nilai  $m_v$  dihitung untuk kenaikan tegangan 100 kN/m<sup>2</sup> diatas tegangan *overburden* efektif. Sehingga dalam perhitungan besar dan laju penurunan konsolidasi 1 D ini hanya digunakan parameter  $m_v$  dan  $c_v$

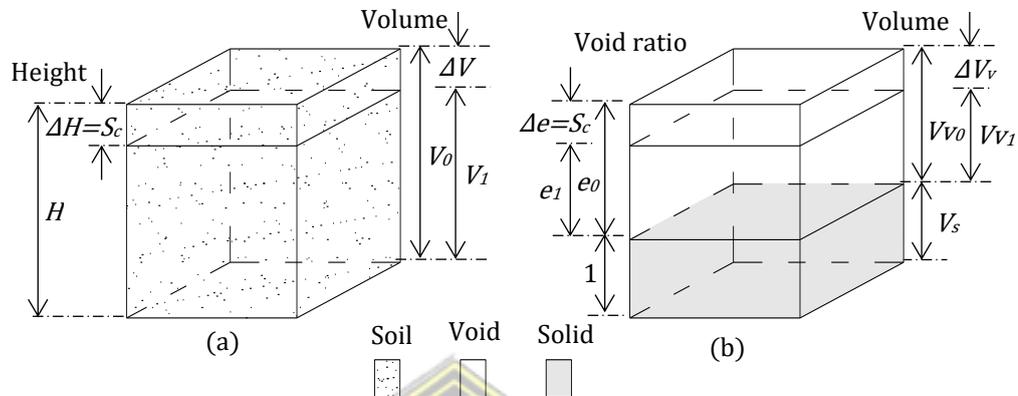
#### 2.4.2 Besar penurunan konsolidasi primer

Berdasarkan prinsip penurunan konsolidasi 1 D, apabila suatu lapisan tanah lempung jenuh dengan ketebalan  $H$ , kemudian menerima kenaikan tegangan efektif ( $\Delta \sigma'$ ), maka akan mengalami penurunan konsolidasi sebesar ( $\Delta H$ ) (Gambar 3.11.a). Regangan yang terjadi dinyatakan oleh,

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H} \quad (2.22)$$

Pengujian konsolidasi di laboratorium terhadap sampel tanah tak terganggu (*undisturb sample*) (Gambar 3.11.b), apabila sampel tanah mengalami kenaikan tegangan efektif sama seperti kondisi awal, maka angka pori akan berkurang dari  $e_0$  ke  $e_1$  dan regangan yang terjadi adalah :

$$\varepsilon = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \quad (2.23)$$



**Gambar 2.9** Penurunan akibat konsolidasi 1 D (a) kondisi dilapangan, (b) laboratorium (Sumber : Das 2010)

Berdasarkan Persamaan 3.39 dan Persamaan 3.40, pengurangan volume per unit volume sampel tanah dapat dinyatakan dalam hubungan angka pori :

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\Delta H}{H} = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \quad (2.24)$$

Apabila diasumsikan bahwa tidak ada regangan lateral, pengurangan volume per unit volume sama dengan pengurangan tebal per unit tebal, yaitu penurunan per satuan kedalaman. Penurunan lapisan tanah setebal  $dz$  dinyatakan oleh :

$$dS_c = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} dz \quad (2.25)$$

$$\begin{aligned} &= \left( \frac{e_0 - e_1}{\sigma'_1 + \sigma'_0} \right) \left( \frac{\sigma'_1 - \sigma'_0}{1 + e_0} \right) dz \\ &= m_v \Delta \sigma' dz \end{aligned} \quad (2.26)$$

dengan  $S_c$  adalah penurunan konsolidasi. Untuk penurunan pada lapisan tanah setebal  $H$  adalah,

$$S_c = \int_0^H m_v \Delta \sigma' dz \quad (2.27)$$

Jika  $m_v$  dan  $\Delta \sigma'$  dianggap konstan pada sembarang kedalaman, maka didapatkan persamaan penurunan konsolidasi :

$$S_c = m_v \Delta \sigma' H = \left( \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \right) H \quad (2.28)$$

Perhitungan  $S_c$  menggunakan parameter  $C_c$  atau  $C_r$  diperoleh dari grafik hubungan antara  $e - \log \sigma'$ . Apabila  $\Delta H = S_c$ , maka Persamaan 3.41 menjadi,

$$\Delta H = S_c = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H \quad (2.29)$$

Pada tanah lempung *normally consolidated* nilai perubahan angka pori dinyatakan oleh,

$$\Delta e = C_c \log \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma'}{\sigma'_0} \quad (2.30)$$

Untuk tanah lempung *overconsolidated* dengan  $\sigma'_0 + \Delta \sigma \leq \sigma'_c$  adalah,

$$\Delta e = C_r \log \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma'}{\sigma'_0} \quad (2.31)$$

Untuk  $\sigma'_0 < \sigma'_c < (\sigma'_0 + \Delta \sigma)$ , dengan  $\sigma'_c$  adalah tekanan prakonsolidasi adalah,

$$\Delta e = C_r \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} + C_c \log \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma'}{\sigma'_c} \quad (2.32)$$

### 2.4.3 Waktu konsolidasi

Selain perhitungan penurunan konsolidasi, dalam proses penurunan konsolidasi juga diperlukan waktu yang diperlukan untuk proses konsolidasi sampai dengan selesai. Perhitungan waktu konsolidasi sangat dipengaruhi oleh besarnya koefisien konsolidasi pada tanah. Sehingga diperlukan perhitungan terlebih dahulu untuk nilai  $c_v$  untuk setiap titik perhitungan dengan persamaan:

$$c_v = \frac{k}{\gamma_w m_v} \quad (2.33)$$

Setelah mendapatkan nilai koefisien konsolidasi, dapat dilakukan perhitungan waktu konsolidasi. Berdasarkan derajat konsolidasi ( $U$ ) dan faktor waktu ( $T_v$ ), dapat dilakukan perhitungan pendekatan untuk memperhitungkan waktu konsolidasi berlangsung. Derajat konsolidasi dan perhitungan faktor waktu dihitung sampai dengan tahap 90%, yaitu perhitungan sampai dengan mendekati proses konsolidasi selesai. Perhitungan tidak dilakukan sampai dengan tahap 100% karena dalam tahap ini membutuhkan waktu tak hingga. Oleh sebab itu, perhitungan waktu konsolidasi dilakukan untuk menentukan waktu yang dibutuhkan sampai proses konsolidasi dianggap selesai. Hubungan antara faktor waktu dan koefisien konsolidasi dengan waktu konsolidasi dapat dituliskan persamaan dalam menentukan waktu konsolidasi yaitu :

$$t = \frac{T_v d^2}{c_v} \quad (2.34)$$

dengan  $T_v$ ,  $d$  dan  $c_v$  adalah faktor waktu, tebal lapisan drainasi dan koefisien konsolidasi secara berurutan.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Pendahuluan

Pada metode penelitian menjelaskan tentang konsep dari penelitian, yaitu urutan metode yang dipakai dan alat serta bahan yang digunakan. Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk mengetahui besar penurunan tanah dan laju penurunan tanah pada Gedung Pesantren Mahasiswa Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang dipengaruhi oleh beban tanah timbunan.

### 3.2 Tahapan Penelitian

Tahap awal yang dilakukan pada penelitian adalah pengumpulan data atau tinjauan pustaka untuk mengetahui informasi terkait dengan penelitian ini. Kemudian tahap selanjutnya yaitu analisis data dengan perhitungan manual yang menggunakan metode Terzaghi 1 D serta analisis penurunan tanah menggunakan *software PLAXIS* dan dari pembahasan tersebut dapat ditarik kesimpulan.

#### 3.2.1 Tahap Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yaitu data yang tidak secara langsung didapatkan dari lapangan. Data tersebut yaitu data tanah gedung pesantren mahasiswa UNISSULA Semarang yang meliputi data *bor log* dan data uji laboratorium pada tanah di area pesantren mahasiswa UNISSULA.

#### 3.2.2 Data Tanah

##### a. Data Tanah Lapangan

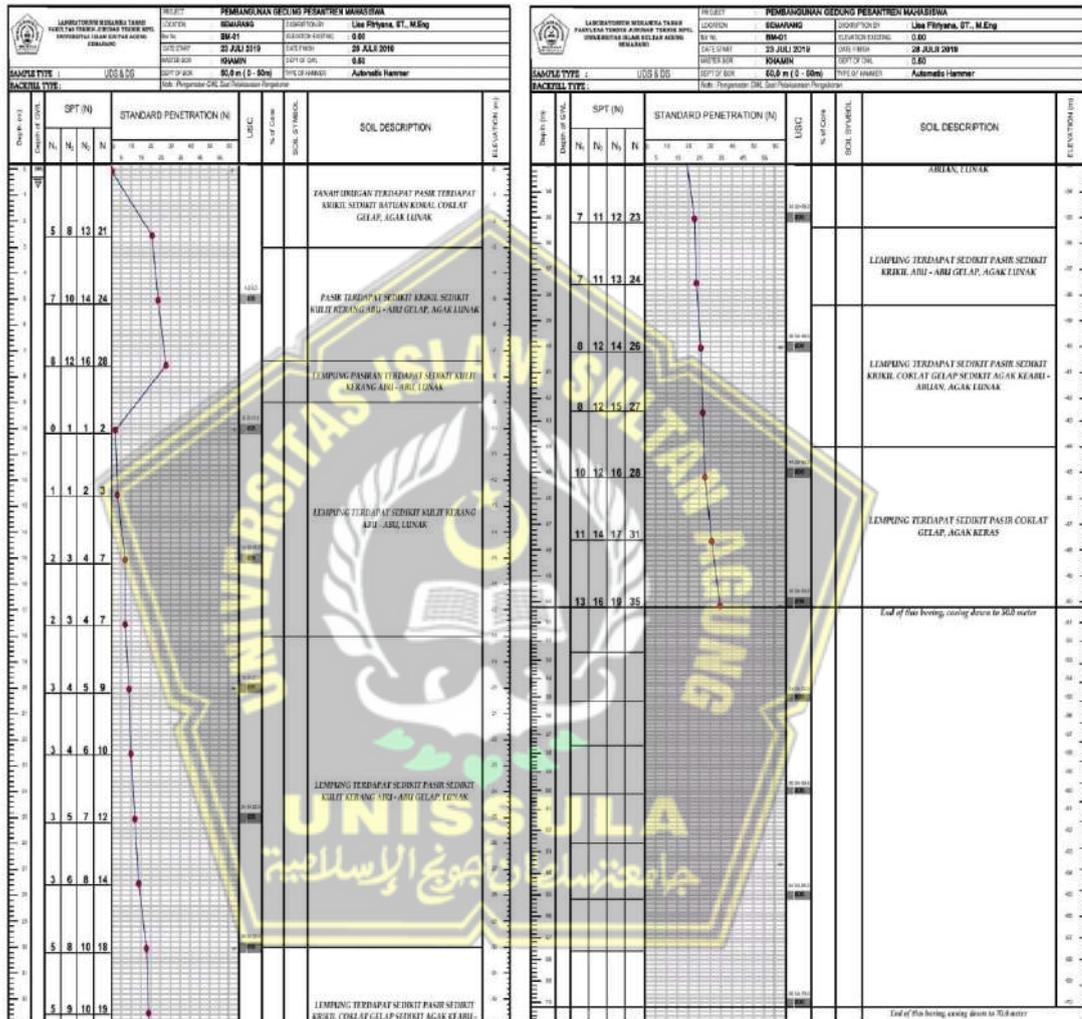
Data tanah yang penulis gunakan merupakan data yang diambil dari pengujian laboratorium Universitas Islam Sultan Agung Semarang

No	Sample No	Depth (m)	Gs	W (%)	$\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	e	n (%)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	Atterberg Limits			Gravel %	Sand %	Silt %	Clay %
											LL	PL	PI				
1	BM.1	5.00	2.539	37.979	1.445	1.047	1.425	0.588	0.362	29.35	NON PLASTIS			1.60	20.76	42.56	35.09
2	BM.1	10.00	2.527	56.927	1.665	1.061	1.382	0.580	0.040	25.10	52.00	41.19	10.81	3.22	18.41	39.31	39.06
3	BM.1	15.00	2.464	54.176	1.521	0.986	1.498	0.600	0.101	30.36	43.00	26.61	16.39	4.78	21.16	38.98	35.09
4	BM.1	20.00	2.539	64.324	1.503	0.914	1.777	0.640	0.064	22.86	42.00	25.93	16.07	17.78	9.05	44.02	29.15
5	BM.1	25.00	2.486	53.308	1.552	1.012	1.457	0.593	0.012	33.26	47.00	26.61	20.39	16.53	18.61	31.35	33.52
7	BM.2	30.00	2.539	37.011	1.578	1.152	1.205	0.546	0.233	28.32	46.00	24.53	21.47	14.28	17.86	37.40	30.47
8	BM.2	35.00	2.555	34.692	1.584	1.176	1.173	0.540	0.229	27.27	45.00	25.23	19.77	15.83	9.30	37.51	37.36
9	BM.2	40.00	2.514	42.125	1.603	1.128	1.229	0.551	0.342	30.36	41.00	25.68	15.32	7.08	19.51	38.76	34.66
10	BM.2	45.00	2.692	39.507	1.633	1.170	1.215	0.549	0.483	29.35	50.00	27.17	22.83	19.72	5.22	37.54	47.54
11	BM.2	50.00	2.579	37.123	1.604	1.170	1.205	0.547	0.229	44.53	51.00	25.23	25.77	6.53	8.91	40.75	43.82

**Gambar 3.1.** Data Tanah  
(Sumber : Laboratorium Mektan UNISSULA, 2019)

b. Data *Bor Log*

Data selanjutnya yang digunakan penulis adalah data *Bor Log* yang merupakan data galian tanah untuk mengetahui komposisi tanah dan juga kepadatan tanah disuatu titik. Data *Bor Log* yang digunakan penulis adalah data yang diambil dari pembangunan Gedung Pesantren Mhasiswa Universitas Islam Sultan Agung Semarang.



