

TUGAS AKHIR

**ANALISIS *LAND SUBSIDENCE* DI KAWASAN KALIGAWÉ
AKIBAT PENGAMBILAN AIR DALAM TANAH
MENGUNAKAN *SOFTWARE* PLAXIS DAN GEOSTUDIO**

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



Disusun Oleh :

**Agung Budi Cahyono
NIM : 30201900023**

**Iqbal Syarif Muafan
NIM : 30201900106**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS *LAND SUBSIDENCE* DI KAWASAN KALIGawe AKIBAT
PENGAMBILAN AIR DALAM TANAH MENGGUNAKAN *SOFTWARE*
PLAXIS DAN GEOSTUDIO



Agung Budi Cahyono
NIM : 30201900023



Iqbal Syarif Muafan
NIM : 30201900106

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Januari 2022

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Dr. Ir. Rinda Karlinasari, M.T.**
NIDN: 0623026901
2. **Prof. Ir. H. Pratikso, M.ST., Ph.D.**
NIDN: 0627115501
3. **Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T.**
NIDN: 0608067601

UNISSULA
جامعة سلطان اأصوغة الإسلامية
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: 46 / A / SA – T / I / 2023

Pada hari ini tanggal 27-01-2023 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Dr. Ir. Rinda Karlinasari, M.T.
Jabatan Akademik : Asisten Ahli IIIb
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Prof. Ir. H. Pratikso, M.ST., Ph.D.
Jabatan Akademik : Guru Besar
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Agung Budi Cahyono
NIM : 30201900023

Iqbal Syarif Muafan
NIM : 30201900106

Judul : Analisis *Land Subsidence* di Kawasan Kaligawe Akibat Pengambilan Air dalam Tanah Menggunakan *Software* Plaxis dan Geostudio

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	04/10/2022	ACC
2	Seminar Proposal	24/01/2023	
3	Pengumpulan data	23/12/2022	
4	Analisis data	25/12/2022	ACC
5	Penyusunan laporan	10/10/2022	
6	Selesai laporan	27/01/2023	

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

Dosen Pembimbing Utama

Dr. Ir. Rinda Karlinasari, M.T.

Dosen Pembimbing Pendamping

Prof. Ir. H. Pratikso, M.ST., Ph.D.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Agung Budi Cahyono / Iqbal Syarif Muafan

NIM : 30201900023 / 30201900106

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

“Analisis *Land Subsidence* di Kawasan Kaligawe Akibat Pengambilan Air dalam Tanah Menggunakan *Software* Plaxis dan Geostudio” benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Agung Budi Cahyono / Iqbal Syarif Muafan
NIM : 30201900023 / 30201900106
JUDUL TUGAS AKHIR : Analisis *Land Subsidence* di Kawasan Kaligawe
Akibat Pengambilan Air dalam Tanah Menggunakan *Software* Plaxis dan
Geostudio

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, 31 / 01 / 2023

Yang membuat pernyataan,

Agung Budi Cai 30201900023 20180AKX284895700 Syarif Muafan 30201900106

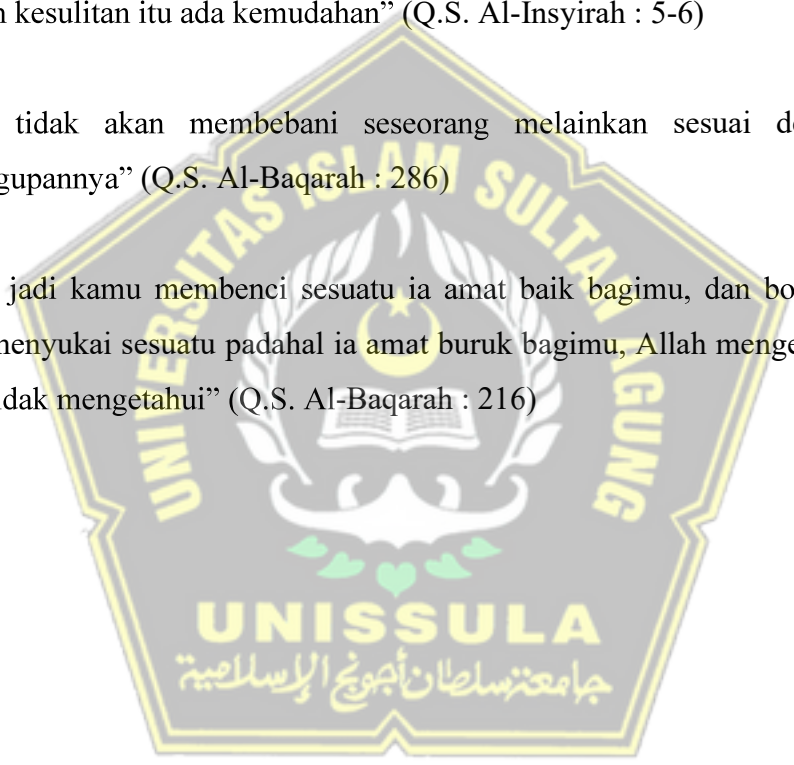
MOTTO

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik” (Q.S. Ali Imran : 110)

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan” (Q.S. Al-Insyirah : 5-6)

“Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya” (Q.S. Al-Baqarah : 286)

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu ia amat baik bagimu, dan boleh jadi pula kamu menyukai sesuatu padahal ia amat buruk bagimu, Allah mengetahui sedang kamu tidak mengetahui” (Q.S. Al-Baqarah : 216)



PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua Orang Tua saya, yakni Bapak Budi Santoso dan Ibu Ida Nurgiyanti Serta Adik saya Nanda Dwi Cahyanti yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materiil, semangat, do'a dan pendidikan mental untuk berusaha mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat.
2. Dosen – dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah mengajarkan saya tentang ilmu – ilmu keteknikan yang sebelumnya saya tidak ketahui dan selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya.
3. Mas Rizal dan Mas Rizqi Alam selaku asisten dosen Bu Dr. Ir. Rinda Karlinasari, M.T. yang telah membimbing kami dalam melakukan penelitian ini.
4. Iqbal Syarif Muafan selaku rekan yang telah bekerja keras dan berjuang bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Teman – teman belajar dan main selama perkuliahan : Desy Nur S, Haris Al asror, Angelicha Ayu S, M. Taufiqy, M. Hilmy Wafa, Galih Fajar, M. Firdaus Syukrillah, Eriek Dhaniel Fatah dan lainnya yang telah membantu saya selama masa kuliah, memberikan semangat, motivasi dan membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Teman – teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2018, 2019, 2020 dan yang lainnya yang tidak saya sebutkan satu persatu. Terimakasih untuk kebersamaan kita selama 3,5 tahun ini, terimakasih atas doa, semangat dan motivasi kalian.

Agung Budi Cahyono
NIM : 30201900023

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua Orang Tua saya, yakni Bapak Gunawan Eko Yuliyanto dan Ibu Muntafiah serta kakak saya Dyah Rianita Anjani dan kedua adik saya Rifqi Aqwa Ulinnuha dan Syaiba Dzulfadlil Ihsan yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materiil, semangat, do'a dan pendidikan mental untuk berusaha mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat.
2. Dosen – dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah mengajarkan saya tentang ilmu – ilmu keteknikan yang sebelumnya saya tidak ketahui dan selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya.
3. Mas Rizal dan Mas Rizqi Alam selaku asisten dosen Bu Dr. Ir. Rinda Karlinasari, M.T. dan Mas Ageng Triyatmojo selaku kakak ipar saya yang telah membimbing kami dalam melakukan penelitian ini.
4. Agung Budi Cahyono selaku rekan yang telah bekerja keras dan berjuang bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Teman – teman belajar dan main selama perkuliahan : Haris Al Asror, M. Hilmi Wafa, Angelicha Ayu S, M. Taufiqy, Galih Fajar, M. Firdaus Syukrillah, dan lainnya yang telah membantu saya selama masa kuliah, memberikan semangat, motivasi dan membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Teman – teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2018, 2019, 2020 dan yang lainnya yang tidak saya sebutkan satu persatu. Terimakasih untuk kebersamaan kita selama 3,5 tahun ini, terimakasih atas doa, semangat dan motivasi kalian.

Iqbal Syarif Muafan
NIM : 30201900106

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Analisis *Land Subsidence* di Kawasan Kaligawe Akibat Pengambilan Air Dalam Tanah Menggunakan *Software* Plaxis dan Geostudio, guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

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

1. Yth. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik UNISSULA.
2. Yth. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
3. Yth. Ibu Dr. Ir. Rinda Karlinasari, M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
4. Yth. Bapak Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, Januari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
BERITA ACARA TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
ABSTRAK	xvi
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Maksud dan Tujuan	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1. Gambaran Umum Kawasan Kaligawe Semarang	5
2.1.1. Struktur Geologi.....	6
2.1.2. Klasifikasi dan Karakteristik Tanah	6
2.1.3. Konsistensi Tanah dan Nilai N – SPT	7
2.1.4. Batasan Partikel Tanah.....	7
2.1.5. Klasifikasi Tanah di Kawasan Kaligawe	8
2.2. Penurunan Tanah (<i>Land subsidence</i>)	9
2.2.1. <i>Land Subsidence</i> di Kawasan Kaligawe	12
2.3. Konsolidasi.....	13
2.3.1. Dasar Konsolidasi	15
2.3.2. Penurunan Segera.....	15
2.3.3. Konsolidasi Akibat Penurunan Muka Air Tanah Tertekan.....	16
2.3.4. Konsolidasi Satu Dimensi Menggunakan Metode Tekanan Air Pori	17
2.3.5. Konsolidasi Primer Satu Dimensi	17
2.3.6. Konsolidasi Sekunder Satu Dimensi	18
2.3.7. Lama Konsolidasi.....	19
2.4. Teori Pengambilan Air Dalam Tanah	20
2.4.1. Pengertian Air Dalam Tanah Menurut Para Ahli.....	20
2.4.2. Mekanisme Pengambilan Air dalam Tanah	21
2.5. Penentuan Parameter Tanah.....	23
2.6. PlaxisV20	27
2.7. Geostudio	27
2.8. Penelitian Terdahulu	29

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1. Pengertian Umum.....	31
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	31
3.3. Tahapan Penelitian.....	31
3.3.1. Tahap Pengumpulan Data	32
3.3.2. Data Proyek.....	32
3.3.3. Tahap Analisis Data	32
3.3.4. Analisis Menggunakan <i>Software</i> Plaxis.....	33
3.3.5. Analisis Menggunakan <i>Software</i> Geostudio	34
3.4. Diagram Alir	35
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	 36
4.1. Pendahuluan	36
4.2. Data Tanah	36
4.2.1. Laporan Penyelidikan Tanah.....	36
4.2.2. Muka Air Tanah	37
4.2.3. Pengujian Laboratorium.....	37
4.3. Analisa Perhitungan Pembebanan.....	40
4.3.1. Beban Mati (<i>Dead Load</i>).....	41
4.3.1.1. Pondasi	41
4.3.1.2. <i>Pile Cap</i>	42
4.3.1.3. <i>Tie beam</i>	43
4.3.1.4. Kolom.....	46
4.3.1.5. Balok	47
4.3.1.6. Pelat.....	51
4.3.1.7. <i>Shear Wall</i>	54
4.3.1.8. Dinding	55
4.3.2. Beban Hidup (<i>Live Load</i>).....	55
4.3.3. Kombinasi Beban	55
4.4. Perhitungan Debit Air	56
4.5. Parameter Tanah Sebagai <i>Input</i> pada <i>Software</i> Plaxis dan Geostudio.....	57
4.6. Analisa Menggunakan <i>Software</i> Plaxis V20	57
4.6.1. Permodelan <i>Trial and Error</i> Plaxis.....	57
4.6.2. Permodelan Plaxis V20 Menggunakan Parameter Tanah UNISSULA	63
4.6.3. Hasil Analisa <i>Software</i> Plaxis V20	67
4.7. Analisa Menggunakan <i>Software</i> Geostudio.....	76
4.7.1. Permodelan <i>Trial and Error</i> Geostudio	77
4.7.2. Permodelan Plaxis V20 Menggunakan Parameter Tanah UNISSULA	82
4.7.3. Hasil Analisa <i>Software</i> Geostudio	86
4.8. Hasil Analisa Keseluruhan.....	95
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	 97
5.1. Kesimpulan	97
5.2. Saran.....	98
 DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbandingan Antara Sistem AASHTO dengan Sistem USCS	6
Tabel 2.2. Konsistensi Tanah Berdasarkan Nilai N – SPT	7
Tabel 2.3. Batasan – Batasan Golongan Tanah.....	7
Tabel 2.4. Korelasi N-SPT Dengan Berat Volume Tanah Lempung.....	23
Tabel 2.5. Korelasi N-SPT Dengan Berat Volume Tanah Pasir	23
Tabel 2.6. Hubungan Antara Sudut Geser Dalam (ϕ) dengan Jenis Tanah	24
Tabel 2.7. Nilai Kohesi Tanah Berdasarkan Nilai Berat.....	24
Tabel 2.8. Nilai – Nilai Koefisien Permeabilitas Tanah Pada Umumnya.....	25
Tabel 2.9. Korelasi N-SPT dengan Poisson Ratio	26
Tabel 2.10. Korelasi N-SPT dengan Modulus Elastisitas (E).....	26
Tabel 2.11. Daftar Penelitian Terdahulu	29
Tabel 4.1 Profil tanah BM.1	36
Tabel 4.2. Deskripsi Tanah BM.1	38
Tabel 4.3. Parameter Tanah	57
Tabel 4.4. Parameter Tanah <i>Trial and Error</i> Plaxis	58
Tabel 4.5. <i>Output</i> Titik Monitoring <i>Trial and Error</i> Plaxis Tanpa Pompa	60
Tabel 4.6. <i>Output</i> Titik Monitoring <i>Trial and Error</i> Plaxis dengan Pompa.....	63
Tabel 4.7. <i>Output</i> Titik Monitoring Plaxis Tanpa Pompa.....	71
Tabel 4.8. <i>Output</i> Titik Monitoring Plaxis dengan Pompa	76
Tabel 4.9. Hasil Analisa <i>Software</i> Plaxis	76
Tabel 4.10. Parameter Tanah <i>Trial and Error</i> Geostudio.....	77
Tabel 4.11. <i>Output Trial and Error</i> Geostudio Tanpa Pompa.....	79
Tabel 4.12. <i>Output Trial and Error</i> Geostudio dengan Pompa	82
Tabel 4.13. <i>Output</i> Geostudio Tanpa Pompa	90
Tabel 4.14. <i>Output</i> Geostudio Dengan Pompa	95
Tabel 4.15. Hasil Analisa <i>Software</i> Geostudio	95
Tabel 4.16. Hasil Analisa Keseluruhan.....	96