Gambar 3.2. Bor Log  
(Sumber : Laboratorium Mektan UNISSULA, 2019)

### 3.2.3 Analisis Data

Dalam melakukan analisis penurunan tanah (*land subsidence*) dan laju penurunan tanah terdapat Langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi dari data tanah SPT yang bertujuan untuk mengetahui faktor keamanan(SF).
2. Perhitungan beban bangunan menggunakan perhitungan manual dengan menggunakan metode *Terzhagi* 1 D serta beban angin dan beban gempa berdasarkan SNI-1727-2020.
3. Menganalisis menggunakan software plaxis versi 8.6. dengan tujuan untuk membandingkan dengan perhitungan manual.

### 3.2.4 Analisis Menggunakan Software Plaxis

Plaxis adalah program analisi geoteknik yang dapat digunakan untuk menganalisa stabilitastanah dengan menggunakan metode elemen yang dapat menganalisa tanah mendekati keadaan sebenarnya.

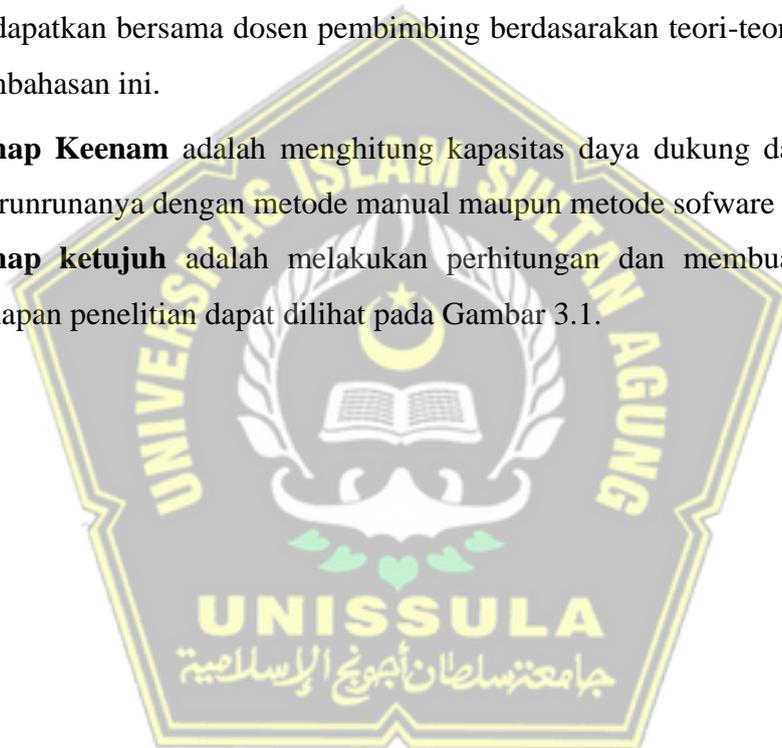
Mengalisis penurunan tanah menggunakan software plaxis dengan urutan sebagai berikut:

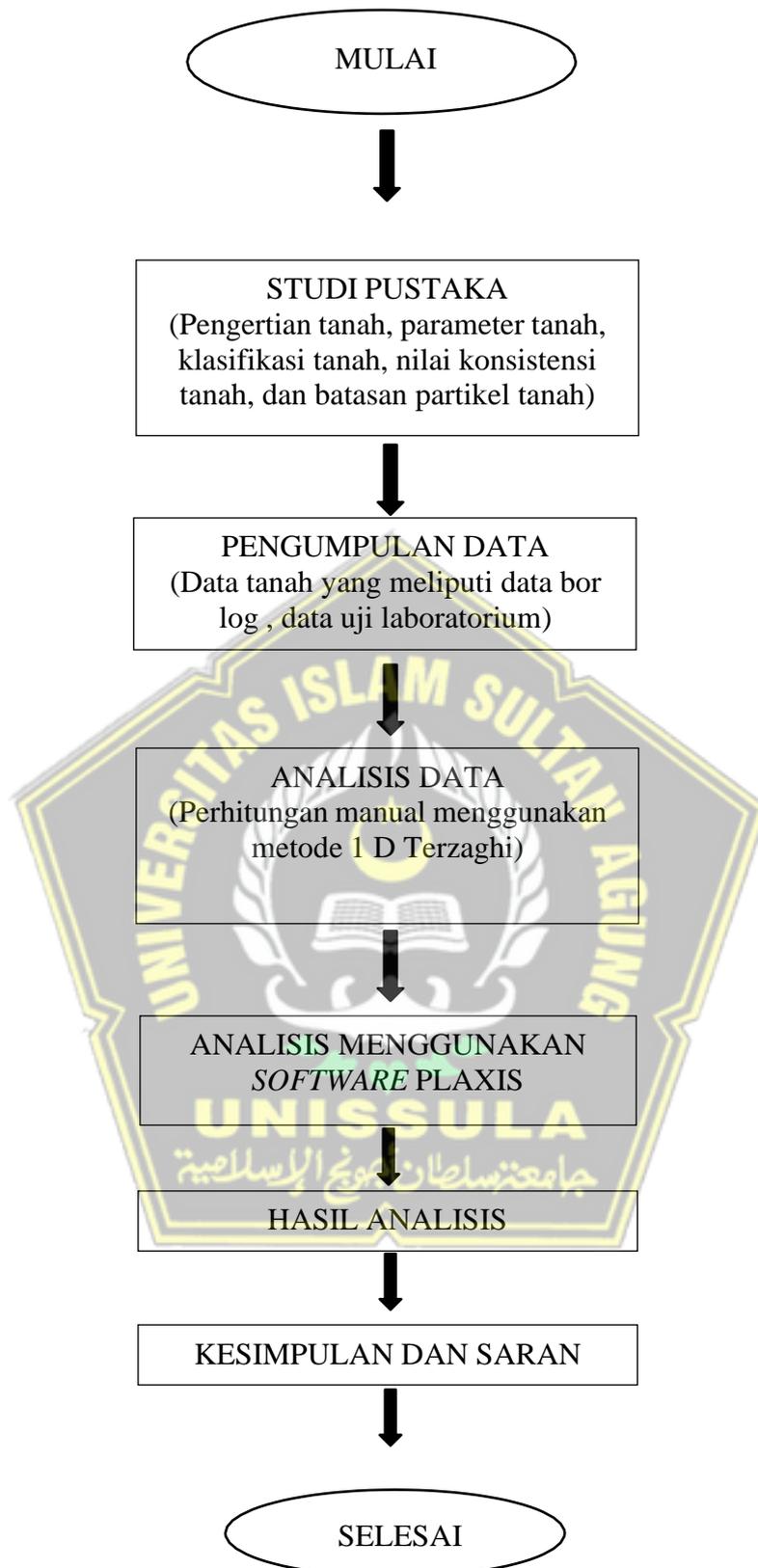
1. Membuat profil tanah, untuk membuat profil tanah perlu mengukur tanah membaginyamenjadi beberapa kategori
2. Membuat profil melintang pada tanah dilokasi bor yang sesuai dengan hasil analisis laboratorium.
3. Mengidentifikasi tanah, yaitu dengan cara memasukkan parameter yang sesuai dengan jenis tanah.
4. Membuat nama jenis tanah yang akan dimasukkan dalam permodelan plaxis.
5. Memberi pembebanan pada lapisan tanah sesuai dengan beban bangunan.
6. Membuat model beban tanah timbunan menggunakan tipe *well* untuk melihat penurunan tanah tersebut.
7. Kemudian lihat kondisi beban tanah timbunan awal.
8. Memasukkan parameter tanah pada stage *construction*.
9. Menunggu hasil running untuk mendapatkan besar penurunan tanah yang terjadi.

### 3.2.5 Diagram Alir

Untuk dapat mencapai maksud dan tujuan studi ini maka perlu dilakukan beberapa tahapan yang dianggap perlu antara lain :

1. **Tahap pertama** adalah studi kepustakaan terhadap *text book* dan jurnal-jurnal terkait *land subsidence*.
  2. **Tahap kedua** adalah menentukan lokasi pengambilan data pada proyek terkait.
  3. **Tahap ketiga** adalah pengumpulan data-data.
  4. **Tahap keempat** adalah melakukan analisis terhadap data-data yang sudah didapat berdasarkan formula yang ada.
  5. **Tahap Kelima** adalah diskusi serta membahas tentang data data yang telah didapatkan bersama dosen pembimbing berdasarkan teori-teori terkait dalam pembahasan ini.
  6. **Tahap Keenam** adalah menghitung kapasitas daya dukung dan perhitungan penurunannya dengan metode manual maupun metode software *PLAXIS V8.6*.
  7. **Tahap ketujuh** adalah melakukan perhitungan dan membuat kesimpulan.
- Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.





**Gambar 3.3.** Diagram alir penelitian

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

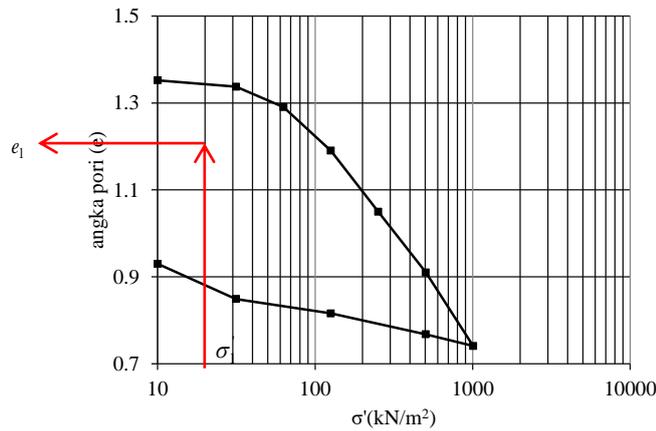
### 4.1 Parameter Penurunan Konsolidasi

Untuk menghitung besar dan laju konsolidasi digunakan parameter  $m_v$  dan  $c_v$  sesuai yang disarankan oleh BS 1377:Part 5:1990 (1995). Nilai  $m_v$  dipengaruhi oleh sejarah tegangan yang pernah diterima tanah pada masa lampau. Semakin besar tegangan yang pernah tanah diterima menyebabkan nilai  $m_v$  cenderung kecil akibat pengaruh perubahan volume tanah. Nilai  $c_v$  dipengaruhi oleh kecepatan disipasi air pori yang dinyatakan sebagai koefisien permeabilitas ( $k$ ), dan volume disipasi air pori sebagai fungsi kompresibilitas tanah ( $m_v$ ).

Dalam penelitian ini dilakukan pengumpulan data laporan penyelidikan tanah untuk pekerjaan desain konstruksi dari laboratorium mekanika tanah. Umumnya laporan tersebut tidak didesain untuk perhitungan penurunan konsolidasi. Adanya keterbatasan data parameter konsolidasi, sehingga untuk menentukan nilai  $m_v$  pada setiap kedalaman lapisan tanah yang ditinjau digunakan pendekatan korelasi.