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Peta Administrasi Kota Semarang.....	5
Gambar 2.2. Tanah Lempung	9
Gambar 2.3. Fase Penurunan Muka Tanah	10
Gambar 2.4. Fenomena <i>Land Subsidence</i> Kota Semarang	13
Gambar 2.5. Peta <i>Land Subsidence</i> Kota Semarang Tahun 2007 – 2012	13
Gambar 2.6. Konsolidasi Satu Matra	14
Gambar 2.7. Kondisi Batas Lapisan Tanah dan Kurva Distribusi Tekanan Air Pori (Murayama dalam Marsudi, 1994).....	16
Gambar 2.8. Pengaruh Pengambilan Air dalam Tanah	22
Gambar 2.9. Proses Terjadinya Penurunan Tanah	22
Gambar 3.1. Diagram Alir Analisis <i>Land subsidence</i> di Kawasan Kaligawe Akibat Pengambilan Air dalam Tanah Menggunakan <i>Software</i> Plaxis dan Geostudio..	35
Gambar 4.1. Data <i>Bore Log</i>	38
Gambar 4.2. Detail Pondasi	41
Gambar 4.3. Dimensi <i>Pilecap</i>	41
Gambar 4.4. Dimensi Kolom	44
Gambar 4.5. Dimensi Balok	47
Gambar 4.6. Penulangan Pelat	51
Gambar 4.7. Penulangan <i>Shear Wall</i>	54
Gambar 4.8. Permodelan Pompa.....	58
Gambar 4.9. <i>Total Displacement</i>	58
Gambar 4.10. Titik Monitoring.....	59
Gambar 4.11. Grafik <i>Settlement</i> 1.....	59
Gambar 4.12. Grafik <i>Settlement</i> 2.....	59
Gambar 4.13. Grafik <i>Settlement</i> 3.....	60
Gambar 4.14. <i>Ground Water Head</i>	60
Gambar 4.15. <i>Total Displacement</i>	61
Gambar 4.16. Titik Monitoring.....	61
Gambar 4.17. Grafik <i>Settlement</i> 1.....	62
Gambar 4.18. Grafik <i>Settlement</i> 2.....	62
Gambar 4.19. Grafik <i>Settlement</i> 3.....	62
Gambar 4.20. <i>Ground Water Head</i>	63
Gambar 4.21. <i>Project Properties</i>	64
Gambar 4.22. <i>Soil Layer</i>	64
Gambar 4.23. <i>Input Material</i>	65
Gambar 4.24. Permodelan Pompa dalam Tanah.....	65
Gambar 4.25. <i>Generate Mesh</i>	66
Gambar 4.26. Permodelan Pompa.....	66
Gambar 4.27. Titik Monitoring.....	67
Gambar 4.28. <i>Groundwater Head</i>	67
Gambar 4.29. <i>Total Displacement</i>	68
Gambar 4.30. Grafik <i>Settlement</i> 1.....	68
Gambar 4.31. Grafik <i>Settlement</i> 2.....	68
Gambar 4.32. Grafik <i>Settlement</i> 3.....	69
Gambar 4.33. Grafik <i>Settlement</i> 4.....	69

Gambar 4.34. Grafik <i>Settlement</i> 5	69
Gambar 4.35. Grafik <i>Settlement</i> 6	70
Gambar 4.36. Grafik <i>Settlement</i> 7	70
Gambar 4.37. Grafik <i>Settlement</i> 8	70
Gambar 4.38. Grafik <i>Settlement</i> 9	71
Gambar 4.39. <i>Groundwater Head</i>	72
Gambar 4.40. <i>Total Displacement</i>	72
Gambar 4.41. Grafik <i>Settlement</i> 1	73
Gambar 4.42. Grafik <i>Settlement</i> 2	73
Gambar 4.43. Grafik <i>Settlement</i> 3	73
Gambar 4.44. Grafik <i>Settlement</i> 4	74
Gambar 4.45. Grafik <i>Settlement</i> 5	74
Gambar 4.46. Grafik <i>Settlement</i> 6	74
Gambar 4.47. Grafik <i>Settlement</i> 7	75
Gambar 4.48. Grafik <i>Settlement</i> 8	75
Gambar 4.49. Grafik <i>Settlement</i> 9	75
Gambar 4.50. Permodelan Pompa	77
Gambar 4.51. <i>Total Displacement</i>	77
Gambar 4.52. Kondisi Muka Air Tanah	78
Gambar 4.53. Grafik <i>Settlement</i> 1	78
Gambar 4.54. Grafik <i>Settlement</i> 2	79
Gambar 4.55. Grafik <i>Settlement</i> 3	79
Gambar 4.56. <i>Total Displacement</i>	80
Gambar 4.57. Kondisi Muka Air Tanah	80
Gambar 4.58. Grafik <i>Settlement</i> 1	81
Gambar 4.59. Grafik <i>Settlement</i> 2	81
Gambar 4.60. Grafik <i>Settlement</i> 2	81
Gambar 4.61. <i>Define Analysis</i>	82
Gambar 4.62. <i>Sketch Axes</i>	83
Gambar 4.63. Sketsa Permodelan Pompa	83
Gambar 4.64. Batas Permodelan Pompa	84
Gambar 4.65. <i>Define Material</i>	84
Gambar 4.66. Permodelan Pompa	85
Gambar 4.67. <i>Define Boundary Conditions</i>	85
Gambar 4.68. Tahap Analisa Permodelan Pompa	86
Gambar 4.69. <i>Solve Manager</i>	86
Gambar 4.70. Kondisi Muka Air Tanah	86
Gambar 4.71. Penurunan Tanah	87
Gambar 4.72. Grafik <i>Settlement</i> 1	87
Gambar 4.73. Grafik <i>Settlement</i> 2	88
Gambar 4.74. Grafik <i>Settlement</i> 3	88
Gambar 4.75. Grafik <i>Settlement</i> 4	88
Gambar 4.76. Grafik <i>Settlement</i> 5	89
Gambar 4.77. Grafik <i>Settlement</i> 6	89
Gambar 4.78. Grafik <i>Settlement</i> 7	89
Gambar 4.79. Grafik <i>Settlement</i> 8	90
Gambar 4.80. Grafik <i>Settlement</i> 9	90
Gambar 4.81. Kondisi Muka Air Tanah	91

Gambar 4.82. Penurunan Tanah.....	91
Gambar 4.83. Grafik <i>Settlement</i> 1.....	92
Gambar 4.84. Grafik <i>Settlement</i> 2.....	92
Gambar 4.85. Grafik <i>Settlement</i> 3.....	92
Gambar 4.86. Grafik <i>Settlement</i> 4.....	93
Gambar 4.87. Grafik <i>Settlement</i> 5.....	93
Gambar 4.88. Grafik <i>Settlement</i> 6.....	93
Gambar 4.89. Grafik <i>Settlement</i> 7.....	94
Gambar 4.90. Grafik <i>Settlement</i> 8.....	94
Gambar 4.91. Grafik <i>Settlement</i> 9.....	94



ANALISIS *LAND SUBSIDENCE* DI KAWASAN KALIGAWA AKIBAT PENGAMBILAN AIR DALAM TANAH MENGGUNAKAN *SOFTWARE* PLAXIS DAN GEOSTUDIO

Abstrak

Kawasan Kaligawe merupakan Kelurahan yang berada di Kecamatan Gayamsari Kota Semarang provinsi Jawa Tengah dengan jumlah penduduk yang cukup padat. Luas wilayah Kecamatan Gayamsari sendiri sebesar 700.000 m². Hal ini tentunya akan berdampak pada daya dukung lahan sebagai tempat tinggal termasuk didalamnya kebutuhan akan konsumsi air dalam bentuk pengambilan air tanah untuk kebutuhan rumah tangga ataupun industri semakin meningkat, khususnya pengambilan air dalam tanah menggunakan sumur bor dalam. Pengambilan air dalam tanah secara terus menerus akan mengakibatkan terjadinya penurunan tanah (*land subsidence*) secara berkelanjutan.

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan cara membuat permodelan sumur dalam tanah menggunakan *software* Plaxis dan Geostudio untuk mengetahui besarnya prediksi penurunan tanah (*land subsidence*) karena adanya pengambilan air dalam tanah.

Hasil penurunan tanah dari analisa *software* Plaxis lebih besar dari pada analisa *software* Geostudio. Hasil prediksi penurunan tanah menggunakan *software* Plaxis tanpa pompa sebesar 4,91 cm/tahun dan dengan pompa sebesar 14,44 cm/tahun, sedangkan jika menggunakan *software* Geostudio hasil prediksi penurunan tanah tanpa pompa sebesar 0,022 cm/tahun dan dengan pompa sebesar 13,01 cm/tahun. Jadi pengaruh pompa terhadap penurunan tanah (*land subsidence*) di Kawasan Kaligawe tepatnya pada Gedung B Asrama UNISSULA sebesar 294,09% karena selisih antara penurunan tanah menggunakan pompa dengan tanpa menggunakan pompa pada *software* Plaxis V20 sebesar 9,53 cm dan pada *software* Geostudio sebesar 12,988 cm yang artinya pengambilan air dalam tanah menggunakan pompa sangat berpengaruh terhadap penurunan tanah di Kawasan Kaligawe menggunakan sampel tanah Gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Kata Kunci: *Penurunan Tanah; Pengambilan Air dalam Tanah; Plaxis; Geostudio; Kaligawe*

ANALYSIS OF LAND SUBSIDENCE IN KALIGAWA AREA DUE TO GROUNDWATER EXTRACTION USING PLAXIS AND GEOSTUDIO SOFTWARE

Abstract

Kaligawe area is an urban village located in Gayamsari Sub-district, Semarang City, Central Java Province with a fairly dense population. The area of Gayamsari Sub-district itself is 700,000 m². This will certainly have an impact on the carrying capacity of the land as a place to live, including the need for water consumption in the form of groundwater extraction for household or industrial needs is increasing, especially groundwater extraction using deep boreholes. Continuous withdrawal of groundwater will result in land subsidence in a sustainable manner.

The method used in this research is by modeling deep wells using Plaxis and Geostudio software to determine the prediction of land subsidence due to groundwater extraction.

The results of land subsidence from the Plaxis software analysis are greater than the Geostudio software analysis. The prediction result of land subsidence using Plaxis software without pump is 4,91 cm/year and with pump is 14,44 cm/year, while if using Geostudio software the prediction result of land subsidence without pump is 0,022 cm/year and with pump is 13,01 cm/year. So the effect of the pump on land subsidence in the Kaligawe Area, precisely in Building B of the UNISSULA Dormitory, is 294,09% because the difference between land subsidence using a pump and without using a pump in the Plaxis V20 software is 9,53 cm and in the Geostudio software is 12,988 cm, which means that the extraction of water in the soil using a pump is very influential on land subsidence in the Kaligawe Area using the soil sample of Building B of the Dormitory of Sultan Agung Islamic University Semarang.

Keywords: Land Subsidence; Groundwater Extraction; Plaxis; Geostudio; Kaligawe

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Data penduduk menurut BPS Kota Semarang tahun 2020 menunjukkan bahwa jumlah penduduk di Kota Semarang mencapai 1.653.524 jiwa dengan populasi tumbuh penduduk mencapai 0,59% setiap tahun (2020) dengan kepadatan penduduk per km² sebesar 11.795,38. Luas wilayah untuk Kecamatan Gayamsari sebesar 700.000 m². Hal ini, berdampak pada ketersediaan lahan, kebutuhan penggunaan air khususnya pengambilan air tanah sebagai kebutuhan industri maupun rumah tangga.

Semakin konsumtifnya masyarakat terhadap pengambilan air tanah (*groundwater extraction*) untuk kebutuhan industri dan rumah tangga pada wilayah Kaligawe khususnya pada penggunaan sumur bor dalam, jika dilakukan terus menerus akan menyebabkan penurunan tanah (*land subsidence*). Stabilitas tanah akan terganggu dan berdampak pada konstruksi dan bangunan yang berada di atasnya.

Penurunan muka tanah (secara bertahap atau tiba-tiba) yang disebabkan karena pergerakan butiran tanah di bawah permukaan disebut *Land subsidence*. Pengambilan air tanah dengan pompa (*confined aquifer*), akan mengakibatkan tegangan antar butiran tanah meningkat walaupun tidak adanya beban di permukaan tanah. Jika lokasi tersebut kondisi tanahnya ialah tanah lunak (tanah lanau atau liat) berada di dalam akuifer, maka lapisan tersebut akan terjadi pemampatan dan akan mengalami penurunan tanah. Pemompaan air yang berlebih akan membuat menurunnya permukaan tanah.

Pengurangan gaya *uplift* tanah dan meningkatnya tegangan efektif tanah akan meningkat akibat dari pemompaan air yang berlebih. Penyusutan butiran tanah serta mengalami penurunan tanah merupakan akibat dari tegangan efektif (Terzhagi dalam Danaryanto; Kodoatie, 2010: 5). Pengambilan air pada sumur dalam (*deep well*) secara berlebihan akan mengakibatkan erosi pada bagian dalam tanah karena butiran tanah terangkat sehingga akan menyebabkan muka air tanah

turun secara permanen dan tanah akan turun pada areal yang cukup luas (*land subsidence*).

1.2. Rumusan Masalah

Berikut rumusan masalah yang akan kami bahas, yaitu:

1. Bagaimana kondisi muka air tanah setelah terjadi pengambilan air dalam tanah di Kawasan Kaligawe?
2. Pada lapisan tanah mana (lempung/pasir) yang mengalami penurunan tanah terbesar?
3. Berapa besar penurunan tanah (*land subsidence*) yang terjadi akibat pengambilan air dalam tanah di Kawasan Kaligawe?
4. Bagaimana pengaruh pompa terhadap penurunan tanah (*land subsidence*) di Kawasan Kaligawe?

1.3. Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui kondisi muka air tanah setelah terjadi pengambilan air dalam tanah di Kawasan Kaligawe.
2. Mengetahui pada lapisan tanah mana (lempung/pasir) yang mengalami penurunan tanah terbesar.
3. Mengetahui besar penurunan tanah (*land subsidence*) yang terjadi akibat pengambilan air dalam tanah di Kawasan Kaligawe.
4. Mengetahui pengaruh pompa terhadap penurunan tanah (*land subsidence*) di Kawasan Kaligawe.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari hasil penelitian ini ialah mengetahui besarnya *land subsidence* akibat pengambilan air dalam tanah menggunakan *software* plaxis dan geostudio.

1.5. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada masalah *land subsidence* di Kota Semarang yang mencakup hal-hal sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian berada di Kawasan Kaligawe.
2. Menggunakan sampel Gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Mengidentifikasi penyebab terjadinya *land subsidence* di Kawasan Kaligawe.
4. Analisis menggunakan *software* Plaxis V20 dan Geostudio.
5. SNI 1727-2020 untuk perhitungan beban bangunan.

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan penyusunan dalam membuat laporan penelitian yang berjudul “Analisis *Land Subsidence* di Kawasan Kaligawe Akibat Pengambilan Air dalam Tanah Menggunakan *Software* Plaxis dan Geostudio” maka dapat dibuat sistematika penelitian kami sebagai berikut :

1. BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, maksud dan tujuan, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan laporan pada penelitian kami yang berjudul “Analisis *Land Subsidence* di Kawasan Kaligawe Akibat Pengambilan Air dalam Tanah Menggunakan *Software* Plaxis dan Geostudio”.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang beberapa teori sebagai landasan untuk acuan dalam penelitian ini, baik itu rumus – rumus dari para ahli, literatur ataupun hasil penelitian dari para ahli dibidangnya.

3. BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan beberapa rangkaian penelitian (metode penelitian) untuk mempermudah dalam penelitian. Bab ini berisi usulan penelitian, mulai dari pengumpulan data hingga analisis dan hasil.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menampilkan dan menjelaskan hasil perhitungan dari pengolahan data yang didapat. Hasil penelitian diperoleh berdasarkan analisis data yang ada.

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari analisis data dan saran yang nantinya akan disempurnakan pada kesempatan yang mendatang.



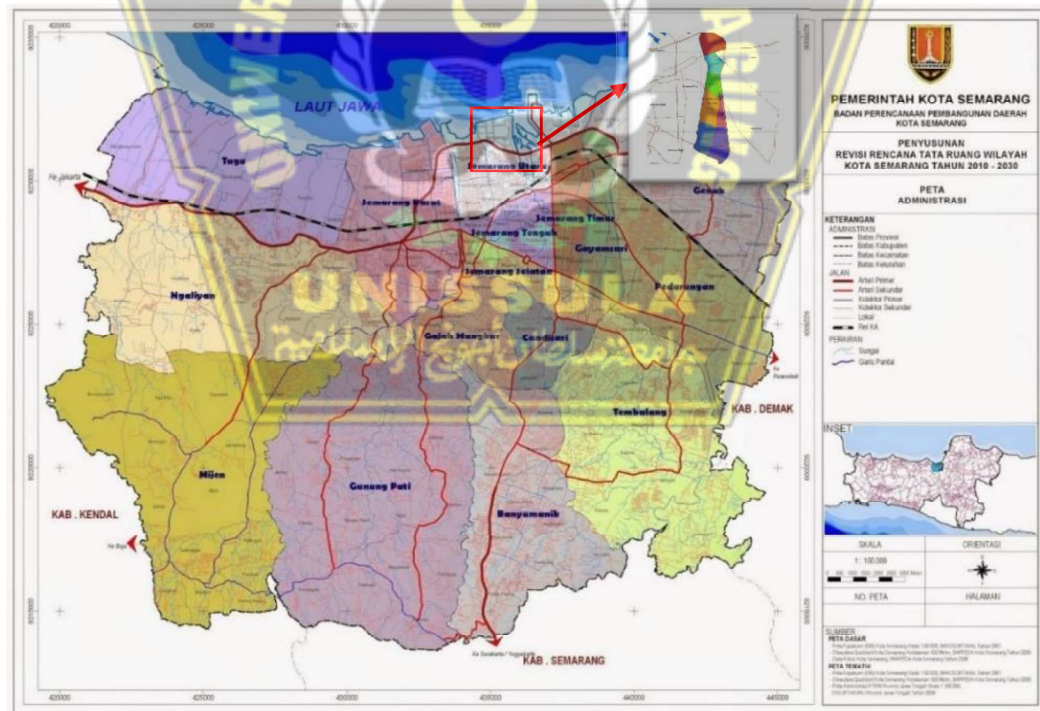
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gambaran Umum Kawasan Kaligawe Semarang

Kawasan Kaligawe adalah suatu kelurahan yang berada pada Kecamatan Gayamsari di Kota Semarang. Menurut data dari pemerintah Kota Semarang, kawasan Kaligawe memiliki luas wilayah dengan luas 700.000 m² dengan 76 RT dan 10 RW. Berdasarkan sensus penduduk 2017, penduduk di kawasan Kaligawe sebanyak 5494 jiwa (penduduk laki – laki) dan 5461 jiwa (penduduk perempuan).

Batas wilayah administrasi untuk kawasan Kaligawe sebelah barat memiliki batas yaitu sungai banjir kanal timur, untuk batas sebelah utara memiliki batas pada kelurahan tambakrejo, untuk batas wilayah sebelah timur memiliki batas pada kelurahan terboyo dan batas wilayah pada sebelah selatan berada pada kelurahan sawah besar.



Gambar 2.1. Peta Administrasi Kota Semarang (Bappeda Semarang)

2.1.1. Struktur Geologi

Kawasan Kaligawe sering terjadi patahan (sesar) lebih tepatnya ialah sesar geser dan sesar naik. Struktur geologi yang rentan terhadap gerakan atau kelongsoran bersifat erosif, dengan porositas yang tinggi, dan memiliki struktur batuan yang terputus-putus dan tidak merata.

2.1.2. Klasifikasi dan Karakteristik 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 Officials* (AASHTO), dan 4) *British System* (BS). Jenis tanah ada empat menurut AASHTO dan perbedaan ukuran pada partikel tanahnya menurut USCS. Batas 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 klasifikasi tanahnya 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 2.1. 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*) (kg/cm^2). Apabila data yang dimiliki ialah q_c *cone compaction*, maka dikonversi menjadi N-SPT dengan menggunakan rumus empiris $\text{N-SPT} = q_c$ (kg/cm^2) / 4. Namun pada penelitian ini data tanah yang digunakan merupakan korelasi dari parameter tanah menurut hasil N-SPT dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Konsistensi Tanah Berdasarkan Nilai N – SPT

Consistency	SPT-N	q_u (kPa)
Very Soft	< 2	< 25
Soft	2 - 8	25 - 50
Medium	4 - 8	50 - 100
Stiff	8 - 15	100 - 400
Very Stiff	15 - 30	200 - 400
Hard	> 30	> 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 pada Tabel 2.2. yang menggambarkan perbedaan antara jenis tanah berdasarkan para ahli.

Tabel 2.3. 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	0,05 - 0,002	< 0,002
<i>American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)</i>	76,2 - 2	2 - 0, 075	0,075 - 0,002	< 0,002
<i>Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Recanation)</i>	76,2 - 4,75	4,75 - 0, 075	< 0,0075	< 0, 0075

Sumber : Das, 1995

2.1.5. Klasifikasi Tanah di Kawasan Kaligawe

Kawasan Kaligawe merupakan daerah yang mempunyai jenis tanah lempung. Hal ini dikarenakan sebelumnya tanah di Kawasan Semarang bagian utara sebelumnya merupakan rawa – rawa yang di urug untuk dijadikan sebuah Kawasan. Seperti yang terjadi pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang bagian belakang, tepatnya di Gedung asrama B yang saat ini dijadikan tempat penelitian kami.

Partikel lempung terdiri dari mikroskopis dan sub mikroskopis (tak terlihat jelas menggunakan mikroskop biasa) dengan bentuk lempengan – lempengan pipih dari partikel – partikel mika. Lempung ialah suatu partikel yang ukurannya kurang dari 0,002 mm. Berikut ini merupakan definisi tanah lempung menurut para ahli :

1. Terzaghi (1987)

Suatu unsur-unsur kimiawi penyusun batuan yang berukuran mikrokonis sampai sub mikrokonis ialah tanah lempung. Pada kadar air sedang bersifat plastis dengan permeabilitas lempung yang sangat rendah. Keadaan plastis lempung dapat dicirikan dengan wujudnya yang bersabun atau berbentuk lilin (*gumbo*), sedangkan akan bersifat lengket dan sangat lunak pada keadaan air yang tinggi.

2. DAS (1988)

Memiliki sifat plastis pada kondisi dalam keadaan basah merupakan jenis tanah lempung yang berasal dari partikel-partikel tertentu.

3. Bowles (1991)

Tanah lempung merupakan partikel yang mempunyai ukuran kurang dari atau sama dengan 0,002 mm pada jumlah lebih dari 50%.

4. Hardiyatmo (1992)

Tanah lempung mempunyai butiran halus kurang dari 0,002 mm, permeabilitas rendah, tingkat kenaikan air tinggi dan memiliki sifat kohesif dengan kadar susut yang tinggi yaitu sifat dari tanah lempung.

5. Grim (1953)

Tanah lempung adalah partikel mineral yang memberikan sifat plastis pada tanah ketika terkena air dan dapat diklasifikasikan sebagai ekspansif dan non-ekspansif. Perbedaan musim kemarau lempung ekspansif pada permukaan tanah akan

mengalami retakan yang tidak beraturan sehingga menyebabkan rongga, pada lempung non ekspansif akan mengalami retakan tanpa adanya rongga.

Diameter partikel tanah lempung sekitar 2 μm atau 0,002 mm (USDA, AASHTO, USCS). Termasuk kategori tanah lempung jika ukuran partikel – partikelnya 0,002 mm – 0,005 mm. Lempung diklasifikasikan tidak hanya berdasar pada ukurannya, tetapi juga komposisi mineral yang terkandung.



Gambar 2.2. Tanah Lempung (*ilmugeografi.com*)

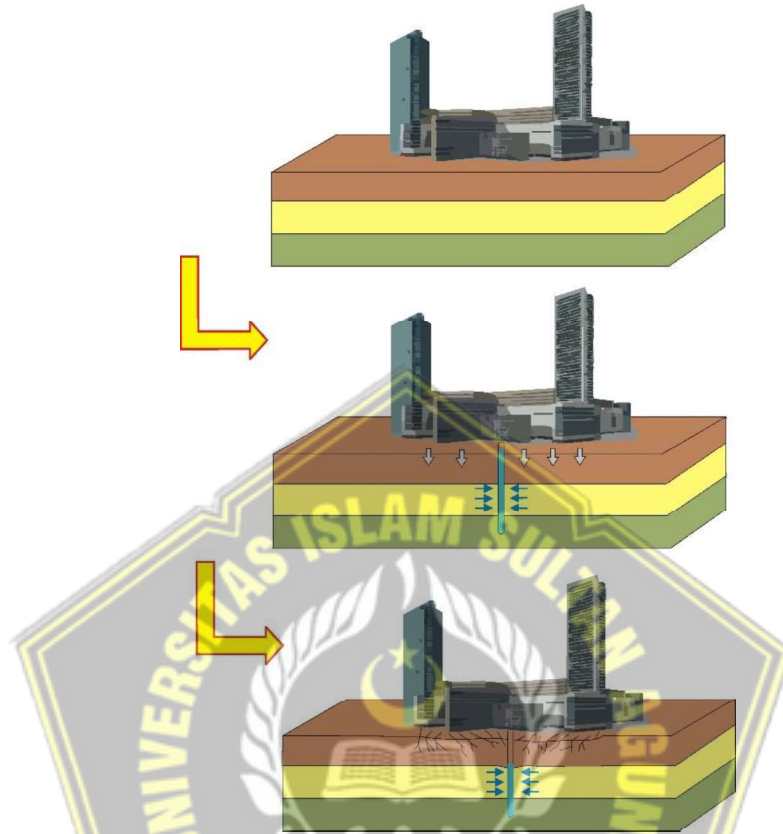
2.2. Penurunan Tanah (*Land subsidence*)

Pergerakan suatu muka tanah berdasarkan kondisi geologi yang terdapat pada daerah tersebut yang mengakibatkan penurunan muka tanah yaitu *Land subsidence*. Penurunan muka tanah disebabkan oleh beban bangunan (Quaxiang.et.al, 2001), pengambilan air tanah yang berlebihan (Burbey, 2005), dan konsolidasi alami lapisan tanah (Wei, 2006).

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 hidrogeologi, observasi level muka air tanah dan observasi dengan ekstensometer dan piezometer yang dikonversi ke penurunan muka tanah (Fahrudin dkk., 2009), serta metode geodetik seperti survei sipat datar (*leveling*),

GPS, dan INSAR adalah cara untuk memantau penurunan tanah (Yuwono dkk., 2013). Efisiensi dapat ditingkatkan dengan pemantauan periodik.



Gambar 2.3. Fase Penurunan Muka Tanah (syawal88.wordpress.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 atau batuan. Pada daerah Jakarta, Bandung, dan Semarang pengambilan air 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

Di daerah 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 dapat menyebabkan suhu kerak bumi meningkat, yang kemudian 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 seseorang 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 pada 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 yang basah). Penurunan 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 2.4. Fenomena Land Subsidence Kota Semarang (*kompas.com*)



Gambar 2.5. Peta Land Subsidence Kota Semarang Tahun 2007 – 2012

(*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 ditangani tanah, dan menghilang seiring waktu. Proses konsolidasi dapat terjadi lebih cepat jika tekanan ekstra dari berat tanah dihilangkan dengan cepat, yang menyebabkan muka air tanah turun. Koefisien permeabilitas penting dalam menentukan

seberapa jauh air harus dikeluarkan dari pori-pori tanah sebelum tekanan dari air berkurang.

Konsolidasi adalah proses pengurangan jumlah air secara bertahap dalam lapisan jenuh tanah liat tanpa mengganti udara dengan air. (Terzaghi, 1946). Konsolidasi adalah proses percepatan pengurangan volume yang di akibatkan keluarnya udara di dalam air pori.

(Crawford, 1964), (Tuma dan Hadi, 1973), (Cernica, 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 banyak 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 konsolidasi adalah ketika muka air di dalam 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 2.6. Konsolidasi Satu Matra (Braja M Das,1998)

Menurut Braja M. Das (1998) Konsolidasi adalah proses pengurangan jumlah tanah yang jenuh air dari waktu ke waktu. Proses ini berlanjut sampai tekanan yang disebabkan oleh peningkatan tegangan telah dihilangkan. Menurut Hancock dan Skinner (2000) konsolidasi adalah Ketika tanah berada di bawah tekanan, air dapat keluar dari pori-pori tanah.. Proses konsolidasi hanya akan bergerak satu arah, naik. Ini karena lapisan yang diberi bobot ekstra tidak dapat bergerak secara horizontal karena tertahan oleh tanah di sekitarnya.

2.3.1. Dasar Konsolidasi

Angka tekanan pori akan meningkat secara tiba-tiba ketika lapisan tanah jenuh air diberi beban tambahan. Artinya, air dapat mengalir dengan cepat melalui tanah, dan ini dapat menyebabkan tanah runtuh. Penyebab penurunan lapisan tanah dapat ditandai dengan penurunan volume tanah. Ini berarti air mengalir keluar dari tanah dengan cepat, dan ini dapat menyebabkan tanah mengendap dan terkonsolidasi.

2.3.2. Penurunan Segera

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

Dapat diperoleh melalui rumus-rumus seperti berikut (Braja M. Das, 1988)

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

Didapatkan keterangan sebagai berikut :

- ρ_i = penurunan segera
- E = modulus elastisitas tanah (modulus *Young*)
- I_p = faktor pengaruh yang tidak memiliki dimensi
- p = tekanan bersih yang dibebankan
- B = lebar pada beban
- μ = angka *poisson's*

Total penurunan tanah secara keseluruhan akibat suatu beban seperti berikut :

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

ST = total penurunan

- ρ_i = penurunan segera
 S = penurunan disebabkan konsolidasi primer
 S_s = penurunan disebabkan konsolidasi sekunder

2.3.3. Konsolidasi Akibat Penurunan Muka Air Tanah Tertekan

Ketika seseorang memompa air keluar dari tanah, itu menyebabkan permukaan air turun. Ini membuat air masuk ke tanah di bawahnya, yang menekan air keluar dari lapisan tanah liat dan melepaskan tekanan yang terbentuk. Kenaikan tanah efektif sebesar penurunan muka air tanah $\gamma_w \cdot h$ dengan bentuk kelebihan tekanan pada air pori (Δu). Diagram di bawah menunjukkan bagaimana distribusi tekanan air pori (tekanan dalam tanah) berubah ketika muka air tanah diturunkan seperti yang terlihat dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Kondisi Batas Lapisan Tanah dan Kurva Distribusi Tekanan Air Pori (Murayama dalam Marsudi, 1994)

Perhitungan pada muka air tanah dapat dilakukan melalui perhitungan mulai dari muka air tanah yang tertekan pada awalnya (H_a) sampai dengan batas atas dari aquifer. Relasi yang terjadi pada air tanah (aquifer) terhadap pengambilan air tanah tersebut ialah jika pengambilan air tanah tersebut terus dilakukan maka rongga yang ditinggalkan oleh aquifer akan terisi oleh tanah akibat pemampatan.

2.3.4. Konsolidasi Satu Dimensi Menggunakan Metode Tekanan Air Pori

Menurut Terzaghi pada buku Braja M. Das (1998) dan Soedarsono (1997) Tegangan efektif penting ketika ada perubahan tekanan air pori ($U\omega$), tegangan efektif total (σ') kemudian akan terjadi.

Tanah dapat terkonsolidasi cepat karena berat bumi mendorong air keluar dari pori - pori, mengurangi muka air tanah. Tekanan statis antara partikel tanah ini diimbangi oleh bidang kontak antara butiran tanah, yang menciptakan ketahanan geser. Perubahan volume massa tanah disebabkan oleh tekanan efektif dan akan menghasilkan tahanan geser berdasarkan percobaan yang telah ada.

Ketika air didorong keluar dari lapisan tanah liat, tekanan yang diciptakannya menurunkan tingkat air di dalam tanah. Ini menyebabkan tanah naik, karena tekanan ekstra sekarang diberikan pada butiran tanah. Semakin besar penurunan level air, semakin besar peningkatan tekanan.