### 4.2 Korelasi N-SPT dengan koefisien volume kompresibilitas ( $m_v$ )

Nilai N-SPT untuk setiap lapisan tanah diperoleh bersamaan dengan uji bor. Nilai N-SPT tersebut dapat dikorelasikan secara langsung dengan nilai  $m_v$  sebagaimana yang diusulkan oleh Stroud (1974). Pada penelitian ini, korelasi secara langsung antara N-SPT dengan  $m_v$  dilakukan dengan cara yang berbeda untuk memperoleh nilai  $m_v$  di setiap kedalaman lapisan tanah pada sembarang nilai N-SPT. Pengujian konsolidasi dilaboratorium dengan oedometer menghasilkan grafik hubungan  $e - \log \sigma'$ . Penentuan besarnya nilai  $m_v$  dilakukan sebagaimana yang disarankan oleh BS 1377:Part 5:1990 (1995). Sebagai contoh penentuan besarnya nilai  $m_v$  dapat dilihat pada grafik hubungan  $e - \log \sigma'$  (Gambar 4.1) dan perhitungan dibawah ini.



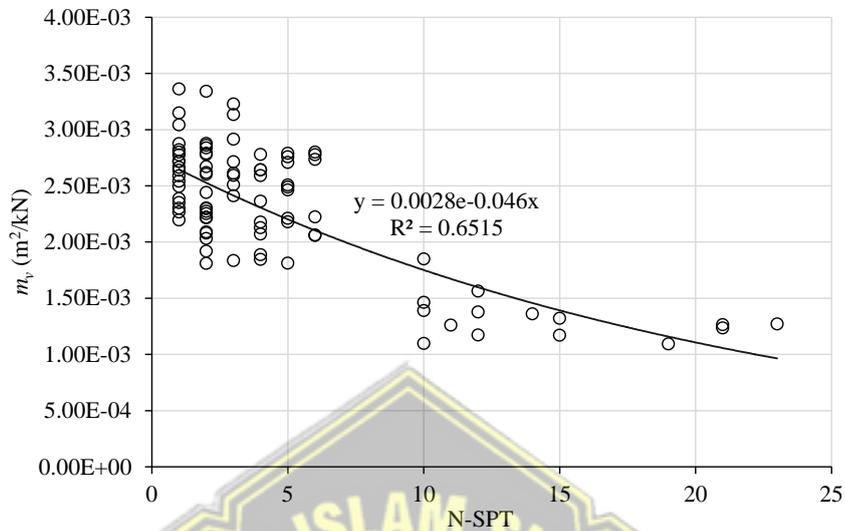
**Gambar 4.1** Grafik hubungan  $e - \log \sigma'$   
(Sumber : Masvika , 2018)

Kedalaman ( $D_f$ )	= 1	m
Berat volume tanah ( $\gamma_b$ )	= 16,67	kN/m <sup>2</sup>
Tekanan <i>overburden</i> efektif ( $\sigma_0'$ )	= 16,67	kN/m <sup>2</sup>
Perubahan tekanan <i>overburden</i> efektif ( $\sigma_1'$ )	= 116,67	kN/m <sup>2</sup>
Angka pori awal ( $e_0$ )	= 1,352	
Angka pori akhir ( $e_1$ )	= 1,2	
Koefisien volume kompresibilitas ( $m_v$ )	$= \frac{1 \cdot (e_0 - e_1)}{(1 + e_0)(\sigma_1' - \sigma_0')}$ $= \frac{1 \cdot (1,2 - 1,352)}{(1 + 1,352) \cdot (116,67 - 16,67)}$ $= 6,47 E - 04 \text{ m}^2/\text{kN}$	

Nilai angka pori akhir ( $e_1$ ) ditentukan berdasarkan nilai peningkatan tegangan efektif ( $\sigma_1'$ ) pada grafik hubungan  $e - \log \sigma'$ . Perhitungan nilai  $m_v$  pada setiap lapisan tanah untuk titik bor yang lain dapat dilihat pada Lampiran.

Korelasi antara nilai N-SPT dengan  $m_v$  pada tanah lempung dan tanah lanau dilakukan secara terpisah. Hal ini dikarenakan tanah lempung dan tanah lanau mempunyai karakteristik material tanah yang berbeda. Grafik korelasi hubungan N-SPT dengan  $m_v$  untuk tanah lempung di Konstruksi Gedung Pesantren Mahasiswa UNISSULA memiliki nilai koefisien determinasi sebesar 0,6515, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2.

Berdasarkan Gambar 4.2, dapat dilihat bahwa pada N-SPT antara 0-5 memiliki nilai  $m_v$  yang bervariasi, sedangkan untuk nilai N-SPT >10 mempunyai nilai  $m_v$  yang cenderung stabil.



**Gambar 4.2** Grafik korelasi N-SPT dengan  $m_v$  lempung di Kota Semarang (Sumber : Masvika, 2018)

Hubungan korelasi antara N-SPT dengan  $m_v$  untuk tanah lempung di Kota Semarang berdasarkan Gambar 4.2, dapat dituliskan dalam Persamaan 4.1.

$$m_v = 0,0028 E - 04 m^2/kN \quad (4.1)$$

Berdasarkan Persamaan 4.1, besarnya nilai  $m_v$  pada tanah lempung dapat ditentukan untuk sembarang nilai N-SPT, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Hasil korelasi N-SPT dengan  $m_v$  untuk lempung di Kota Semarang

N-SPT	$m_v$	N-SPT	$m_v$
	$\left(\frac{m^2}{kN}\right)$		$\left(\frac{m^2}{kN}\right)$
0	2,80E-03	16	1,48E-03
1	2,69E-03	17	1,42E-03
2	2,58E-03	18	1,36E-03
3	2,48E-03	19	1,31E-03
4	2,39E-03	20	1,26E-03
5	2,29E-03	21	1,21E-03
6	2,20E-03	22	1,16E-03
7	2,12E-03	23	1,12E-03
8	2,03E-03	24	1,07E-03
9	1,95E-03	25	1,03E-03
10	1,88E-03	26	9,90E-04
11	1,80E-03	27	9,51E-04
12	1,73E-03	28	9,14E-04
13	1,66E-03	29	8,78E-04
14	1,60E-03	30	8,43E-04
N-SPT	$m_v$	N-SPT	$m_v$
	$\left(\frac{m^2}{kN}\right)$		$\left(\frac{m^2}{kN}\right)$
32	7,79E-04	48	4,10E-04
33	7,74E-04	49	3,94E-04
34	7,48E-04	50	3,79E-04
35	6,90E-04	51	3,64E-04
36	6,63E-04	52	3,50E-04
37	6,37E-04	53	3,36E-04
38	6,12E-04	54	3,23E-04
39	5,88E-04	55	3,10E-04
40	5,65E-04	56	2,98E-04
41	5,43E-04	57	2,86E-04
42	5,22E-04	58	2,75E-04
43	5,01E-04	59	2,64E-04
44	4,82E-04	60	2,54E-04
45	4,63E-04		
46	4,45E-04		
47	4,27E-04		

(Sumber : Masvika, 2018)

Secara umum, berdasarkan grafik hasil korelasi antara N-SPT dengan  $m_v$  untuk tanah lempung, dapat dilihat bahwa semakin besar nilai N-SPT maka semakin kecil nilai  $m_v$  yang dihasilkan.

#### 4.2.1 Korelasi N-SPT dengan koefisien konsolidasi ( $c_v$ )

Data hasil uji konsolidasi yang diperoleh tidak memberikan nilai koefisien konsolidasi ( $c_v$ ) setiap lapisan tanah. Oleh karena itu, untuk menentukan besarnya nilai  $c_v$  setiap lapisan tanah dapat dilakukan dengan pendekatan korelasi. Korelasi antara N-SPT dengan  $c_v$  memberikan nilai koefisien determinasi yang kecil, sehingga tidak bisa dilakukan korelasi secara langsung antara N-SPT dengan  $c_v$ . Besarnya nilai  $c_v$  dipengaruhi oleh parameter kompresibilitas dan permeabilitas tanah. Prediksi nilai  $c_v$  untuk setiap kedalaman lapisan tanah dapat dilakukan berdasarkan kedua parameter tersebut, sebagaimana pada Persamaan 3.5.

Parameter  $m_v$  diperoleh dari hasil korelasi antara N-SPT dengan  $m_v$  sebelumnya, sedangkan nilai koefisien permeabilitas ( $k$ ) ditentukan mengikuti nilai tipikal koefisien permeabilitas tanah sesuai dengan BS 8004:1986 (1998). Nilai  $k$  pada tanah lempung berada pada rentang  $10^{-10}$  sampai  $5 \cdot 10^{-7}$  m/s, sedangkan untuk tanah lanau digunakan  $5 \cdot 10^{-8}$  sampai  $5 \cdot 10^{-5}$  m/s. Adapun contoh perhitungan nilai  $c_v$  pada tanah lempung diuraikan seperti dibawah ini.

$$\begin{aligned} \text{N-SPT} &= 0 \\ m_v &= 2,80\text{E-}03 \quad \text{m}^2/\text{kN} \\ \gamma_w &= 10 \quad \text{kN}/\text{m}^3 \\ k_{\min} &= 1,00\text{E-}10 \quad \text{m}/\text{s} \\ k_{\max} &= 5,00\text{E-}07 \quad \text{m}/\text{s} \\ c_{v,\min} &= \frac{k_{\min}}{\gamma_w m_v} = 3,57\text{E-}09 \quad \text{m}^2/\text{s} \\ c_{v,\max} &= \frac{k_{\max}}{\gamma_w m_v} = 1,79\text{E-}05 \quad \text{m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

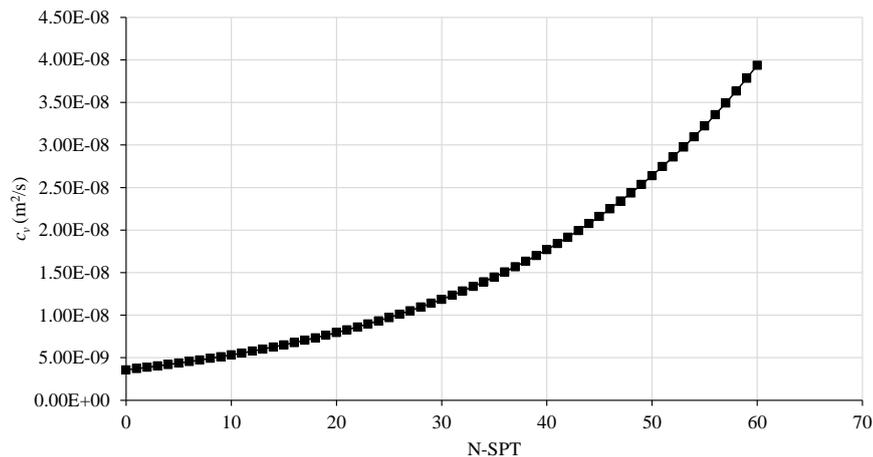
Hasil perhitungan diatas menunjukkan bahwa pada tanah lempung dengan nilai NSPT: 0, nilai  $c_v$  berada pada kisaran  $3,57\text{E-}09 \text{ m}^2/\text{s}$  sampai  $1,79\text{E-}05 \text{ m}^2/\text{s}$ . Besarnya nilai  $c_v$  berbanding lurus dengan nilai  $k$ , dengan kata nilai permeabilitas minimum menghasil nilai koefisien konsolidasi minimum, begitu juga sebaliknya. Perhitungan nilai  $c_v$  untuk sembarang nilai N-SPT ditunjukkan pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Nilai  $c_v$  pada sembarang nilai N-SPT tanah lempung di Semarang