Lapisan lempung terkompresi disebabkan penurunan muka air tanah artesis statis. Hal ini akan menyebabkan tanah tenggelam, karena lapisan lempung akan kurang mampu menopang berat tanah.

Terzaghi dalam Skepton (1960) menyajikan rumus untuk menghitung hubungan antara tekanan total, tekanan efektif, dan tekanan air pori :

$$d\sigma = d\sigma' + duw \dots\dots\dots (2.3)$$

didapatkan keterangan sebagai berikut :

$d\sigma$ = total tegangan

$d\sigma'$ = penambahan pada tegangan efektif

duw = tekanan pada air pori

Saat kami memompa sumur, tekanan air berkurang, yang membuat beban pada partikel tanah lebih besar. Ini membuat lapisan tanah meregang, dan tekanan pada titik tertentu (dalam hal ini, sumur) dapat dihitung berdasarkan persamaan tersebut.

2.3.5. Konsolidasi Primer Satu Dimensi

Whitman R. dan Lambe T. (1969) menyatakan bahwa konsolidasi pada elemen tanah dapat dipengaruhi oleh gaya tarik-menarik antar partikel, tekanan mineral, dan aliran air pori. Konsolidasi primer adalah ketika tekanan di dalam tanah

menjadi sangat tinggi sehingga mendorong semuanya menjadi satu. Ini bisa terjadi ketika banyak air di tanah, seperti setelah hujan. Besarnya penurunan yang terjadi akibat konsolidasi primer didasarkan pada asumsi bahwa konsolidasi tersebut merupakan konsolidasi tunggal yang besar. Konsolidasi primer dapat dihitung dengan asumsi sebagai konsolidasi satu dimensi (Craig, tahun 1978) dan (Das, tahun 1988) :

$$S = H \frac{\Delta e}{1+e_o} \dots\dots\dots (2.4)$$

Konsolidasi normal pada tanah lempung, maka :

$$\Delta e = C_c \{ \log (p_o + \Delta p) - \log p_o \} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dalam hal ini :

C_c : indek pemampatan sehingga persamaannya menjadi

$$S = \frac{C_c \cdot H}{1+e_o} \log \left(\frac{p_o + \Delta p}{p_o} \right) \dots\dots\dots (2.6)$$

Lapisan tanah lempung yang tebal dapat dibagi menjadi sub-lapisan untuk perhitungan penurunannya secara terpisah. Total penurunan seluruh lapisan dapat ditemukan dengan menggunakan rumus berikut :

$$S = \sum \left\{ \frac{C_c \cdot H_i}{1+e_o} \log P \left(\frac{p_o(i) + \Delta p(i)}{p_o(i)} \right) \right\} \dots\dots\dots (2.7)$$

Didapatkan keterangan sebagai berikut :

S = nilai konsolidasi primer

H_i = ketebalan pada sub lapisan (i)

C_c = indek pemampatan

Δe = perubahan angka pori

H = ketebalan pada lapisan tanah

$P_o(i)$ = Tekanan efektif *overburden* pada sub-lapisan (i)

$\Delta p(i)$ = Penambahan tekanan vertikal pada sub-lapisan (i)

e_o = awal nilai angka pori

2.3.6. Konsolidasi Sekunder Satu Dimensi

Bowles dan Hainim pada tahun 1991 menyatakan bahwa setelah tekanan dalam pori-pori tanah berkurang menjadi nol pada hasil akhir konsolidasi primer, tanah tetap mengendap akibat penyesuaian butir-butir tanah sehingga tetap terjadi

penurunan tanah. Tahap ini yang disebut tahapan konsolidasi sekunder. Indeks pemampatan sekunder adalah sebagai berikut :

$$C\alpha = \frac{\Delta e}{\log t_2 - \log t_1} = \frac{\Delta e}{\log(\frac{t_2}{t_1})} \dots\dots\dots (2.8)$$

didapatkan keterangan sebagai berikut :

$C\alpha$ = indeks pemampatan sekunder

Δe = perubahan angka pori

t_1, t_2 = waktu

Besarnya konsolidasi sekunder dapat dicari:

$$C\alpha = \frac{\Delta e}{\log(\frac{t_2}{t_1})} \dots\dots\dots (2.9)$$

Didapatkan keterangan sebagai berikut :

$C\alpha$ = indeks pemampatan sekunder

Δe = perubahan angka pori

t_1, t_2 = waktu

$$S_s = C' \cdot \alpha \cdot H \cdot \log(t_2/t_1) \dots\dots\dots (2.10)$$

Didapatkan keterangan sebagai berikut :

S_s = besar konsolidasi sekunder

$$C'\alpha = C\alpha / (1+e_p) \dots\dots\dots (2.11)$$

e_p = angka pori pada akhir konsolidasi primer

H = tebal lapisan tanah

2.3.7. Lama Konsolidasi

Teori kecepatan konsolidasi satu dimensi untuk tanah lempung jenuh air dikenalkan oleh Terzaghi & Taylor dalam Holtz tahun 1985, dengan anggapan seperti berikut.:

1. Tanah homogen
2. Tanah keadaan jenuh
3. Abaikan kemampuan memampatkan air
4. Abaikan kemampuan memampatkan butir
5. Air mengalir hanya satu arah (pemampatan)

6. Menggunakan hukum Darcy

Perubahan derajat konsolidasi rata-rata terkait dengan factor waktu tanpa dimensi (T_v). Menurut Craig tahun 1989, T_v bisa ditentukan dengan menggunakan rumus $T_v = C_v \cdot t \cdot d^2$, nilai faktor waktu dan derajat konsolidasi (U), Das tahun 1988 sebagai berikut :

$$\text{Untuk } U = 0 \text{ sampai } 52,6\%, T_v = \frac{\pi}{4} \left(\frac{U\%}{100} \right)^2 \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\text{Untuk } U = 52,6\%, T_v = 1.781 - 0,933 \log(100 - U\%) \dots\dots\dots (2.13)$$

$$\text{Pada keadaan } U = 50\% \text{ air pori mengalir pada satu arah } T_{50} = \frac{C_v \cdot t_{50}}{Hd r^2} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dalam hal ini :

C_v = koefisien untuk konsolidasi

T_{50} = waktu terjadi konsolidasi 50%

t_{50} = untuk konsolidasi 50% (tabel)

Hdr = panjang untuk aliran air pori selama proses konsolidasi

2.4. Teori Pengambilan Air Dalam Tanah

2.4.1. Pengertian Air Dalam Tanah Menurut Para Ahli

Menurut (Kumalasari & Satoto, 2011) Air dalam tanah merupakan air yang berada di dalam tanah. Ada pengklasifikasian air tanah berdasarkan kedalamannya, yaitu air tanah dangkal dan air tanah dalam. Air tanah yang dalam berasal dari air hujan yang jatuh ke tanah dan masuk jauh ke dalam tanah. Jauh lebih dalam dari air tanah yang dangkal, dan jauh lebih jernih daripada air yang lebih dekat ke permukaan. Air tanah dangkal berasal dari air hujan yang sudah jatuh ke tanah dimana posisinya itu dekat dengan permukaan, dan tidak terlalu dalam.

Menurut (Effendi, 2003) Air tanah adalah air yang berada di bawah lapisan tanah paling atas. Untuk menemukan Air tanah dapat dilihat ke lapisan pada akuifer dengan pergerakan air tanah yang sangat lambat yakni dengan kecepatan arus berkisar antara 10^{-10} – 10^{-3} m/detik dan dipengaruhi oleh permeabilitas dari lapisan tanah, permeabilitas dan pengisian kembali air dalam tanah.

Menurut (Sanropie, 1984) Air tanah adalah air yang berada di bawah tanah yang terus ditambahkan oleh alam. Lapisan air tanah dibagi menjadi dua bagian berdasarkan berapa banyak air yang ada di dalamnya yaitu.:

- Zona air yang memiliki udara (*zone of aeration*), Tanah di daerah ini merupakan lapisan yang masih dapat bersentuhan dengan udara .Ada 3 lapisan tanah yang ada pada zona ini yaitu lapisan muka tanah, lapisan tengah, dan lapisan tanah dalam.
- Zona air jenuh (*zone of saturation*). Zona ini merupakan zona dengan lapisan yang mengandung air tanah yang tidak bergabung dengan udara luar, lapisan pada tanahnya disebut dengan aquifer bebas.

Menurut (Bouwer, 1978) Air dalam tanah merupakan air di bawah permukaan tanah yang kemudian dapat dilihat dengan sumuran, terowongan, atau dengan menggunakan sistem drainase dengan pemompaan.

Menurut yang dikemukakan (Fetter, 1994), Air tanah merupakan sejumlah air yang tersimpan dalam lapisan tanah aquifer hingga kemudian bergerak ke berbagai lapisan dan batuan tanah sehingga air tersebut dapat keluar sebagai mata air, atau terkumpul dalam kolam, sungai, dan danau (Fetter, 1994). Batas atas pada lajur jenuh disebut dengan muka air tanah (*water table*).

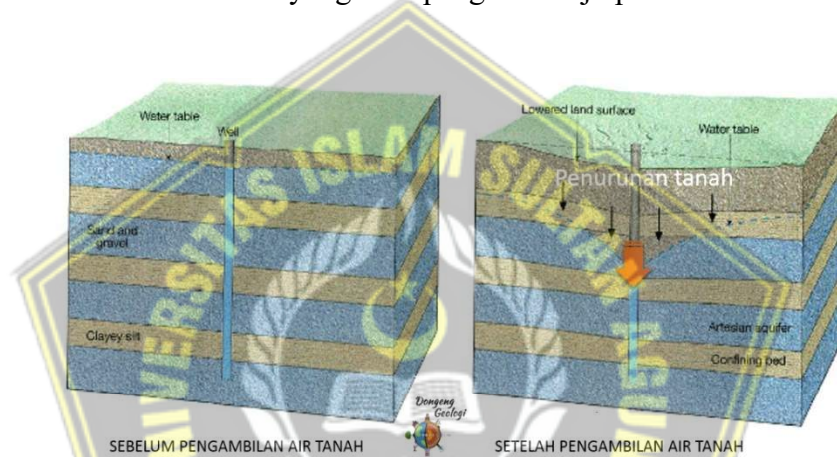
Menurut (Soemarto, 1989) Air dalam tanah merupakan air yang mengisi ruang ruang yang kosong dalam tanah.

Air dalam tanah merupakan air yang terletak di dalam rongga – rongga batuan dasar yang mengalir secara alami melalui aquifer ke permukaan tanah dengan pengaliran ataupun rembesan yang sewaktu – waktu volume atau kadar air yang terletak didalam tanah dapat berubah – ubah sesuai kondisi alam yang sedang terjadi dan juga sesuai penggunaan air dalam tanah untuk mencukupi kebutuhan manusia.

2.4.2. Mekanisme Pengambilan Air dalam Tanah

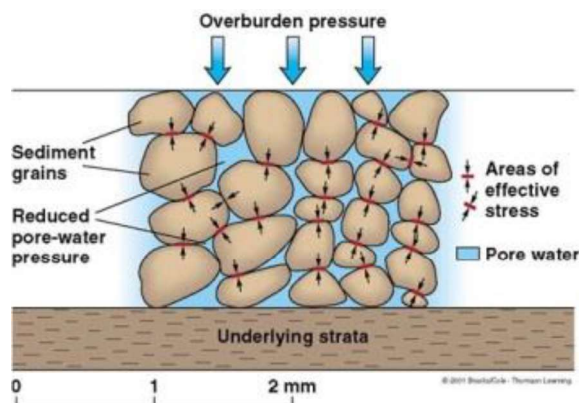
Memompa air tanah dapat menyebabkan tanah mengalami penurunan. Penurunan muka air tanah tersebut dapat mengakibatkan gaya angkat tanah menjadi berkurang, atau dengan kata lain tanah akan mengalami peningkatan pada tegangan efektifnya.

Efek dari tegangan efektif tanah meningkat yaitu menyebabkan penyusutan butiran kembali sehingga terjadi penurunan tanah. Di samping itu akan terangkutnya butiran yang berada di bawah muka air tanah akibat pemompaan sumur dalam secara berlebihan. Jika manusia terus mengeksploitasi air tanah terlalu banyak, tanah akan mulai terkikis karena partikel-partikel tanah akan terangkut. Ini akan menyebabkan penurunan permukaan air tanah secara permanen dan sebagian besar tanah akan mengalami penurunan (*land subsidence*). Oleh karena itu, debit untuk pemompaan air dalam tanah tidak dianjurkan melebihi batas potensi akuifernya. Berikut gambar yang menunjukkan mekanisme pengambilan air dalam tanah yang mempengaruhi laju penurunan tanah.



Gambar 2.8. Pengaruh Pengambilan Air dalam Tanah (*geologi.co.id*)

Tes pemompaan diperlukan untuk mengetahui berapa banyak air yang ada di akuifer. Dengan melakukan hal ini mempunyai tujuan untuk mengetahui batasan maksimum debit pemompaan yang dikategorikan aman.



Gambar 2.9. Proses Terjadinya Penurunan Tanah (Brooks/cole, 2001)

2.5. Penentuan Parameter Tanah

1. Berat volume tanah basah (γ)

Berat volume untuk tanah basah (γ) didapatkan dengan korelasi hasil pengujian lapangan SPT terhadap tanah pasir dan lempung ditunjukkan pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.4. Korelasi N-SPT Dengan Berat Volume Tanah Lempung

N-SPT (blows/ft)	Consistency	q_u (Unconfined Compression Strength, tons/ft ²)	γ_{sat} (kN/m ³)
< 2	Very Soft	< 0,25	16 - 19
2 - 4	Soft	0,25 - 0,50	16 - 19
4 - 8	Medium Stiff	0,50 - 1,00	17 - 20
8 - 15	Stiff	1,00 - 2,00	19 - 22
15 - 30	Very Stiff	2,00 - 4,00	19 - 22
> 30	Hard	> 4,00	19 - 22

Sumber : Terzaghi and Peck, 1943

Tabel 2.5. Korelasi N-SPT Dengan Berat Volume Tanah Pasir

Compacness	Relative Density (%)	N-SPT (blows per ft)	Angle of Internal Friction (deg)	Unit Weight	
				Moist (psf)	Submerged (psf)
Very Loose	0 - 15	0 - 4	< 28	< 100	< 60
Loose	16 - 35	5 - 10	28 - 30	95 - 125	55 - 65
Medium	36 - 65	11 - 30	31 - 36	110 - 130	60 - 70
Dense	66 - 85	31 - 50	37 - 41	110 - 140	65 - 85
Very Dense	86 - 100	> 51	> 41	> 130	> 75

Sumber : Teng, 1962

2. Sudut geser dalam (ϕ)

Kekuatan geser internal bervariasi tergantung pada seberapa baik kohesi material menyatu. Sudut geser internal adalah sudut yang terbentuk ketika tegangan pada bahan lebih besar dari tegangan geser. Jika sudut geser tinggi, material akan lebih

tahan terhadap tegangan luar. Nilai sudut geser dalam (ϕ) menurut jenis tanah ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.6. Hubungan Antara Sudut Geser Dalam (ϕ) dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam ϕ
Kerikil Kepasiran	35° - 40°
Kerikil Kerakal	35° - 40°
Pasir Padat	35° - 40°
Pasir Lepas	30°
Lempung Kelanauan	25° - 30°
Lempung	20° - 25°

Sumber : Das, 1995

3. Kohesi (c)

Kohesi adalah gaya yang menyatukan partikel-partikel tanah. Gaya ini didasarkan pada kerapatan tanah dan jarak antar molekul dalam tanah. Dengan meningkatnya kepadatan tanah, kohesi antar partikel tanah juga meningkat. Nilai kohesi tanah dapat ditentukan berdasarkan jenisnya. Kohesi tanah berdasarkan nilai berat volume (γ) ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.7. Nilai Kohesi Tanah Berdasarkan Nilai Berat

Tanah Kohesif					
N-SPT	<4	4 - 6	6 - 15	16 - 30	31 - 50
Konsistensi	Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Hard
Kohesi	0 - 10	10 - 25	25 - 45	45 - 95	>100
Berat	14 - 18	16 - 18	16 - 18	16 - 20	20 - 23

Sumber : Lambe dan Whitman, 1969

4. Permeabilitas Tanah (k)

Permeabilitas mengacu pada kemampuan tanah untuk membiarkan air mengalir melaluinya dengan mudah. Hal ini dapat mempengaruhi kesuburan tanah, karena udara dan partikel lainnya dapat terbawa bersama air.

Pada pengukuran permeabilitas tanah menggunakan metode Hukum Darcy. Hukum Darcy untuk satu dimensi yaitu aliran secara vertikal. Permeabilitas tanah dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk pori-pori serta jenis cairan yang mengalir melaluinya. Air mengalir dengan mudah melalui tanah yang memiliki pori-pori besar, sedangkan pori-pori yang lebih kecil dengan hubungan antar pori yang seragam akan memiliki permeabilitas yang lebih rendah. Ada kemungkinan permeabilitas tanah mendekati nol, yang berarti udara mengalir melalui tanah dengan sangat lambat. Rembesan lateral, atau pergerakan air secara lateral melalui tanah, disebabkan oleh permeabilitas yang tidak seragam dari berbagai lapisan tanah. Jika air memasuki lapisan tanah dengan laju yang cepat, air dapat ditahan oleh lapisan-lapisan dengan sifat permeabel atau impermeabel yang lebih lambat. Ada dua jenis permeabilitas yaitu tanah jenuh dan tak jenuh. Tanah dapat dikategorikan jenuh di mana semua pori diisi dengan air, dan yang kedua yaitu tak jenuh, di mana ada beberapa pori kosong. Nilai permeabilitas yang ditentukan oleh data lapangan dan analisis laboratorium berbeda tergantung pada keadaan tanah. (Donahue, 1984).

Tabel 2.8. Nilai – Nilai Koefisien Permeabilitas Tanah Pada Umumnya

Jenis Tanah	k	
	cm/dt	ft/menit
Kerikil Bersih	1,0 - 100	2,0 - 200
Pasir Kasar	1,0 - 0,01	2,0 - 0,02
Pasir Halus	0,01 - 0,001	0,02 - 0,002
Lanau	0,001 - 0,00001	0,002 - 0,00002
Lempung	< 0,000001	< 0,000002

Sumber : Das, 1988

5. Poisson Ratio (ν)

Nilai *poisson ratio* ditentukan dengan ukuran seberapa kuat poros dikompresi terhadap seberapa banyak mengembang saat diregangkan. Rasio Poisson ditentukan oleh korelasi hasil uji lapangan SPT pada tanah lempung dan pasir berdasarkan Tabel 2.9 berikut.

Tabel 2.9. Korelasi N-SPT dengan *Poisson Ratio*

Jenis Tanah	Poisson's Ratio
Loose Sand	0.2 - 0.4
Medium Dense Sand	0.25 - 0.4
Dense Sand	0.3 - 0.45
Silty Sand	0.2 - 0.4
Sand and Gravel	0.15 - 0.35
Soft Clay	0.2 - 0.5
Medium Clay	0.2 - 0.5
Stiff Clay	0.2 - 0.5

Sumber : Das, 2004

6. Modulus Elastisitas Tanah

Modulus Young mengukur kekuatan material. Semakin besar nilai Modulus Young, semakin elastis bahan tersebut. Ini berarti material dapat meregang sebelum pecah. Traxial Test. M. Das (2010) merekomendasikan untuk menghitung modulus elastisitas tanah pasir menggunakan korelasi antara N-SPT dan CPT dari persamaan berikut :

$$Es = 766 \times N\text{-SPT} \text{ (kN/m}^2\text{)} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$Es = 2 \text{ } q_c \text{ (kN/m}^2\text{)} (3.7) \dots\dots\dots (2.16)$$

Tabel 2.10. Korelasi N-SPT dengan Modulus Elastisitas (E)

Jenis Tanah	Es (kN/m ²)
Lempung	
Sangat Lunak	300 - 3000
Lunak	2000 - 4000
Sedang	4500 - 9000
Keras	7000 - 20000
Berpasir	30000 - 42500
Pasir	
Berlanau	5000 - 20000
Tidak Padat	10000 - 25000
Padat	50000 - 100000
Pasir dan Kerikil	
Padat	5000 - 200000
Tidak Padat	50000 - 140000
Lanau	2000 - 60000
Loess	15000 - 60000
Serpih	140000 - 1400000

Sumber : Bowles, 1977

2.6. Plaxis V20

Plaxis dapat membantu analis memahami efek dari masalah geoteknik dalam perencanaan sipil dengan memodelkan kondisi dan penampang dari kondisi tersebut.

Hasil dari *software* Plaxis V20 dapat diandalkan karena sudah cukup teliti, karena analisis ini menggunakan 6 nodal elemen segitiga supaya dapat diinterpolasikan.

Program Plaxis meliputi :

1. Memasukan data pada program
2. Kalkulasi pada program
3. Mendapatkan hasil dari kalkulasi yang sudah dijalankan
4. Hasil grafik pada program

Jika membuat perubahan pada model yang telah dibuat menggunakan Plaxis, program akan memperingatkan tentang hal ini dan meminta untuk memverifikasi bahwa perubahan telah dilakukan dengan benar. Dengan mengikuti langkah-langkah ini, dapat membuat yakin bahwa model yang dibuat akurat dan konsisten.

2.7. Geostudio

Geostudio adalah *software* perangkat lunak yang membantu untuk memahami bagaimana geologi dan lingkungan memengaruhi bangunan dan struktur lainnya. Software ini mencakup sensor kemiringan, rembesan, sigma, gempa, dan suhu, serta dapat digunakan untuk membuat analisis gabungan data dari sensor ini.

Software ini dapat menganalisa seperti :

1. Mendesain dan mengontrol kinerja satu atau lebih lapisan yang menutupi fasilitas pembuangan limbah di rumah atau kantor
2. Perangkat lunak ini dapat membantu untuk mengetahui seberapa stabil suatu iklim dengan mengetahui bagaimana tekanan air pori didistribusikan di lereng
3. Dalam pemodelan 3D, kami menggunakan informasi tentang aliran air tanah untuk mengetahui berapa banyak air yang masuk atau keluar dari proyek pertanian atau irigasi. Kami juga dapat menggunakan informasi ini untuk mengetahui bagaimana struktur tertentu (seperti reservoir atau bendungan) mempengaruhi aliran air tanah.

Perbedaan antara *software* Geosudio dengan *software* Plaxis secara umum adalah pada *software* Geostudio terdapat beberapa subsoftware dimana kegunaan dari masing tersebut disesuaikan dengan permasalahan lapangan dibandingkan dengan Plaxis yang hanya menganalisis perilaku tanah pada kondisi tertentu saja.



2.8. Penelitian Terdahulu

Tabel 2.11. Daftar Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti	Judul	Pokok Bahasan	Metode	Hasil
1	Dian Indah Permatasari (2017)	Analisa Perubahan Luas Genangan Akibat Amblesan Tanah (<i>Land Subsidence</i>) di Kota Semarang	1. Menganalisa besarnya amblesan tanah (<i>land subsidence</i>) pada dataran aluvial akibat beban dan sifat mekanik tanah. 2. Menganalisa pertambahan luas genangan air pada dataran aluvial akibat amblesan tanah di Kecamatan Semarang Selatan	Metode : Eksperimental yang dilakukan dengan analisis laboratorium	1. Penyebab amblesan tanah 2. Besar nilai amblesan dan lamanya waktu amblesan di Kota Semarang
2	Kunanto Abdullah, Rehan Gusti Lutfi (2017)	Analisis Amblesan Tanah (<i>Land Subsidence</i>) Dan Pengaruhnya Terhadap	1. Mengsnslisa besar amblesan dengan teori terzaghi dan software	Metode: eksperimental Variabel yang dianalisis : pembebanan, penurunan	Prediksi besar dan lamanya amblesan serta luas genangan

	Perubahan Luas Genangan Di Kecamatan Sayung	plaxis 2. Memperkirakan pengaruh dari amblesan tanah terhadap luas genangan	tanah, luas genangan	dari tahun 2017 – 2031
3	Andri Kurniawan (2017)	Analisis Penurunan Tanah (<i>Land Subsidence</i>) yang Berpengaruh Terhadap Genangan Air ROB di Kota Semarang	Prediksi amblesan tanah di Kota Semarang	Metode: eksperimental Variabel yang dianalisis : pembebanan, penurunan tanah, luas genangan
4	Bagas Wahyu Adhi (2017)	Prediksi Perubahan Luas Genangan Berdasarkan Analisis Penurunan Tanah (<i>Land Subsidence</i>) Di Kota Semarang	Prediksi amblesan tanah di Kota Semarang	Metode: eksperimental Variabel yang dianalisis : pembebanan, penurunan tanah, luas genangan
				Prediksi besar dan lamanya amblesan serta luas genangan dari tahun 2017 – 2045
				Prediksi besar dan lamanya amblesan serta luas genangan dari tahun 2017 – 2047

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pengertian Umum

Pada metode penelitian menjelaskan tentang konsep dari penelitian, yaitu urutan, teknik yang dipakai, alat yang digunakan, dan desain dari penelitian. Desain dari penelitian ini sesuai dengan pemilihan pendekatan pada penelitian.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis atau menyelidiki besarnya penurunan dan lama waktu penurunan tanah yang dipengaruhi oleh pengambilan air dalam tanah yang terjadi di Kawasan Kaligawe menggunakan aplikasi khusus geoteknik.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

1. Perangkat keras (*hardware*) yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah :
 - a. Laptop HP Pavilion Gaming 15-ec0001ax dengan Prosesor AMD Ryzen™ 5 3550H with Radeon™ Vega 8 Graphics (8CPUs), ~2.1 GHz up to 3.7 GHz RAM 8 GB, OS Windows 10 64-bit.
2. Perangkat Lunak (*Software*) yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah :
 - b. Microsoft Office 2021
 - c. Plaxis V20
 - d. Geostudio

3.3. Tahapan Penelitian

Pertama kami mulai untuk pengumpulan materi atau tinjauan pustaka untuk menggali informasi terkait dengan penelitian ini. Kemudian kami mengumpulkan data yang dibutuhkan untuk penelitian ini yang dimana nantinya data itu akan kami analisis pada pembahasan. Kemudian dari pembahasan yang telah dibahas akan ditarik pada kesimpulan dan saran sebagai referensi penelitian selanjutnya.

3.3.1. Tahap Pengumpulan Data

Pada penelitian ini digunakan data sekunder, yaitu data yang didapatkan tidak langsung dari lapangan. Data tersebut meliputi gambar kerja gedung B asrama UNISSULA, data tanah gedung B asrama UNISSULA, data penggunaan air di gedung B asrama UNISSULA, data *land subsidence* Kota Semarang, dan data parameter tanah menurut para ahli.

3.3.2. Data Proyek

a. Data Umum Proyek

Nama proyek : Pembangunan Gedung B Asrama Mahasiswa Universitas Islam Sultan Agung Semarang
Lokasi Proyek : Jl. Raya Kaligawe Km. 04 Semarang
Fungsi Bangunan : Pesantren mahasiswa Universitas Islam Sultan Agung Semarang
Jumlah lantai : 4 lantai dan 1 basement
Struktur bangunan : Konstruksi menggunakan struktur beton bertulang
Struktur atap : Menggunakan rangka baja

b. Data Utama

Pelat lantai : $f'c = 30$ MPa
Pelat tangga : $f'c = 30$ MPa
Balok : $f'c = 30$ MPa
Kolom : $f'c = 30$ MPa
Pondasi : $f'c = 41,5$ MPa
Tulangan : $f_y = 240$ MPa
 $f_y = 400$ MPa

3.3.3. Tahap Analisis Data

Tahapan analisis data yaitu sebagai berikut :

- Menghitung beban bangunan menggunakan perhitungan manual serta beban angin dan beban gempa berdasarkan SNI-1727-2020.

- b. Untuk menentukan tujuan awal yaitu menganalisa penurunan tanah (*land subsidence*) dengan mendesain pompa air pada lapisan tanah menggunakan *software* Plaxis v20.
- c. Analisis menggunakan Geostudio.

3.3.4. Analisis Menggunakan Software Plaxis

Plaxis adalah program analisis geoteknik yang dapat digunakan untuk menganalisa stabilitas tanah dengan menggunakan metode elemen yang dapat menganalisa tanah mendekati pada keadaan sebenarnya.

Memprediksi adanya penurunan tanah menggunakan *software* Plaxis dengan urutan sebagai berikut :

1. Buat profil tanah. Untuk membuat profil tanah, perlu mengukur ukuran tanah dan membaginya menjadi beberapa kategori
2. Buat profil melintang pada tanah di lokasi bor yang sesuai dengan hasil analisis laboratorium.
3. Mengidentifikasi tanah yaitu dengan cara memasukkan parameter yang sesuai dengan jenis tanah.
4. kemudian buatlah nama jenis tanah yang akan dimasukkan dalam pemodelan Plaxis.
5. Berikan pembebanan pada lapisan tanah sesuai dengan beban bangunan.
6. Buat model pompa air menggunakan tipe *well* untuk memompa air ke permukaan tanah.
7. Kemudian lihat kondisi tekanan air awal.
8. Kemudian masukkan parameter tanah pada stage *construction*.
9. Tunggu hasil running yang akan mendapatkan hasil besar penurunan tanah (cm)

Hasil analisis program Plaxis V20 adalah :

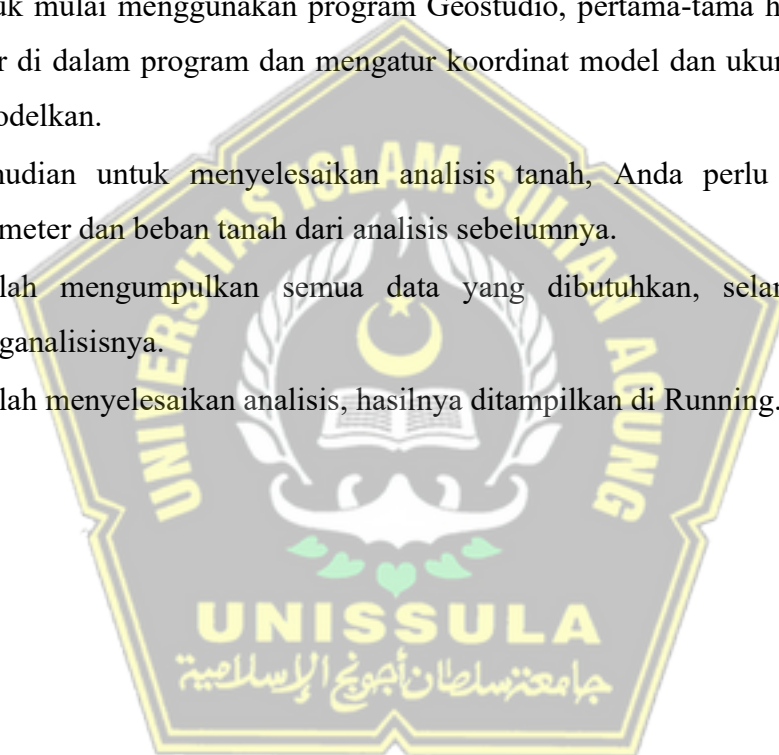
1. Menampilkan hasil permodelan pompa air pada lapisan tanah
2. Menampilkan hasil total penurunan tanah yang terjadi (*total displacement*).
3. Menampilkan hasil penurunan tanah terbesar pada lapisan tanah.
4. Menampilkan hasil penurunan muka air tanah (*groundwater head*)