N-SPT	$m_v$ (m <sup>2</sup> /kN)	$C_v$ (m <sup>2</sup> /s)		N-SPT	$m_v$ (m <sup>2</sup> /kN)	$C_v$ (m <sup>2</sup> /s)	
		min	maks			Min	maks
0	2,80E-03	3,57E-07	1,79E-05	31	8,10E-04	1,23E-08	6,17E-05
1	2,69E-03	3,72E-07	1,86E-05	32	7,79E-04	1,28E-08	6,42E-05
2	2,58E-03	4,73E-07	1,93E-05	33	7,48E-04	1,34E-08	6,68E-05
3	2,48E-03	4,03E-09	2,01E-05	34	7,19E-04	1,39E-08	6,96E-05
4	2,39E-03	4,19E-09	2,10E-05	35	6,90E-04	1,45E-08	7,24E-05
5	2,29E-03	4,36E-09	2,18E-05	36	6,63E-04	1,51E-08	7,54E-05
6	2,20E-03	4,54E-09	2,27E-05	37	6,37E-04	1,57E-08	7,84E-05
7	2,12E-03	3,87E-09	2,36E-05	38	6,12E-04	1,63E-08	8,16E-05
8	2,03E-03	4,92E-09	2,46E-05	39	5,88E-04	1,70E-08	8,50E-05
9	1,95E-03	5,12E-09	2,56E-05	40	5,65E-04	1,77E-08	8,84E-05
10	1,88E-03	5,33E-09	2,66E-05	41	5,43E-04	1,84E-08	9,21E-05
11	1,80E-03	5,55E-09	2,77E-05	42	5,22E-04	1,92E-08	9,58E-05
12	1,73E-03	5,77E-09	2,89E-05	43	5,01E-04	1,99E-08	9,97E-05
13	1,66E-03	6,01E-09	3,00E-05	44	4,82E-04	2,08E-08	1,04E-04
14	1,60E-03	6,25E-09	3,13E-05	45	4,63E-04	2,16E-08	1,08E-04
15	1,54E-03	6,51E-09	3,25E-05	46	4,45E-04	2,25E-08	1,12E-04
16	1,48E-03	6,77E-09	3,39E-05	47	4,27E-04	2,34E-08	1,17E-04
17	1,42E-03	7,05E-09	3,52E-05	48	4,10E-04	2,44E-08	1,22E-04
18	1,36E-03	7,34E-09	3,67E-05	49	3,94E-04	2,54E-08	1,27E-04
19	1,31E-03	7,64E-09	3,82E-05	50	3,79E-04	2,64E-08	1,32E-04
20	1,26E-03	7,95E-09	3,97E-05	51	3,64E-04	2,75E-08	1,37E-04
21	1,21E-03	8,27E-09	4,14E-05	52	3,50E-04	2,86E-08	1,43E-04
22	1,16E-03	8,61E-09	4,31E-05	53	3,36E-04	2,98E-08	1,49E-04
23	1,12E-03	8,96E-09	4,48E-05	54	3,23E-04	3,10E-08	1,55E-04
24	1,07E-03	9,33E-09	4,66E-05	55	3,10E-04	3,22E-08	1,61E-04
25	1,03E-03	9,71E-09	4,85E-05	56	2,98E-04	3,35E-08	1,68E-04
26	9,90E-04	1,01E-08	5,05E-05	57	2,86E-04	3,49E-08	1,75E-04
27	9,51E-04	1,05E-08	5,26E-05	58	2,75E-04	3,63E-08	1,82E-04
28	9,14E-04	1,09E-08	5,47E-05	59	2,64E-04	3,78E-08	1,89E-04
29	8,78E-04	1,14E-08	5,70E-05	60	2,54E-04	3,94E-08	1,97E-04
30	8,43E-04	1,19E-08	5,93E-05				

(Sumber : Masvika, 2018)

Grafik hubungan antara N-SPT dengan  $c_v$  untuk tanah lempung pada kondisi permeabilitas minimum ditunjukkan oleh Gambar 4.3. Berdasarkan Gambar 4.3, dapat dilihat bahwa besarnya nilai  $c_v$  pada tanah lempung berbanding lurus dengan nilai N-SPT. Hal ini terjadi karena, nilai koefisien konsolidasi dihitung berdasarkan kompresibilitas tanah terhadap nilai N-SPT.

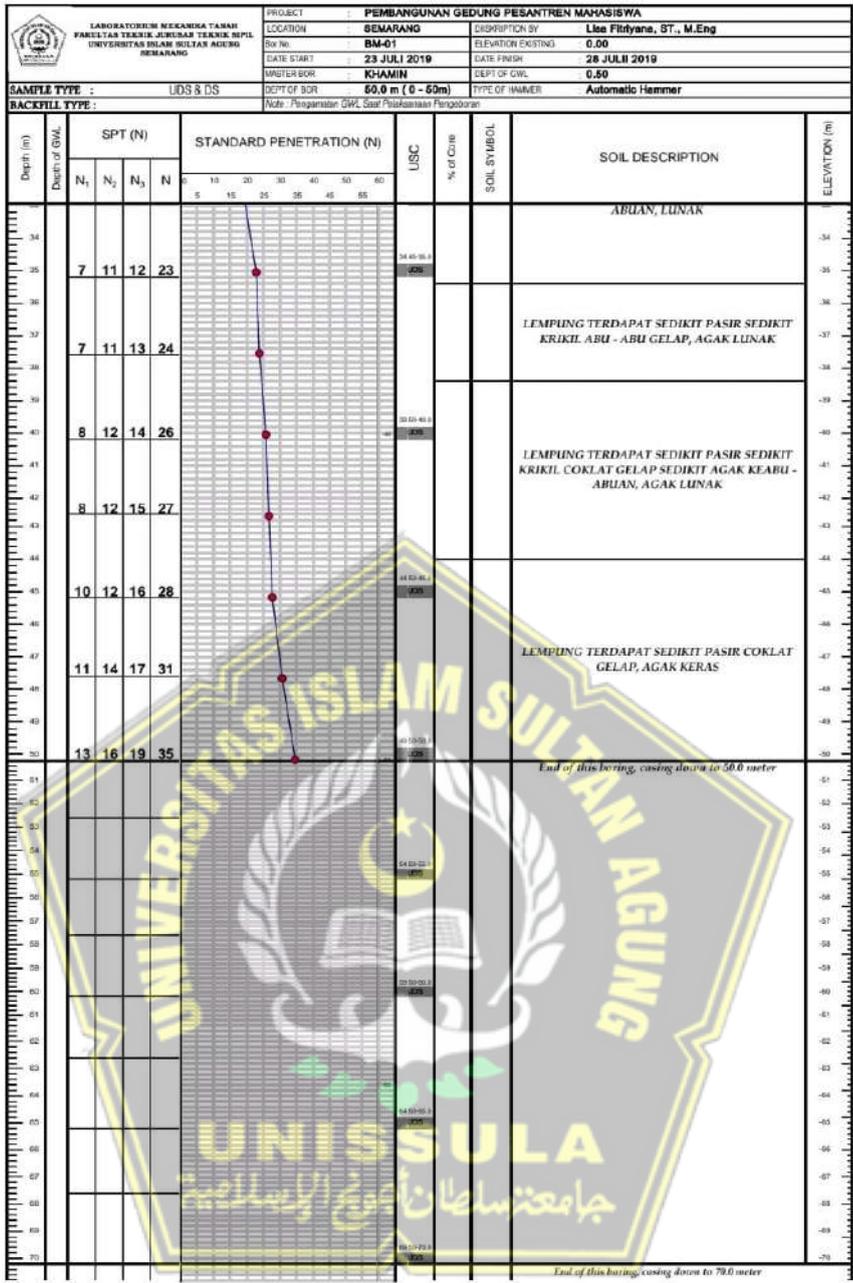


**Gambar 4.3** Hubungan N-SPT dengan  $c_v$  pada tanah lempung untuk kondisi  $k_{min}$   
(Sumber : Masvika ,2018)

### 4.3 Penurunan Konsolidasi Primer

Gambar urutan pelapisan tanah tipikal di Gedung Pesantren Mahasiswa UNISSULA berdasarkan data *borehole* ditunjukkan pada Gambar 4.4. Berdasarkan Gambar 4.4, diketahui pada kedalaman  $\pm 0,00$  m sampai  $-7,5$  m dari permukaan tanah, berupa tanah timbunan. Kedalaman  $-7,5$  m sampai  $-12,5$  m lapisan tanah berupa lempung terdapat sedikit kulit kerang dengan kepadatan lepas memiliki nilai N-SPT=3. Pada kedalaman  $-12,5$  m sampai  $-17,5$  m lapisan tanah berupa lempung kepasiran, kepadatan medium dengan N-SPT=7. Kedalaman  $-17,5$  m sampai  $-27,5$  m lapisan tanah berupa lempung kepasiran, lepas sampai sangat lepas dengan N-SPT=14. Selanjutnya, pada kedalaman  $-27,5$  m sampai  $-45$  m lapisan tanah berupa tanah lempung sedikit pasir, konsistensi dengan N-SPT=28. Kedalaman  $-45$  m sampai  $-50$  m lapisan tanah berupa lempung sedikit pasir, dengan nilai N-SPT = 35. Total ketebalan lapisan tanah konsolidasi yang digunakan dalam perhitungan ini setebal 50 m.

DEPTH (m)		SPT (N)				STANDARD PENETRATION (N)		USC	% of Core	SOIL SYMBOL	SOIL DESCRIPTION	ELEVATION (m)
Depth of GUL	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N	0	10	20	30	40	50	60	
0					5	8	13	21				0
1												-1
2												-2
3												-3
4												-4
5					7	10	14	24				-5
6												-6
7					8	12	16	28				-7
8												-8
9												-9
10					0	1	1	2				-10
11												-11
12					1	1	2	3				-12
13												-13
14					2	3	4	7				-14
15												-15
16					2	3	4	7				-16
17												-17
18					2	3	4	7				-18
19												-19
20					3	4	5	9				-20
21												-21
22					3	4	6	10				-22
23												-23
24					3	5	7	12				-24
25												-25
26					3	6	8	14				-26
27												-27
28												-28
29												-29
30					5	8	10	18				-30
31												-31
32					5	9	10	19				-32
33												-33



**Gambar 4.4** Data Bor Log Pembangunan Pesantren Mahasiswa  
(Sumber : Laboratorium Mektan UNISSULA, 2019)

### 4.3.1 Perhitungan Penurunan Konsolidasi

Perhitungan besar penurunan konsolidasi dihitung berdasarkan Persamaan 2.28. Nilai  $m_v$  diperoleh dari hasil korelasi antara N-SPT dengan  $m_v$  (Pembahasan 4.3), sedangkan ketebalan lapisan tanah konsolidasi ( $H$ ) ditentukan berdasarkan diskripsi sesuai *borlog*. Parameter tambahan tegangan ( $\Delta\sigma'$ ) hanya dihitung akibat beban timbunan dengan nilai  $\gamma_{timbunan} = 17 \text{ kN/m}^3$ . Jika  $m_v$  dan  $\Delta\sigma'$  dianggap konstan pada sembarang kedalaman, maka didapatkan persamaan penurunan konsolidasi :

$$m_v = 1,31 \text{ E-03 } m^2/\text{kN}$$

$$(\Delta\sigma') = 17 \text{ kN/m}^3$$

$H = 2,5 \text{ m}$ , nilai  $H$  diperoleh berdasarkan hasil *bor log* dengan konsistensi *very stiff*.

Berikut adalah contoh perhitungan besar konsolidasi yang telah dituliskan pada tabel kolom nomor 13.

$$\begin{aligned} S_c &= m_v \cdot \Delta\sigma' \cdot H \\ &= 1,31 \text{ E-03 } m^2/\text{kN} \cdot 17 \text{ kN/m}^3 \cdot 2,5 \text{ m} \\ &= 5,57 \text{ E-02 } m \end{aligned}$$

Kemudian untuk memperoleh nilai dari penurunan konsolidasi total dapat diperoleh melalui persamaan berikut :

$$\begin{aligned} S_T &= \text{Penurunan Tiap Lapisan} + \text{Penurunan Total} \\ &= 8,86 \text{ E-02 } m + 5,57 \text{ E-02 } m \\ &= 9,42 \text{ E-01 } m \\ &= 9,42 \text{ cm} \end{aligned}$$

**Tabel 4.3** Perhitungan Penurunan Konsolidasi

PEMBANGUNAN GEDUNG PESANTREN MAHASISWA UNISSULA										
NO	LAPISAN TANAH	KONSISTENSI	SPT	Qu (kPa)	N-SPT	TEBAL (H)	$m_v$	$\Delta\sigma'$	PENURUNAN TIAP LAPISAN	PENURUNAN TOTAL
1	TANAH URUGAN	VERY STIFF	15-30	200-400	21	2	1,21E-03	17	4,11E-02	4,11E-02
2	PASIR	VERY STIFF	15-30	200-400	24	2,5	1,07E-03	17	4,55E-02	8,66E-02
3	LEMPUNG KEPASIRAN	VERY STIFF	15-30	200-400	28	2,5	9,14E-04	17	3,88E-02	1,25E-01
4	LEMPUNG	SOFT	2-8	25-80	2	3	2,58E-03	17	1,32E-01	2,57E-01
5	LEMPUNG	SOFT	2-8	25-80	3	2,5	2,12E-03	17	9,01E-02	3,47E-01
6	LEMPUNG	SOFT	4-8	50-100	7	2,5	2,12E-03	17	9,01E-02	4,37E-01
7	LEMPUNG	SOFT	4-8	50-100	7	2,5	2,12E-03	17	9,01E-02	5,27E-01
8	LEMPUNG	STIFF	8-15	100-400	9	2,5	1,95E-03	17	8,29E-02	6,10E-01
9	LEMPUNG	STIFF	8-15	100-400	10	2,5	1,80E-03	17	7,65E-02	6,87E-01
10	LEMPUNG	STIFF	8-15	100-400	12	2,5	1,73E-03	17	7,35E-02	7,60E-01
11	LEMPUNG	STIFF	8-15	100-400	14	2,5	1,60E-03	17	6,80E-02	8,28E-01
12	LEMPUNG	VERY STIFF	15-30	200-400	18	2,5	1,36E-03	17	5,78E-02	8,86E-01
13	LEMPUNG	VERY STIFF	15-30	200-400	19	2,5	1,31E-03	17	5,57E-02	9,42E-01
KEDALAMAN						32,5				

Penurunan konsolidasi total pada Gedung Pesantren Mahasiswa Universitas Islam Sultan Agung Semarang akibat beban tanah timbunan sebesar 9,42E-01m atau setara dengan 94,2 cm. Penurunan konsolidasi dipengaruhi oleh besarnya koefisien volume kompresibilitas ( $m_v$ ), besar tegangan efektif ( $\Delta\sigma'$ ), dan ketebalan tiap lapisan ( $H$ ).

### 4.3.2 Laju Penurunan Konsolidasi

Berdasarkan Tabel 4.4, diketahui bahwa penurunan konsolidasi di Gedung Pesantren Mahasiswa sebesar 1,43 m diperkirakan berlangsung selama 69,52 tahun, sehingga diperoleh laju penurunan tanah sebesar 1,363 cm/tahun. Penurunan tanah yang terjadi di Gedung Pesantren Mahasiswa dipengaruhi oleh faktor ketebalan lapisan konsolidasi ( $H$ ) sebesar 32,5 m dan beban timbunan setinggi 7,5 m.

Berdasarkan hasil perhitungan laju penurunan konsolidasi di Gedung pesantren Mahasiswa, diketahui bahwa besarnya laju penurunan tanah dipengaruhi oleh waktu konsolidasi. Dengan kata lain, semakin besar waktu yang diperlukan sampai dengan proses konsolidasi selesai, maka laju penurunan tanah semakin kecil.

Perhitungan laju konsolidasi dapat dihitung dengan berikut :

$$\begin{aligned} N\text{-SPT}_{\min} &= 2 \\ \text{Jenis Tanah} &= \text{Lempung} \\ c_v &= 4,73\text{E-}07 \text{ m}^2/\text{s} , \text{ nilai } c_v \text{ diperoleh pada tabel 4.2.} \\ k &= 1\text{E-}10 \text{ m/s} , \text{ nilai } k \text{ ditentukan mengikuti nilai tipikal koefisien} \\ &\text{tanah sesuai dengan BS 8004;1986 (1998) yaitu , nilai } k \text{ pada} \\ &\text{tanah lempung berada pada rentan } 1\text{E-}10 \text{ m/s sampai dengan} \\ &5 \text{ E-}07 \text{ m/s} \\ H &= 32,5 \text{ m} \\ S_c &= 9,42\text{E-}01 \text{ m} \\ &= 94,2 \text{ cm} \end{aligned}$$

Untuk mengetahui besar laju konsolidasi pada Gedung Pesantren Mahasiswa Universitas Islam Sultan Agung Semarang menggunakan koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) pada N-SPT minimal. Selain itu dipengaruhi juga oleh permeabilitas ( $K$ ) dan juga total kedalaman ( $H$ ) pada data *bor log*. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk mendapatkan hasil laju konsolidasi :

$$\begin{aligned} \text{Laju Konsolidasi} &= \frac{S_c}{\text{Waktu}} \\ &= \frac{8,48\text{E-}01}{6,00\text{E+1}} \\ &= 1,41\text{E-}01 \text{ m/tahun} \\ &= 1,41 \text{ cm/tahun} \end{aligned}$$

**Tabel 4.4** Perhitungan Laju Konsolidasi

NO	U	$T_v$	PENURUNAN (Sc)	HARI	TAHUN
1	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
2	0,05	1,96E-03	4,71E-02	5,07E+01	1,39E-01
3	0,10	7,85E-03	9,42E-02	2,03E+02	5,56E-01
4	0,15	1,77E-02	1,41E-01	4,57E+02	1,25E+00
5	0,20	3,14E-02	1,88E-01	8,12E+02	2,22E+00
6	0,25	4,91E-02	2,35E-01	1,27E+03	3,48E+00
7	0,30	7,07E-02	2,83E-01	1,83E+03	5,01E+00
8	0,35	9,62E-02	3,30E-01	2,49E+03	6,81E+00
9	0,40	1,26E-01	3,77E-01	3,25E+03	8,90E+00
10	0,45	1,59E-01	4,24E-01	4,11E+03	1,13E+01
11	0,50	1,96E-01	4,71E-01	5,07E+03	1,39E+01
12	0,55	2,38E-01	5,18E-01	6,14E+03	1,68E+01
13	0,60	2,83E-01	5,65E-01	7,31E+03	2,00E+01
14	0,65	3,40E-01	6,12E-01	8,80E+03	2,41E+01
15	0,70	4,03E-01	6,59E-01	1,04E+04	2,85E+01
16	0,75	4,77E-01	7,06E-01	1,23E+04	3,38E+01
17	0,80	5,67E-01	7,53E-01	1,47E+04	4,02E+01
18	0,85	6,84E-01	8,00E-01	1,77E+04	4,84E+01
19	0,90	8,48E-01	8,48E-01	2,19E+04	6,00E+01

#### 4.4 Penurunan Tanah Menggunakan Software PLAXIS 8.6

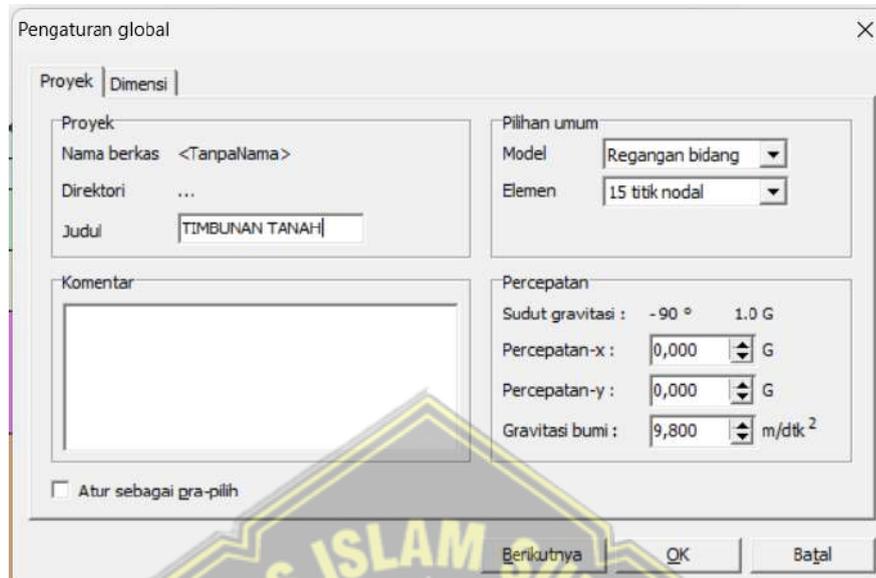
Software PLAXIS ini digunakan untuk membuat pemodelan penurunan tanah untuk mengetahui besarnya penurunan tanah akibat beban tanah timbunan yang diterima. Berikut adalah data yang digunakan untuk pemodelan pada program plaxis untuk merencanakan fondasi dilihat pada Tabel 4.20.

**Tabel 4.5** Parameter Tanah dengan N-SPT

Dept (m)	Konsistensi	Klasifikasi N-SPT	N-SPT	Deskripsi	E (kN/m <sup>2</sup> )	C (kN/m <sup>2</sup> )	$\Phi$ (Phi)	Kx (m/s)	Ky (m/s)	V	$\gamma_{unsat}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>2</sup> )
Timbunan	Sangat Kaku	15 - 30	28	Clay	28000	20,1	27,225	2,20E-05	2,20E-05	0,334	8,54	13,55
7,5 - 12,5	Lunak	2 - 4	3	Clay	3000	7,05	27,73	4,50E-03	4,50E-03	0,334	10,235	15,93
12,5 - 17,5	Medium	5 - 8	7	Clay	7000	6,83	26,107	4,50E-03	4,50E-03	0,334	9,87	15,63
17,5 - 27,5	Kaku	9 - 15	14	Clay	14000	10,3	28,7	3,90E-04	3,90E-04	0,334	10,16	15,39
27,5 - 45	Sangat Kaku	15-30	28	Clay	28000	26	29,712	2,20E-05	2,20E-05	0,334	11,28	15,9
45 - 50	Hard	730	35	Clay	35000	35,6	39,94	4,30E-05	4,30E-05	0,334	11,70	16,19

Berikut Langkah-langkah untuk perhitungan penurunan tanah menggunakan software PLAXIS versi 8.6 :

1. Untuk tahap pertama input data menggunakan *software* PLAXIS v.8.6 dengan menentukan judul, dapat dilihat pada gambar 4.5



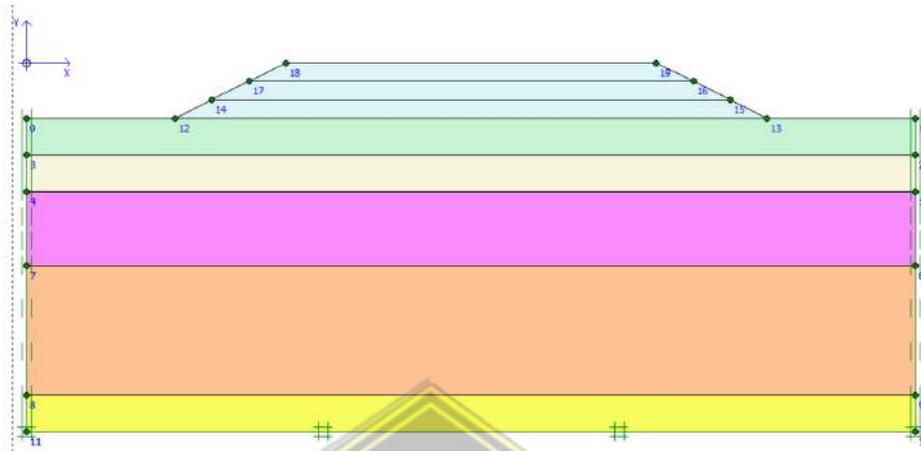
**Gambar 4.5** Pengaturan *Global-Project*

2. Kemudian input satuan dan data dimensi sesuai dengan kedalaman tanah yang direncanakan, dapat dilihat pada gambar 4.6



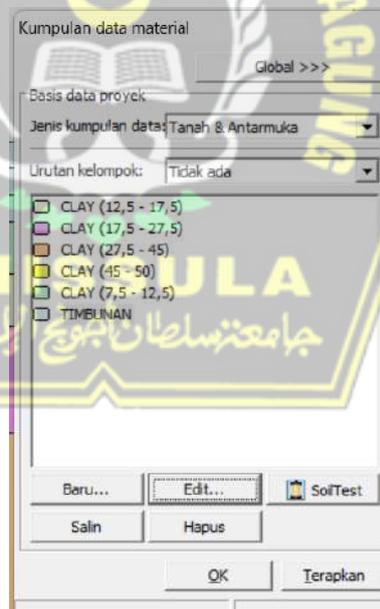
**Gambar 4.6** Pengaturan *Global-Dimensi*

3. Selanjutnya, klik  untuk mengatur pemodelan kontur, dapat dilihat pada gambar 4.7.



**Gambar 4.7** Permodelan Kontur Tanah

4. Lalu klik  untuk menentukan material tanah sesuai data yang digunakan, dilihat pada gambar 4.8 hingga gambar 4.11.



**Gambar 4.8** Kumpulan Data Material

Mohr-Coulomb - TIMBUNAN

Umum | Parameter | Antarmuka

Kumpulan material

Identifikasi:

Model material:

Jenis material:

Sifat umum

$\gamma_{unsat}$ :  kN/m<sup>3</sup>

$\gamma_{sat}$ :  kN/m<sup>3</sup>

Komentar

Permeabilitas

$k_x$ :  m/hari

$k_y$ :  m/hari

**Gambar 4.9** Data Umum

Mohr-Coulomb - TIMBUNAN

Umum | Parameter | Antarmuka

Kekakuan

$E_{ref}$ :  kN/m<sup>2</sup>

$\nu$  (nu):