3.3.5. Analisis Menggunakan *Software* Geostudio

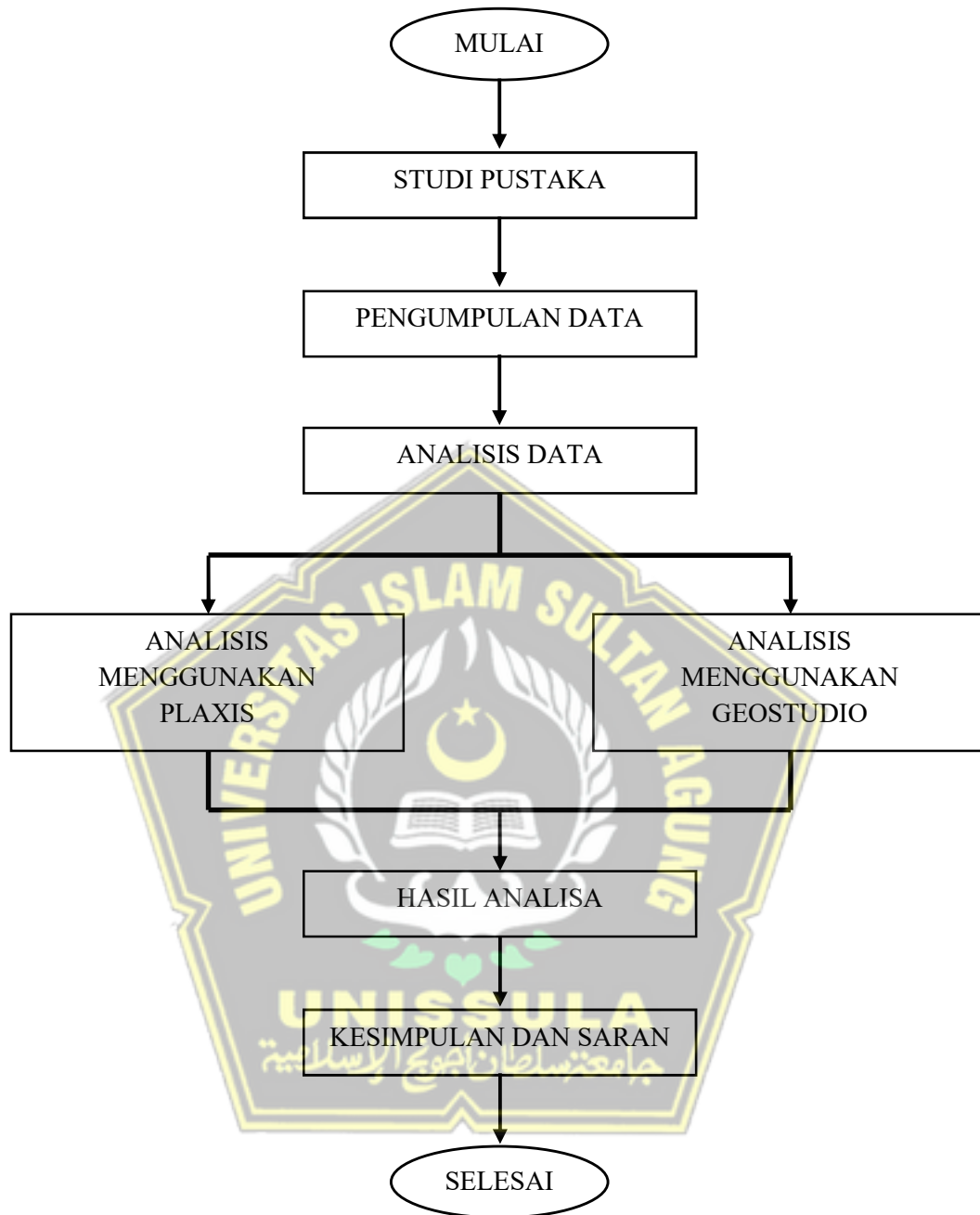
Geostudio merupakan *software* pada komputer yang digunakan untuk menganalisis atau memodelkan sebuah peristiwa pada geoteknik dan geolingkungan. Adapun fitur dari *software* ini yaitu melingkupi slope/w, seep/w, quake/w, sigma/w, temp/w, ctran/w.

Perangkat lunak Geostudio dapat memprediksi seberapa banyak tanah akan mengalami penurunan sebagai respons terhadap beban dan kondisi tanah yang berbeda. Hasil perhitungan menggunakan perangkat lunak dan hasil perhitungan menggunakan model Fisik dibandingkan.

- Untuk mulai menggunakan program Geostudio, pertama-tama harus membuat layer di dalam program dan mengatur koordinat model dan ukuran yang ingin dimodelkan.
- Kemudian untuk menyelesaikan analisis tanah, Anda perlu mengisi data parameter dan beban tanah dari analisis sebelumnya.
- Setelah mengumpulkan semua data yang dibutuhkan, selanjutnya mulai menganalisisnya.
- Setelah menyelesaikan analisis, hasilnya ditampilkan di Running.



3.4. Diagram Alir



Gambar 3.1. Diagram Alir Analisis *Land subsidence* di Kawasan Kaligawe Akibat Pengambilan Air dalam Tanah Menggunakan *Software* Plaxis dan Geostudio

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pendahuluan

Prediksi yang dilakukan pada tahap ini meliputi analisis data yang didapat dari hasil pengolahan data pada Gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung Semarang sebagai sampel penelitian yang digunakan sebagai sarana untuk mengolah data sekunder dengan bantuan *software* Plaxis V20 dan *software* Geostudio. Analisa tersebut bertujuan untuk mengetahui seberapa besar penurunan tanah di Kawasan Kaligawe, letak lapisan tanah yang mengalami penurunan terbesar, dan untuk mengetahui apakah muka air tanah mengalami penurunan atau tidak yang di akibatkan oleh pengambilan air dalam tanah.

4.2. Data Tanah

4.2.1. Laporan Penyelidikan Tanah

Pengumpulan data penyelidikan tanah ini digunakan untuk mengetahui jenis tanah pada setiap kedalaman beserta nilai N-SPT nya, berat volume tanah basah (γ_{sat}), berat volume tanah kering (γ_{unsat}), kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ) perbedaan muka air tanah. Berdasarkan data-data yang diperoleh dari penyelidikan tanah di lapangan, secara umum kondisi tanah seperti berikut :

Tabel 4.1 Profil tanah BM.1

NO	Depth (m)	Gs	W (%)	c (kg/cm ²)	ϕ (°)
1	5	2,539	37,979	0,362	29,35
2	10	2,527	56,927	0,04	25,1
3	15	2,464	54,176	0,101	30,36
4	20	2,539	64,324	0,064	22,86
5	25	2,486	53,308	0,012	33,26
6	30	2,539	37,011	0,233	28,32
7	35	2,555	34,692	0,229	27,27
8	40	2,514	42,125	0,342	30,36
9	45	2,592	39,507	0,483	29,35
10	50	2,579	37,123	0,229	44,53

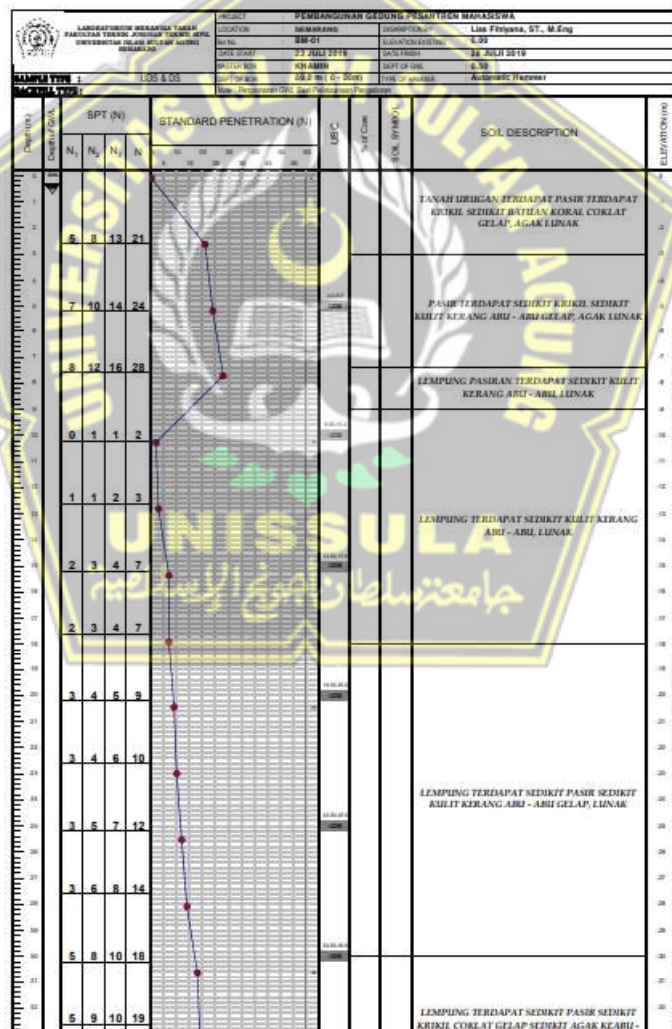
Sumber : Data Tanah Proyek, 2019

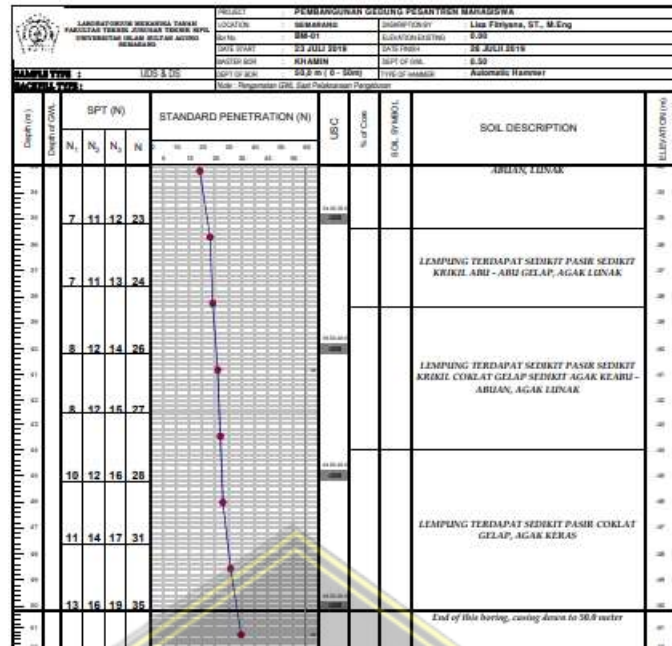
4.2.2. Muka Air Tanah

Pada hasil pengamatan melalui pengujian *bore log* di daerah Gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung Semarang, diketahui muka air tanah berada pada kedalaman $\pm 0,3$ meter atau sekitar 30 cm. Tidak menutup kemungkinan muka air yang tercatat pada lubang bor masih bercampur dengan air bilas pengeboran. Pengeboran lebih akurat dilakukan dengan pemasangan sumur observasi dan beberapa *Piezometer* untuk memastikan kedalaman muka air tanah.

4.2.3. Pengujian Laboratorium

Setelah dilakukan pengeboran di lapangan, selanjutnya akan dilakukan pengujian di Laboratorium untuk mendapatkan parameter tanah maupun mekanisme tanah.





Gambar 4.1. Data *Bore Log* (Data Tanah Proyek, 2019)

Berdasarkan Gambar 4.1. dapat di deskripsikan lebih detail untuk parameter-parameter tanah pada pengeboran tanah di Gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang dapat dilihat pada Tabel 4.2. antara lain :

Tabel 4.2. Deskripsi Tanah BM.1

Kedalaman (m)	Keterangan
0,00-2,50	Pada elevasi 0,00 m sampai -2,50 m berupa tanah urugan terdapat pasir, kerikil sedikit batuan koral coklat gelap, agak lunak. Lapisan ini mempunyai nilai pukulan N - SPT nya 21 Blows dan muka air tanah berada pada elevasi -0,3 m.
2,50-5,20	Pada elevasi -2,50 m sampai -5,20 m berupa pasir terdapat sedikit kerikil dan sedikit kulit kerang, agak lunak. Lapisan ini mempunyai nilai pukulan N - SPT nya 24 Blows
5,20-7,60	Pada elevasi -5,20 m sampai -7,60 m berupa lempung pasiran terdapat sedikit kulit kerang abu - abu, lunak. Lapisan ini mempunyai nilai pukulan N - SPT nya 28 Blows

7,60-10,20	Pada elevasi 7,60 m sampai 10,20 m berupa lempung terdapat sedikit kulit kerang abu - abu, lunak. Lapisan ini mempunyai nilai pukulan N - SPT nya 2 Blows
10,20-12,60	Pada elevasi -10,20 m sampai -12,60 m berupa lempung terdapat sedikit kulit kerang abu - abu, lunak. Lapisan ini mempunyai nilai pukulan N - SPT nya 3 Blows
12,60-15,20	Pada elevasi -12,60 m sampai -15,20 m berupa lempung terdapat sedikit kulit kerang abu - abu, lunak. Lapisan ini mempunyai nilai pukulan N - SPT nya 7 Blows
15,20-17,60	Pada elevasi -15,20 m sampai -17,60 m berupa lempung terdapat sedikit kulit kerang abu - abu, lunak. Lapisan ini mempunyai nilai pukulan N - SPT nya 7 Blows
17,60-20,20	Pada elevasi -17,60 m sampai -20,20 m berupa lempung terdapat sedikit kulit kerang abu - abu gelap, lunak. Lapisan ini mempunyai nilai pukulan N - SPT nya 9 Blows
20,20-22,60	Pada elevasi -20,20 m sampai -22,60 m berupa lempung terdapat sedikit kulit kerang abu - abu gelap, lunak. Lapisan ini mempunyai nilai pukulan N - SPT nya 10 Blows
22,60-25,20	Pada elevasi -22,60 m sampai -25,20 m berupa lempung terdapat sedikit kulit kerang abu - abu gelap, lunak. Lapisan ini mempunyai nilai pukulan N - SPT nya 12 Blows
25,20-27,60	Pada elevasi -25,20 m sampai -27,60 m berupa lempung terdapat sedikit kulit kerang abu - abu gelap, lunak. Lapisan ini mempunyai nilai pukulan N - SPT nya 14 Blows
27,60-30,20	Pada elevasi -27,60 m sampai -30,20 m berupa lempung terdapat sedikit pasir sedikit krikil coklat gelap sedikit ke abu abuan, lunak. Lapisan ini mempunyai nilai pukulan N - SPT nya 18 Blows
30,20-32,60	Pada elevasi -30,20 m sampai -32,60 m berupa lempung terdapat sedikit pasir sedikit krikil coklat gelap sedikit ke abu abuan, lunak. Lapisan ini mempunyai nilai pukulan N - SPT nya 19 Blows