Kekuatan

$c_{ref}$ :  kN/m<sup>2</sup>

$\phi$  (phi):  °

$\psi$  (psi):  °

Alternatif

$G_{ref}$ :  kN/m<sup>2</sup>

$E_{oed}$ :  kN/m<sup>2</sup>

Kecepatan

$V_s$ :  m/dtk

$V_p$ :  m/dtk

**Gambar 4.10** Mohr Coulomb

Mohr-Coulomb - TIMBUNAN

Umum | Parameter | Antarmuka

Kekuatan

Kekuj

Manual

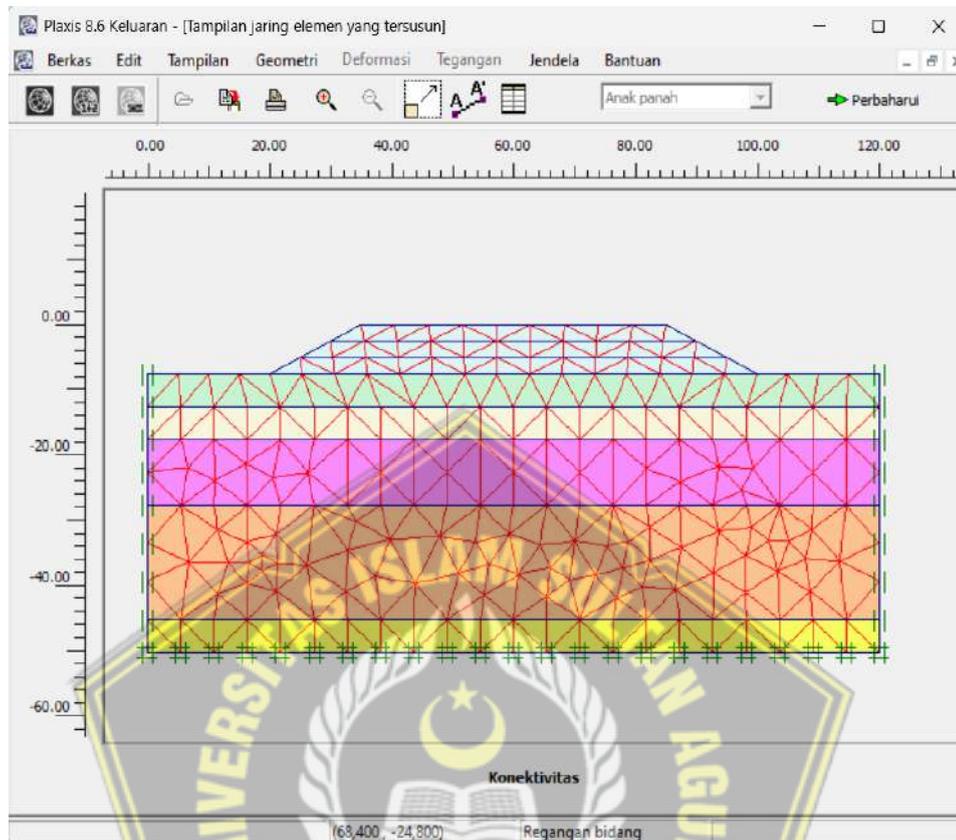
$R_{inter}$ :

Tebal antarmuka sebenarnya

$\delta_{inter}$ :

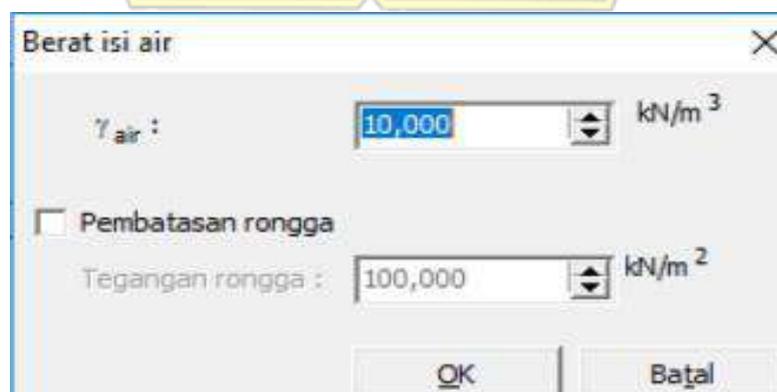
**Gambar 4.11** Dialog Muka Material Tanah

5. Lalu klik  untuk mengetahui susunan jaringan antara elemen, sesuai gambar 4.12.

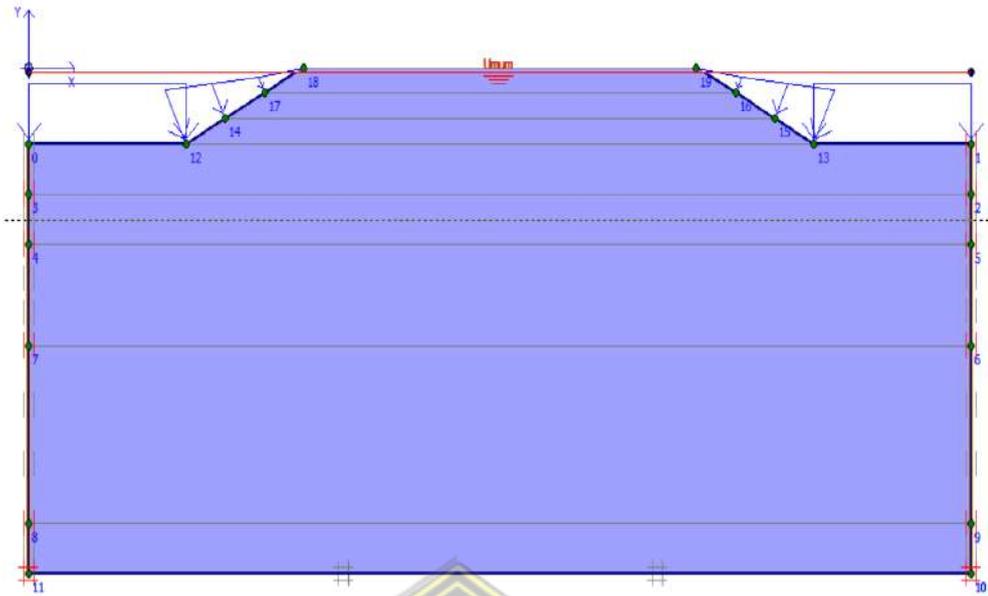


**Gambar 4.12** Susunan Jaringan Elemen

6. Kemudian klik  yang ada pada *toolbar*, selanjutnya klik  untuk mengetahui berat isi air dan muka air tanah 0,5 m dibawah permukaan tanah, dapat dilihat pada gambar 4.13 dan gambar 4.14.

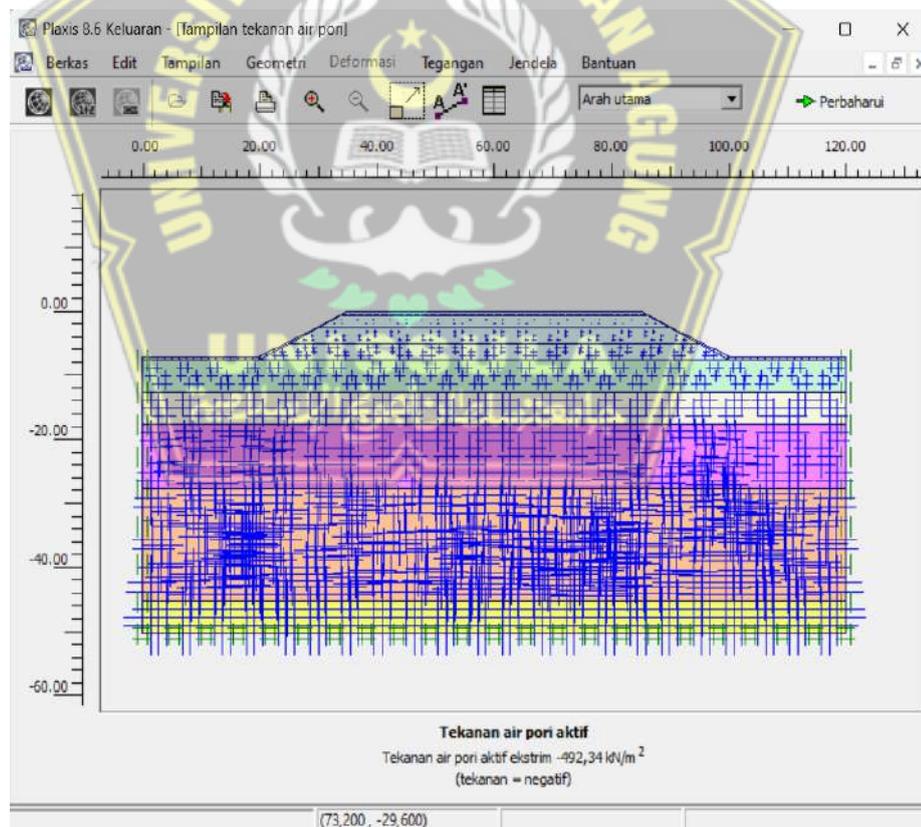


**Gambar 4.13** Water Waight



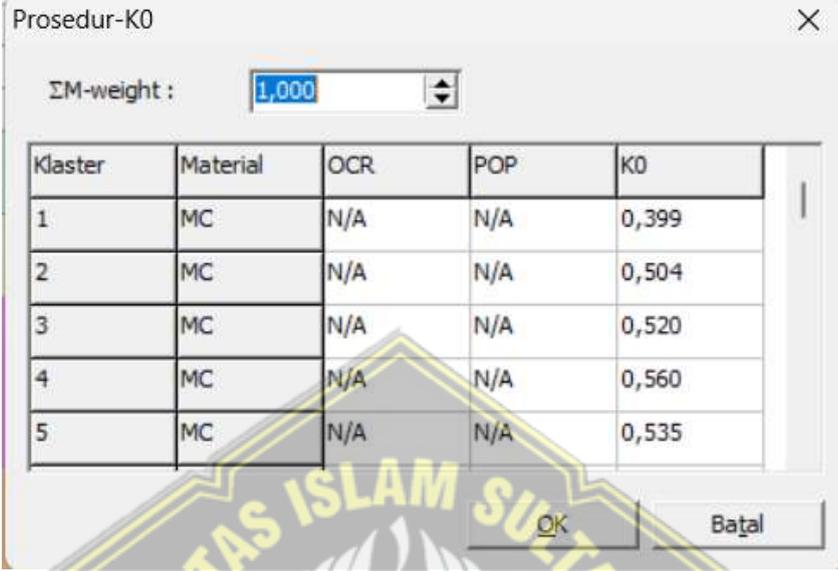
**Gambar 4.14** Muka Air Tanah

7. Kemudian klik  seperti gambar 4.15



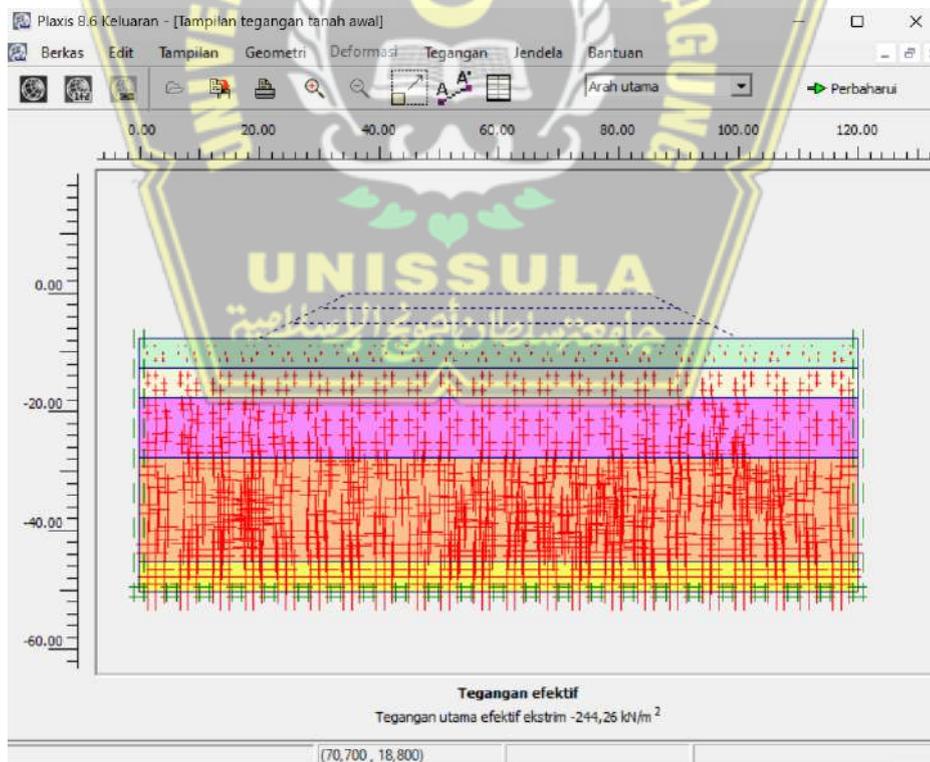
**Gambar 4.15** Tekanan Air Pori Aktif

8. Kemudian klik  lalu muncul prosedur K0 sesuai gambar 4.16. lalu klik untuk mengetahui hasil dari perhitungan pemodelan menggunakan *software* PLAXIS v.8.6 dapat dilihat pada gambar 4.17.