32,60-35,20	Pada elevasi -32,60 m sampai -35,20 m berupa lempung terdapat sedikit pasir sedikit krikil abu abu gelap, agak lunak. Lapisan ini mempunyai nilai pukulan N - SPT nya 23 Blows
35,20-37,60	Pada elevasi -35,20 m sampai -37,60 m berupa lempung terdapat sedikit pasir sedikit krikil abu abu gelap, agak lunak. Lapisan ini mempunyai nilai pukulan N - SPT nya 24 Blows
37,60-40,20	Pada elevasi -37,60 m sampai -40,20 m berupa lempung terdapat sedikit pasir sedikit krikil coklat gelap sedikit agak ke abu abuan, agak lunak. Lapisan ini mempunyai nilai pukulan N - SPT nya 26 Blows
40,20-42,60	Pada elevasi -40,20 m sampai -42,60 m berupa lempung terdapat sedikit pasir sedikit krikil coklat gelap sedikit agak ke abu abuan, agak lunak. Lapisan ini mempunyai nilai pukulan N - SPT nya 27 Blows
42,60-45,20	Pada elevasi -42,60 m sampai -45,20 m berupa lempung terdapat sedikit pasir coklat gelap, agak keras. Lapisan ini mempunyai nilai pukulan N - SPT nya 28 Blows
45,20-47,60	Pada elevasi -45,20 m sampai -47,60 m berupa lempung terdapat sedikit pasir coklat gelap, agak keras. Lapisan ini mempunyai nilai pukulan N - SPT nya 31 Blows
47,60-50,00	Pada elevasi -47,60 m sampai -50,00 m berupa lempung terdapat sedikit pasir coklat gelap, agak keras. Lapisan ini mempunyai nilai pukulan N - SPT nya 35 Blows

Sumber : Data Tanah Proyek, 2019

4.3. Analisa Perhitungan Pembebanan

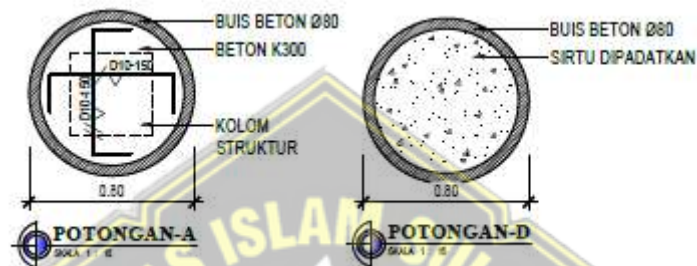
Pada perhitungan pembebanan menggunakan perhitungan manual yaitu kombinasi beban mati dan beban hidup pada Gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

4.3.1. Beban Mati (Dead Load)

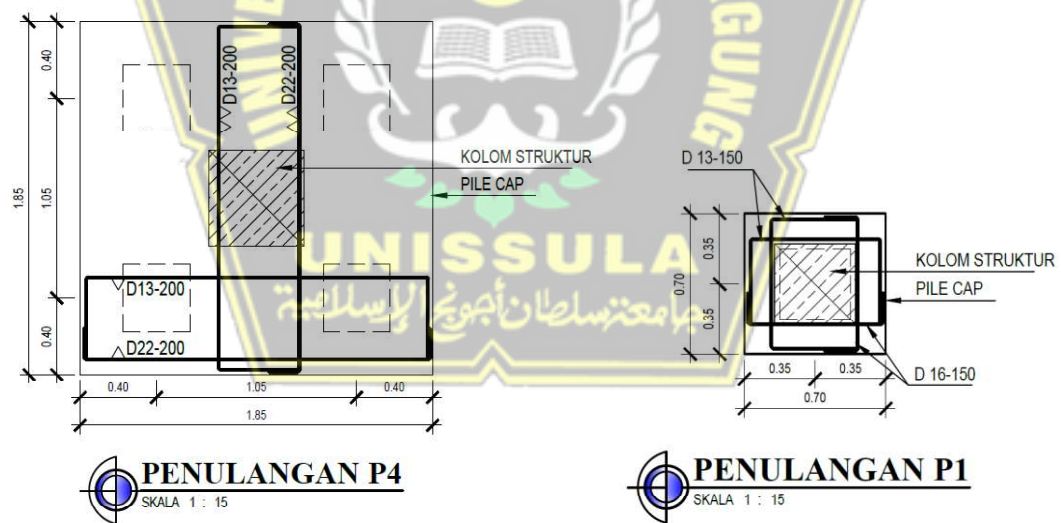
Beban Mati merupakan beban yang dimiliki oleh bangunan itu sendiri dan semua bagian dari bangunan yang bersifat tetap, dimana bagian tersebut tidak bisa terpisahkan oleh bangunan itu sendiri.

4.3.1.1. Pondasi

Ada 2 tipe pondasi dalam pembangunan Gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung Semarang, yaitu pondasi sumuran dan pondasi tiang pancang.



Gambar 4.2. Detail Pondasi



Gambar 4.3. Dimensi Pilecap

a. Pondasi Sumuran

Pada pondasi sumuran Gedung B Asrama UNISSULA memiliki diameter 80 cm dengan kedalaman 2 meter.

➤ Beton bertulang

$$\begin{aligned}
 V &= \phi \times r \times r \times t \\
 &= 3,14 \times 0,4 \times 0,4 \times 1 \\
 &= 0,5024 \text{ m}^3 \times 4 \text{ buah} = 2 \text{ m}^3 \\
 \Rightarrow 2 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 &= 4,8 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

➤ Sirtu

$$\begin{aligned}
 V &= \phi \times r \times r \times t \\
 &= 3,14 \times 0,4 \times 0,4 \times 1 \\
 &= 0,5024 \text{ m}^3 \times 4 \text{ buah} = 2 \text{ m}^3 \\
 \Rightarrow 2 \text{ m}^3 \times 1,8 \text{ ton} / \text{m}^3 &= 3,6 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

b. Pondasi Tiang Pancang

Pada pondasi tiang pancang memiliki dimensi 35 cm x 35 cm x 3500 cm

➤ Beton bertulang

$$\begin{aligned}
 V &= p \times l \times t \\
 &= 0,35 \times 0,35 \times 35 \\
 &= 4,2875 \text{ m}^3 \times 146 \text{ buah} = 625,98 \text{ m}^3 \\
 \Rightarrow 625,98 \text{ m}^3 \times 2,2 \text{ ton} / \text{m}^3 &= 1.377,2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Jadi total beban pondasi adalah 1.385,6 ton

4.3.1.2. Pile Cap

Pada pembangunan Gedung B Asrama UNISSULA ada 4 tipe pilecap yaitu :

➤ P1

$$\begin{aligned}
 V &= p \times l \times t \\
 &= 0,7 \times 0,7 \times 0,8 \\
 &= 0,392 \text{ m}^3 \times 6 \text{ buah} = 2,352 \text{ m}^3 \\
 \Rightarrow 2,352 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 &= 5,6 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

➤ P2

$$\begin{aligned}
 V &= p \times l \times t \\
 &= 1,85 \times 0,8 \times 1 \\
 &= 1,48 \text{ m}^3 \times 28 \text{ buah} = 41,44 \text{ m}^3 \\
 \Rightarrow 41,44 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 &= 99,4 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

➤ P3

$$V_{blk} = p \times l \times t$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,85 \times 0,5 \times 1 \\
 &= 0,93 \text{ m}^3 \times 20 \text{ buah} = 18,6 \text{ m}^3 \\
 V_{\text{tpsm}} &= (1,85 + 0,5) \times 1,21 / 2 \\
 &= 2,84/2 \\
 &= 1,42 \text{ m}^3 \times 20 \text{ buah} = 28,4 \text{ m}^3 \\
 \Rightarrow & 47 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 112,8 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

➤ P4

$$\begin{aligned}
 V &= p \times l \times t \\
 &= 1,85 \times 1,85 \times 1 \\
 &= 3,42 \text{ m}^3 \times 6 \text{ buah} = 20,52 \text{ m}^3 \\
 \Rightarrow & 20,52 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 49,2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Jadi total beban pada pilecap adalah 267 ton

4.3.1.3. Tie beam

Pada pembangunan Gedung B Asrama UNISSULA ada 4 tipe Tiebeam yaitu :

➤ TB1

$$\begin{aligned}
 V &= p \times l \times L \\
 &= 0,4 \times 0,3 \times 33 \\
 &= 3,96 \text{ m}^3 \\
 \Rightarrow & 3,96 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 9,5 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

➤ TB2

$$\begin{aligned}
 V &= p \times l \times L \\
 &= 0,4 \times 0,25 \times 440 \\
 &= 44 \text{ m}^3 \\
 \Rightarrow & 44 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 105,6 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

➤ TB3

$$\begin{aligned}
 V &= p \times l \times L \\
 &= 0,3 \times 0,2 \times 110 \\
 &= 6,6 \text{ m}^3 \\
 \Rightarrow & 6,6 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 15,8 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

➤ TB4

$$V = p \times l \times L$$

$$= 0,4 \times 0,2 \times 40$$

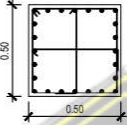
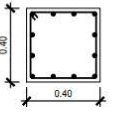
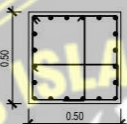
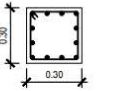
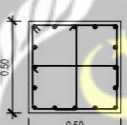
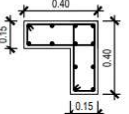
$$= 3,2 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow 3,2 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 7,7 \text{ ton}$$

Jadi total beban tie beam sebesar 138,6 ton

4.3.1.4. Kolom

Bangunan pada Gedung B Asrama UNISSULA memiliki 4 lantai dan 1 basement.

KOLOM KODE	TULANGAN POKOK	TULANGAN GESER (BEUGEL)	GAMBAR PENULANGAN	KOLOM KODE	TULANGAN POKOK	TULANGAN GESER (BEUGEL)	GAMBAR PENULANGAN
KOLOM K1.a' (50x50)	24 D 19	SENGKANG LUAR		KOLOM K2' (40x40)	12 D 19		
		D10-100 (Tumpuan) D10-150 (Lapangan)				SENGKANG LUAR	
		SENGKANG KAIT				D10-100 (Tumpuan) D10-150 (Lapangan)	
		D10-100 (Tumpuan) - (Lapangan)					
KOLOM K1.b' (50x50)	20 D 19	SENGKANG LUAR		KOLOM K3' (30x30)	12 D 16		
		D10-100 (Tumpuan) D10-150 (Lapangan)				SENGKANG LUAR	
		SENGKANG KAIT				D10-100 (Tumpuan) D10-150 (Lapangan)	
		D10-100 (Tumpuan) - (Lapangan)					
KOLOM K1.c' (50x50)	16 D 19	SENGKANG LUAR		KOLOM KL' (15x15x40)	12 D 16		
		D10-100 (Tumpuan) D10-150 (Lapangan)				SENGKANG LUAR	
		SENGKANG KAIT				D10-100 (Tumpuan) D10-150 (Lapangan)	
		D10-100 (Tumpuan) - (Lapangan)					

Gambar 4.4. Dimensi Kolom

a. Kolom Semi basement

➤ K1

$$\begin{aligned}
 V &= p \times l \times L \\
 &= 0,5 \times 0,5 \times 3 \\
 &= 0,75 \text{ m}^3 \times 54 \text{ buah} = 40,5 \text{ m}^3 \\
 &\Rightarrow 40,5 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 97,2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

➤ K2

$$\begin{aligned}
 V &= p \times l \times L \\
 &= 0,4 \times 0,4 \times 3 \\
 &= 0,48 \text{ m}^3 \times 6 \text{ buah} = 2,88 \text{ m}^3 \\
 &\Rightarrow 2,88 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 6,9 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

➤ K3

$$V = p \times l \times L$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,3 \times 0,3 \times 3 \\
 &= 0,27 \text{ m}^3 \times 4 \text{ buah} = 1,08 \text{ m}^3 \\
 &\Rightarrow 1,08 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 2,6 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

➤ KL

$$\begin{aligned}
 V &= ((0,15 \times 0,4) + (0,15 \times 0,25)) \times 3 \\
 &= 0,293 \text{ m}^3 \times 3 \text{ buah} = 0,88 \text{ m}^3 \\
 &\Rightarrow 0,88 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 2,1 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Beban kolom semi basement adalah 108,8 ton

b. Kolom Lantai 1

➤ K1

$$\begin{aligned}
 V &= p \times l \times L \\
 &= 0,5 \times 0,5 \times 3,5 \\
 &= 0,875 \text{ m}^3 \times 54 \text{ buah} = 47,25 \text{ m}^3 \\
 &\Rightarrow 47,25 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 113,4 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

➤ K3

$$\begin{aligned}
 V &= p \times l \times L \\
 &= 0,3 \times 0,3 \times 3,5 \\
 &= 0,315 \text{ m}^3 \times 4 \text{ buah} = 1,26 \text{ m}^3 \\
 &\Rightarrow 1,26 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 3 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

➤ KL

$$\begin{aligned}
 V &= ((0,15 \times 0,4) + (0,15 \times 0,25)) \times 3,5 \\
 &= 0,341 \text{ m}^3 \times 3 \text{ buah} = 1,024 \text{ m}^3 \\
 &\Rightarrow 1,024 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 2,46 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Beban kolom lantai 1 adalah 118,86 ton

c. Kolom Lantai 2

➤ K1

$$\begin{aligned}
 V &= p \times l \times L \\
 &= 0,5 \times 0,5 \times 3,5 \\
 &= 0,875 \text{ m}^3 \times 54 \text{ buah} = 47,25 \text{ m}^3 \\
 &\Rightarrow 47,25 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 113,4 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

➤ KL

$$V = ((0,15 \times 0,4) + (0,15 \times 0,25)) \times 3,5$$

$$= 0,341 \text{ m}^3 \times 3 \text{ buah} = 1,024 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow 1,024 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 2,46 \text{ ton}$$

Beban kolom lantai 2 adalah 115,86 ton

d. Kolom Lantai 3

➤ K1

$$V = p \times l \times L$$

$$= 0,5 \times 0,5 \times 3,5$$

$$= 0,875 \text{ m}^3 \times 54 \text{ buah} = 47,25 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow 47,25 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 113,4 \text{ ton}$$

➤ KL

$$V = ((0,15 \times 0,4) + (0,15 \times 0,25)) \times 3,5$$

$$= 0,341 \text{ m}^3 \times 3 \text{ buah} = 1,024 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow 1,024 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 2,46 \text{ ton}$$

Beban kolom lantai 3 adalah 115,86 ton

e. Kolom Lantai 4

➤ K1

$$V = p \times l \times L$$

$$= 0,5 \times 0,5 \times 3,5$$

$$= 0,875 \text{ m}^3 \times 30 \text{ buah} = 26,25 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow 26,25 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 63 \text{ ton}$$

➤ K2

$$V = p \times l \times L$$

$$= 0,4 \times 0,4 \times 3,5$$

$$= 0,56 \text{ m}^3 \times 22 \text{ buah} = 12,32 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow 12,32 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 29,6 \text{ ton}$$

➤ KL

$$V = ((0,15 \times 0,4) + (0,15 \times 0,25)) \times 3,5$$

$$= 0,341 \text{ m}^3 \times 3 \text{ buah} = 1,024 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow 1,024 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 2,46 \text{ ton}$$

Beban kolom lantai 4 adalah 95,06 ton

f. Kolom Atap

➤ K3

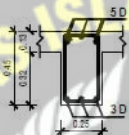
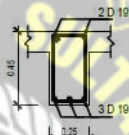
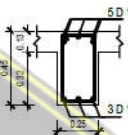
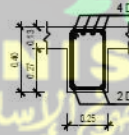
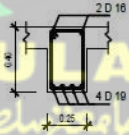
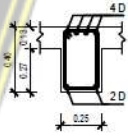
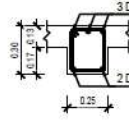
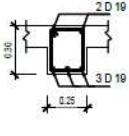
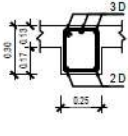
$$\begin{aligned}
 V &= p \times l \times L \\
 &= 0,3 \times 0,3 \times 2,3 \\
 &= 0,207 \text{ m}^3 \times 8 \text{ buah} = 1,656 \text{ m}^3 \\
 \Rightarrow 1,656 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 &= 4 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Beban kolom atap adalah 4 ton

Jadi total beban kolom adalah 558,44 ton

4.3.1.5. Balok

Pada pembangunan Gedung B Asrama UNISSULA ada 4 tipe balok yaitu :