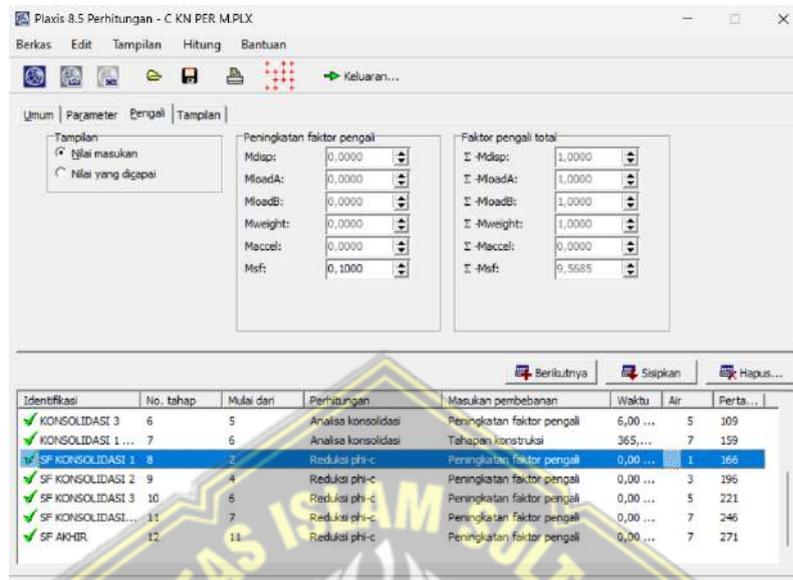
Klaster	Material	OCR	POP	K0
1	MC	N/A	N/A	0,399
2	MC	N/A	N/A	0,504
3	MC	N/A	N/A	0,520
4	MC	N/A	N/A	0,560
5	MC	N/A	N/A	0,535

Gambar 4.16 Prosedur K0

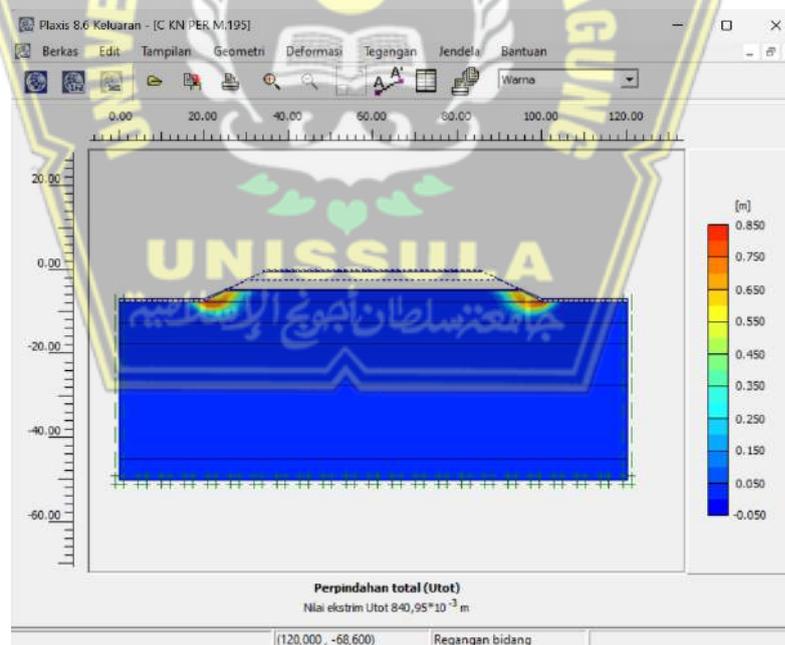


Gambar 4.17 Tegangan Efektif Tanah

9. Hasil dari penurunan konsolidasi timbunan 1 pada pemodelan *software* PLAXIS V 8.6 menghasilkan nilai SF sebesar 9,5685 dan penurunan konsolidasi timbunan 1 sebesar  $840,95 \times 10^{-3}$  m atau 84,095 cm sesuai gambar 4.18 dan 4.19

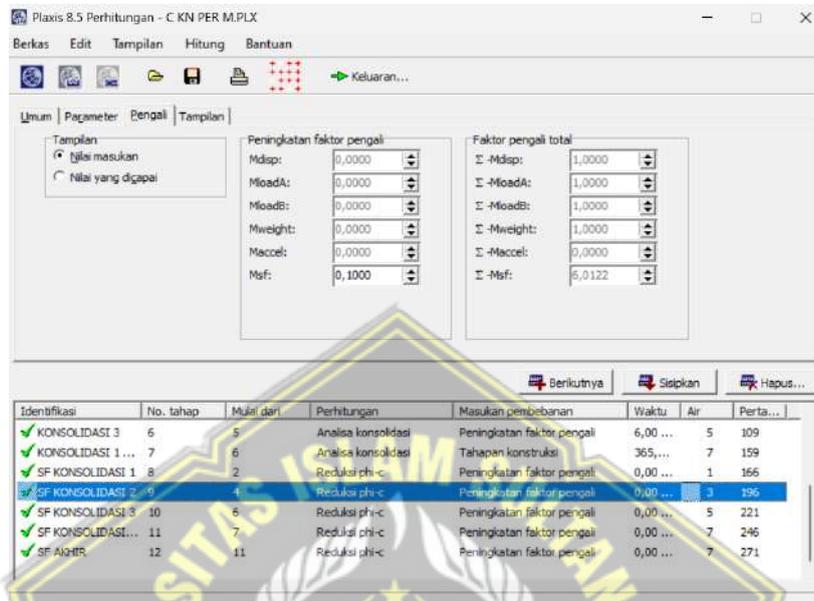


**Gambar 4.18** Nilai SF konsolidasi Timbunan 1 sebesar 9,5685

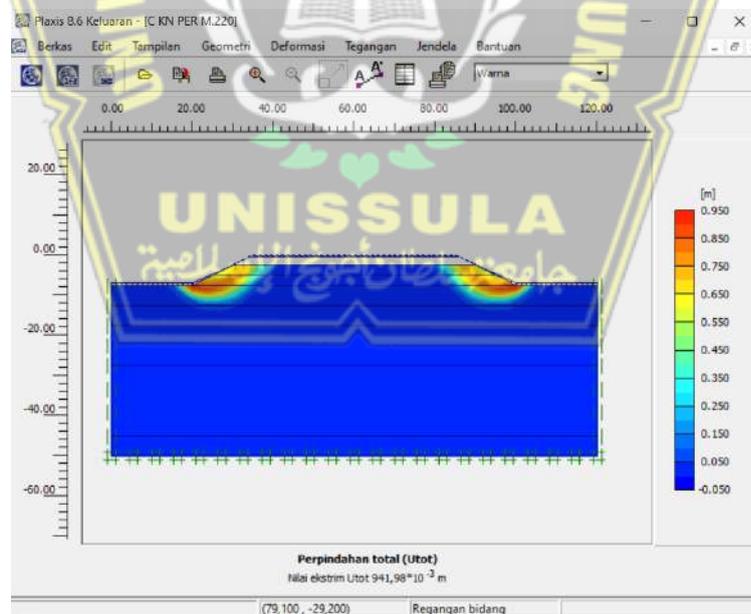


**Gambar 4.19** Deformasi Total pada konsolidasi timbunan 1 sebesar  $840,95 \times 10^{-3}$  m

10. Hasil dari penurunan konsolidasi timbunan 2 pada pemodelan *software* PLAXIS V 8.6 menghasilkan nilai SF sebesar 6,0122 dan penurunan konsolidasi timbunan 2 sebesar  $941,98 \times 10^{-3}$  m atau 94,198 cm sesuai gambar 4.20 dan gambar 4.21

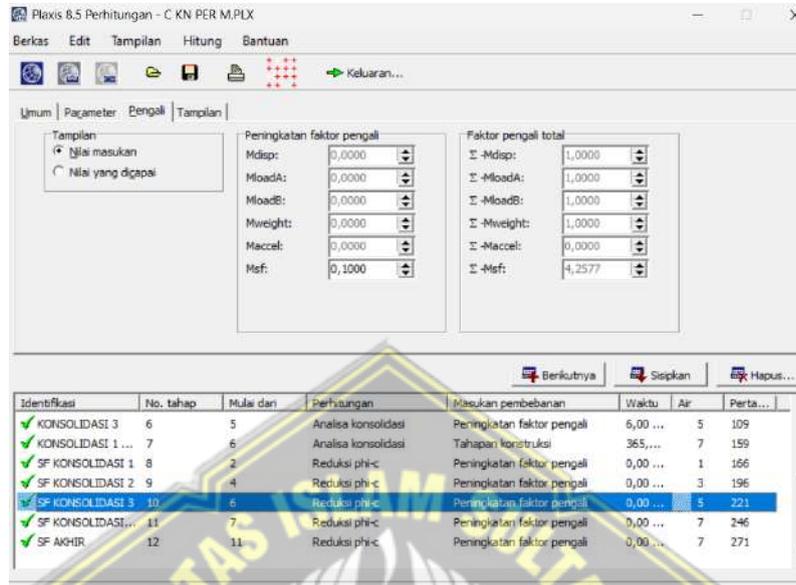


Gambar 4.20 Nilai SF konsolidasi Timbunan 2 sebesar 6,0122

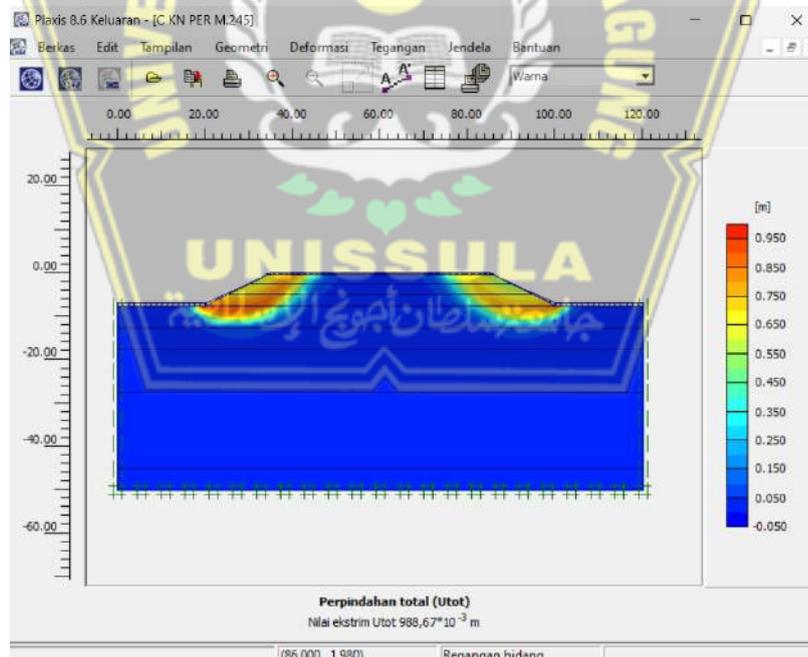


Gambar 4.21 Deformasi Total pada konsolidasi timbunan 2 sebesar  $941,98 \times 10^{-3}$  m

11. Hasil dari penurunan konsolidasi timbunan 3 pada pemodelan *software* PLAXIS V 8.6 menghasilkan nilai SF sebesar 4,2577 dan penurunan konsolidasi timbunan 3 sebesar  $988,67 \times 10^{-3}$  m atau 98,867 cm sesuai gambar 4.22 dan gambar 4.23

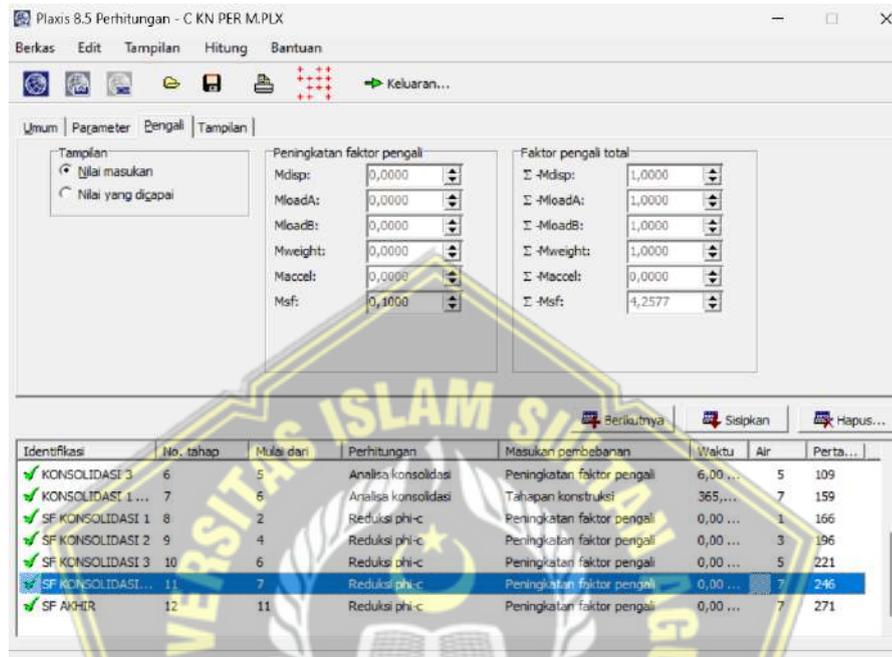


**Gambar 4.22** Nilai SF konsolidasi Timbunan 3 sebesar 4,2577

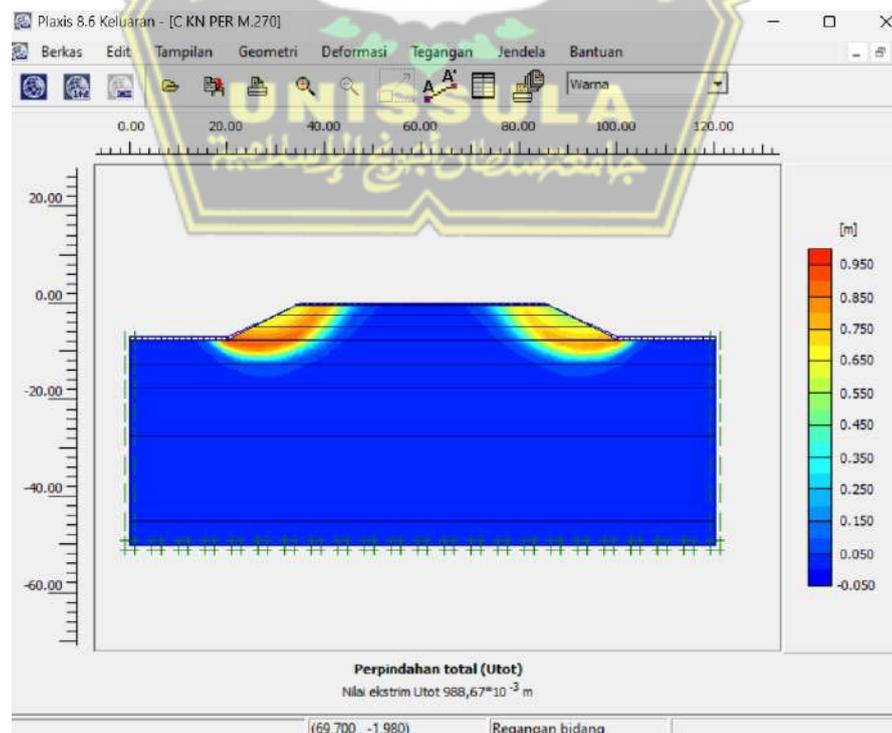


**Gambar 4.23** Deformasi Total pada konsolidasi timbunan 3 sebesar  $988,67 \times 10^{-3}$  m

12. Hasil dari penurunan konsolidasi timbunan dengan waktu 1 tahun pada pemodelan *software* PLAXIS V 8.6 menghasilkan nilai SF sebesar 4,2577 dan penurunan konsolidasi timbunan 1 tahun sebesar  $988,67 \times 10^{-3}$  m atau 98,867 cm sesuai gambar 4.24 dan gambar 4.25

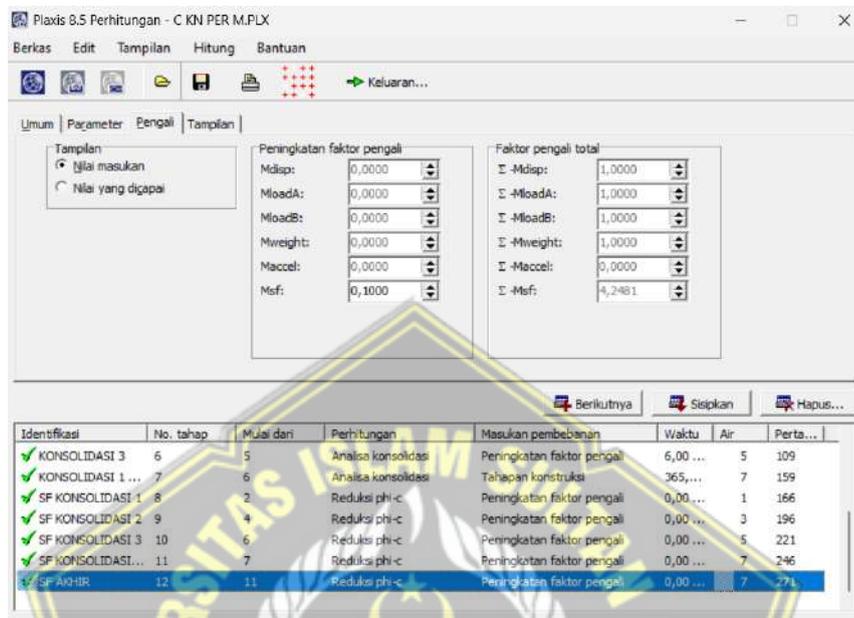


**Gambar 4.24** Nilai SF konsolidasi Timbunan 1 tahun sebesar 4,2577

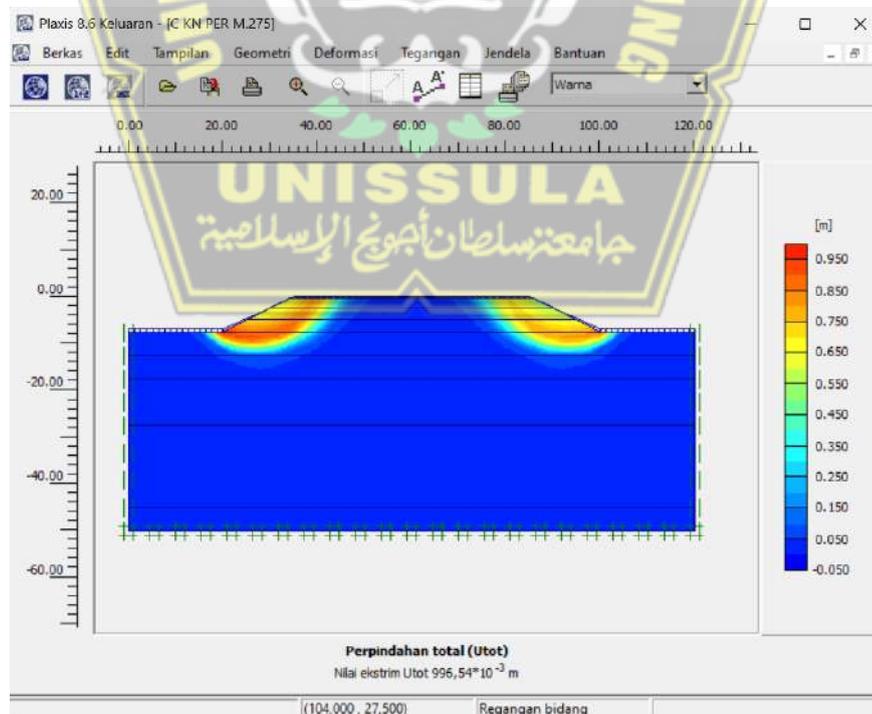


**Gambar 4.25** Deformasi Total pada konsolidasi timbunan 1 tahun sebesar  $988,67 \times 10^{-3}$  m

13. Hasil dari penurunan konsolidasi akhir pada pemodelan *software* PLAXIS V 8.6 menghasilkan nilai SF sebesar 4,2481 dan penurunan konsolidasi akhir sebesar  $996,54 \times 10^{-3}$  m atau 99,654 cm sesuai gambar 4.26 dan gambar 4.27.



Gambar 4.26 Nilai SF Akhir sebesar 4,2481



Gambar 4.27 Deformasi Total pada konsolidasi timbunan akhir sebesar  $996,54 \times 10^{-3}$  m

## 4.5 Pembahasan

Pada penelitian ini akan membahas perbandingan nilai penurunan tanah akibat beban tanah timbunan pada Gedung Pesantren Mahasiswa Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang dihasilkan dari masing – masing metode.

### 4.5.1 Perhitungan Penurunan

Hasil perhitungan dari penurunan konsolidasi tanah akibat beban tanah timbunan pada Gedung Pesantren Mahasiswa Universitas Islam Sultan Agung Semarang dapat dilihat pada tabel. Untuk memperoleh hasil perhitungan penurunan konsolidasi pada penelitian ini menggunakan perhitungan manual berdasarkan metode 1 D Terzaghi dan menggunakan *software plaxis V 8.6*. Berikut adalah tabel perbandingan dari hasil perhitungan penurunan konsolidasi tanah pada Gedung Pesantren Mahasiswa Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

#### 1. Perhitungan Manual menggunakan metode 1 D Terzaghi

Pada analisis yang telah dilakukan, diperoleh hasil penurunan konsolidasi tanah akibat beban tanah timbunan pada Gedung Pesantren Mahasiswa Universitas Islam Sultan Agung sebesar 9,42 cm dan hasil laju konsolidasi sebesar 1,41 cm /tahun.

**Tabel 4.6** Hasil Perhitungan Menggunakan Metode 1 D Terzaghi

Hasil Perhitungan	
Laju Konsolidasi	Penurunan Konsolidasi (Sc)
1,41 cm	9,42 cm

2. Hasil Perhitungan menggunakan *software PLAXIS V 8,6*

Pada analisis menggunakan *software PLAXIS V8.6* diperoleh hasil penurunan pada konsolidasi timbunan 1 sebesar 84,095 cm dengan *safety factor* (sf) 9,5685 , konsolidasi timbunan 2 sebesar 94,198 cm dengan nilai *safety factor* (sf) 6,0122 , konsolidasi timbunan 3 sebesar 98,867 cm dengan nilai *safety factor* (sf) 4,2577 , konsolidasi timbunan 1 tahun sebesar 98,867 cm dengan nilai *safety factor* (sf) 4,2577, dan konsolidasi akhir sebesar 99,654 dengan nilai *safety factor* (sf) 4,2481.

**Tabel 4.7** Hasil Perhitungan menggunakan *software PLAXIS V 8.6*

No	Perhitungan	<i>Safety Factor</i> (SF)	Penurunan Konsolidasi (Sc)
1	Konsolidasi Timbunan 1	9,5685	84,095 cm
2	Konsolidasi Timbunan 2	6,0122	94,198 cm
3	Konsolidasi Timbunan 3	4,2577	98,867 cm
4	Konsolidasi Timbunan 1 Tahun	4,2577	98,867 cm
5	Konsolidasi Akhir	4,2481	99,654 cm



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Hasil analisis proyek pembangunan Gedung Pesantren Mahasiswa Universitas Islam Sultan Agung Semarang dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan penurunan tanah pada Gedung Pesantren Mahasiswa menggunakan perhitungan manual sebesar 94,2 cm.
2. Hasil perhitungan laju konsolidasi pada Gedung Pesantren Mahasiswa menggunakan perhitungan manual sebesar 1,43 cm tiap tahun.
3. Hasil dari penurunan konsolidasi akhir pada pemodelan *software* PLAXIS V. 8.6 menghasilkan nilai SF sebesar 4,2481 dan penurunan konsolidasi akhir sebesar  $996,54 \times 10^{-3}$  m atau 99,654 cm.

#### **5.2 Saran**

Saran untuk penelitian selanjutnya terkait dengan penurunan tanah di Kota Semarang, diantaranya:

1. Diperlukan data pengeboran dalam (sampai lapisan tanah keras) dan pengujian laboratorium (indeks propertis tanah dan uji konsolidasi) yang mewakili setiap lapisan tanah, sehingga didapatkan hasil stratigrafi lapisan tanah yang lebih lengkap dan besar penurunan konsolidasi mendekati kondisi sebenarnya dilapangan.
2. Untuk mengetahui besar penurunan tanah pada daerah atau titik tertentu dapat dihitung melalui berbagai aplikasi *software* .