BALOK KODE	TULANGAN	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
BALOK G1.a' (25/45)	TULANGAN ATAS	5 D 19	2 D 19	5 D 19
	TULANGAN SAMPING	-	-	-
	TULANGAN BAWAH	3 D 19	3 D 19	3 D 19
	TULANGAN SENGKANG (BEUGEL)	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100
	GAMBAR PENULANGAN			
BALOK G2 (25/40)	TULANGAN ATAS	4 D 19	2 D 19	4 D 19
	TULANGAN SAMPING	-	-	-
	TULANGAN BAWAH	2 D 19	4 D 19	2 D 19
	TULANGAN SENGKANG (BEUGEL)	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100
	GAMBAR PENULANGAN			
BALOK G3' (25/30)	TULANGAN ATAS	3 D 19	2 D 19	3 D 19
	TULANGAN SAMPING	-	-	-
	TULANGAN BAWAH	2 D 19	3 D 19	2 D 19
	TULANGAN SENGKANG (BEUGEL)	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100
	GAMBAR PENULANGAN			

Gambar 4.5. Dimensi Balok

a. Lantai 1

➤ G1

$$\begin{aligned} V &= p \times l \times L \\ &= 0,45 \times 0,25 \times 571,5 \\ &= 64,3 \text{ m}^3 \\ \Rightarrow 64,3 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 &= 154,32 \text{ ton} \end{aligned}$$

➤ B1

$$\begin{aligned} V &= p \times l \times L \\ &= 0,4 \times 0,2 \times 265,25 \\ &= 21,2 \text{ m}^3 \\ \Rightarrow 21,2 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 &= 50,9 \text{ ton} \end{aligned}$$

➤ B2

$$\begin{aligned} V &= p \times l \times L \\ &= 0,3 \times 0,2 \times 5 \\ &= 0,3 \text{ m}^3 \\ \Rightarrow 0,3 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 &= 0,7 \text{ ton} \end{aligned}$$

➤ B3

$$\begin{aligned} V &= p \times l \times L \\ &= 0,3 \times 0,15 \times 5,5 \\ &= 0,25 \text{ m}^3 \\ \Rightarrow 0,25 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 &= 0,6 \text{ ton} \end{aligned}$$

Beban total balok lantai 1 adalah 206,52 ton

b. Lantai 2

➤ G1

$$\begin{aligned} V &= p \times l \times L \\ &= 0,45 \times 0,25 \times 495 \\ &= 55,7 \text{ m}^3 \\ \Rightarrow 55,7 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 &= 133,7 \text{ ton} \end{aligned}$$

➤ B1

$$\begin{aligned} V &= p \times l \times L \\ &= 0,4 \times 0,2 \times 242 \\ &= 19,36 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow 19,36 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 46,5 \text{ ton}$$

➤ B2

$$\begin{aligned} V &= p \times l \times L \\ &= 0,3 \times 0,2 \times 11 \\ &= 0,7 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow 0,7 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 1,7 \text{ ton}$$

➤ B3

$$\begin{aligned} V &= p \times l \times L \\ &= 0,3 \times 0,15 \times 92 \\ &= 4,14 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow 4,14 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 9,9 \text{ ton}$$

Beban total balok lantai 2 adalah 191,8 ton

c. Lantai 3

➤ G1

$$\begin{aligned} V &= p \times l \times L \\ &= 0,45 \times 0,25 \times 495 \\ &= 55,7 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow 55,7 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 133,7 \text{ ton}$$

➤ B1

$$\begin{aligned} V &= p \times l \times L \\ &= 0,4 \times 0,2 \times 231 \\ &= 18,48 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow 18,48 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 44,4 \text{ ton}$$

➤ B3

$$\begin{aligned} V &= p \times l \times L \\ &= 0,3 \times 0,15 \times 92 \\ &= 4,14 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow 4,14 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 9,9 \text{ ton}$$

Berat total balok lantai 3 adalah 188 ton

d. Lantai 4

➤ G1

$$V = p \times l \times L$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,45 \times 0,25 \times 495 \\
 &= 55,7 \text{ m}^3 \\
 &\Rightarrow 55,7 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 133,7 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

➤ B1

$$\begin{aligned}
 V &= p \times l \times L \\
 &= 0,4 \times 0,2 \times 231 \\
 &= 18,48 \text{ m}^3 \\
 &\Rightarrow 18,48 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 44,4 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

➤ B3

$$\begin{aligned}
 V &= p \times l \times L \\
 &= 0,3 \times 0,15 \times 92 \\
 &= 4,14 \text{ m}^3 \\
 &\Rightarrow 4,14 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 9,9 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Beban total balok lantai 4 adalah 188 ton

e. Atap

➤ G1

$$\begin{aligned}
 V &= p \times l \times L \\
 &= 0,45 \times 0,25 \times 44 \\
 &= 6,6 \text{ m}^3 \\
 &\Rightarrow 6,6 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 15,9 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

➤ B1

$$\begin{aligned}
 V &= p \times l \times L \\
 &= 0,4 \times 0,2 \times 11 \\
 &= 0,88 \text{ m}^3 \\
 &\Rightarrow 0,88 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 2,1 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Beban total balok Atap adalah 18 ton

f. Ringbalk

➤ G1

$$\begin{aligned}
 V &= p \times l \times L \\
 &= 0,45 \times 0,25 \times 262,5 \\
 &= 29,53 \text{ m}^3 \\
 &\Rightarrow 29,53 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 70,9 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

➤ B1

$$\begin{aligned} V &= p \times l \times L \\ &= 0,4 \times 0,2 \times 158,5 \\ &= 12,68 \text{ m}^3 \\ \Rightarrow 12,68 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 &= 30,4 \text{ ton} \end{aligned}$$

➤ B2

$$\begin{aligned} V &= p \times l \times L \\ &= 0,3 \times 0,2 \times 32 \\ &= 1,92 \text{ m}^3 \\ \Rightarrow 1,92 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 &= 4,6 \text{ ton} \end{aligned}$$

➤ B3

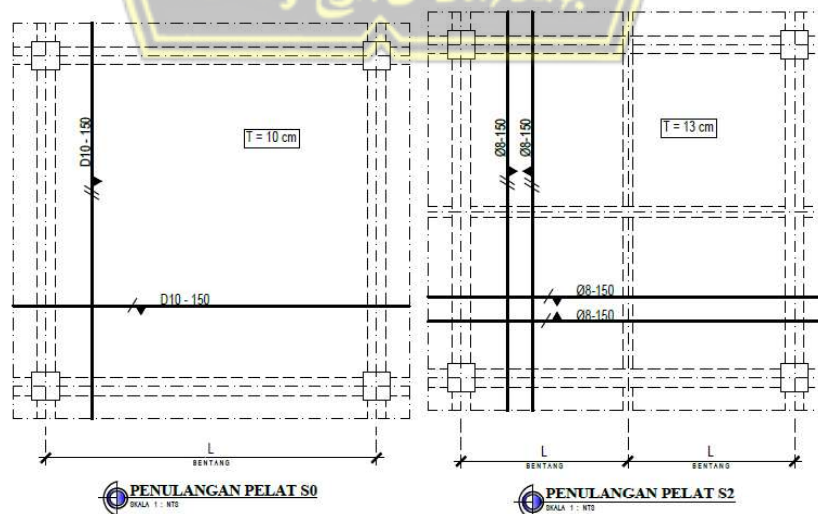
$$\begin{aligned} V &= p \times l \times L \\ &= 0,3 \times 0,15 \times 104,5 \\ &= 4,7 \text{ m}^3 \\ \Rightarrow 4,7 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 &= 11,3 \text{ ton} \end{aligned}$$

Beban total balok Ringbalk adalah 117,2 ton

Jadi beban total balok adalah 909,5 ton

4.3.1.6. Pelat

Pelat Lantai merupakan suatu struktur yang terbilang paling tipis. Pelat lantai bertumpu oleh kolom dan balok. Pada struktur Gedung B Asrama UNISSULA terdapat 1 pelat basement, 4 pelat lantai dan pelat atap.



Gambar 4.6. Penulangan Pelat

a. Lantai Basement

➤ S0

$$\begin{aligned} V &= \text{Luas} \times \text{tebal lantai} \\ &= 1331 \text{ m}^2 \times 0,1 \text{ m} \\ &= 133,1 \text{ m}^3 \\ \Rightarrow 133,1 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 &= 319,49 \text{ ton} \end{aligned}$$

➤ Paving

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= 22 \text{ m}^2 \\ \Rightarrow 22 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ ton} / \text{m}^2 &= 3,3 \text{ ton} \end{aligned}$$

Beban total pelat lantai basement adalah 322,8 ton

b. Lantai 1

➤ S1

$$\begin{aligned} V &= \text{Luas} \times \text{tebal lantai} \\ &= 1144 \text{ m}^2 \times 0,13 \text{ m} \\ &= 148,72 \text{ m}^3 \\ \Rightarrow 148,72 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 &= 356,9 \text{ ton} \end{aligned}$$

➤ S2

$$\begin{aligned} V &= \text{Luas} \times \text{tebal lantai} \\ &= 327,3 \text{ m}^2 \times 0,13 \text{ m} \\ &= 42,5 \text{ m}^3 \\ \Rightarrow 42,5 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 &= 102,1 \text{ ton} \end{aligned}$$

Beban total pelat lantai 1 adalah 459 ton

c. Lantai 2

➤ S1

$$\begin{aligned} V &= \text{Luas} \times \text{tebal lantai} \\ &= 682 \text{ m}^2 \times 0,13 \text{ m} \\ &= 88,7 \text{ m}^3 \\ \Rightarrow 88,7 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 &= 212,9 \text{ ton} \end{aligned}$$

➤ S2

$$\begin{aligned} V &= \text{Luas} \times \text{tebal lantai} \\ &= 363 \text{ m}^2 \times 0,13 \text{ m} \\ &= 47,19 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow 47,19 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 113,3 \text{ ton}$$

Beban total pelat lantai 2 adalah 224,2 ton

d. Lantai 3

➤ S1

$$V = \text{Luas} \times \text{tebal lantai}$$

$$= 660 \text{ m}^2 \times 0,13 \text{ m}$$

$$= 85,8 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow 85,8 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 205,9 \text{ ton}$$

➤ S2

$$V = \text{Luas} \times \text{tebal lantai}$$

$$= 363 \text{ m}^2 \times 0,13 \text{ m}$$

$$= 47,19 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow 47,19 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 113,3 \text{ ton}$$

Beban total pelat lantai 3 adalah 319,22 ton

e. Lantai 4

➤ S1

$$V = \text{Luas} \times \text{tebal lantai}$$

$$= 660 \text{ m}^2 \times 0,13 \text{ m}$$

$$= 85,8 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow 85,8 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 205,9 \text{ ton}$$

➤ S2

$$V = \text{Luas} \times \text{tebal lantai}$$

$$= 363 \text{ m}^2 \times 0,13 \text{ m}$$

$$= 47,19 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow 47,19 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 113,3 \text{ ton}$$

Beban total pelat lantai 4 adalah 319,22 ton

f. Ringbalk

➤ S2

$$V = \text{Luas} \times \text{tebal lantai}$$

$$= 327,25 \text{ m}^2 \times 0,13 \text{ m}$$

$$= 42,5 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow 42,5 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 102,1 \text{ ton}$$

g. Atap

➤ S1

$$V = \text{Luas} \times \text{tebal lantai}$$

$$= 60,5 \text{ m}^2 \times 0,13 \text{ m}$$

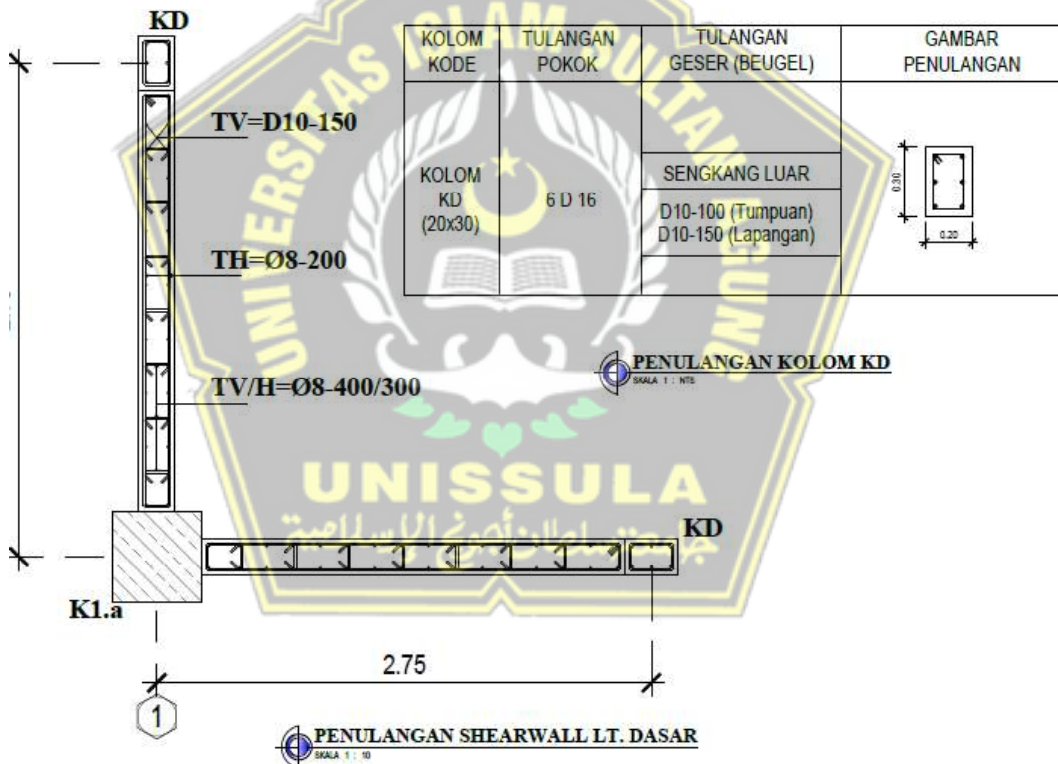
$$= 7,865 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow 7,865 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 18,9 \text{ ton}$$

Jadi beban keseluruhan pelat adalah 1446,22 ton

4.3.1.7. Shear wall

Shear wall biasa disebut juga dinding geser merupakan salah satu elemen vertikal yang dirancang dari sistem penahan gempa yang berguna untuk menahan gaya lateral.



Gambar 4.7. Penulangan *Shear Wall*

$$V = 2,7 \times 0,2 \times 22$$

$$= 11,88 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow 11,88 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 28,5 \text{ ton}$$

4.3.1.8. Dinding

$$\begin{aligned}\text{Luas} &= 165 \text{ m} \times 19,1 \text{ m} \\ &= 3151 \text{ m}^2 \times 0,2 \text{ m} \\ &= 630,3 \text{ m}^3 \\ \Rightarrow 630,3 \text{ m}^3 \times 1,5 \text{ ton} / \text{m}^3 &= 945,5 \text{ ton}\end{aligned}$$

Jadi Total beban mati Gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung Semarang adalah 5.679,4 ton atau jika di konversi menjadi kilonewton menjadi 55.695,9 kN.

Jika dikonversi menjadi kN/m^2 :

$$\begin{aligned}&= \text{beban mati} / \text{luas bangunan} \\ &= 55.695,9 \text{ kN} / (60,5 \times 22) \text{ m}^2 \\ &= 55.695,9 \text{ kN} / 1331 \text{ m}^2 \\ &= 41,85 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

4.3.2. Beban Hidup (Live Load)

Menurut SNI – 1727 – 2020 menyatakan bahwa beban hidup pada asrama sebesar 250 kg/m^2 . Berikut pembebanan *live load* pada bangunan Gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

➤ Lantai Asrama	: 250 kg/m^2	= $0,25 \text{ t/m}^2$	
➤ Tangga	: 500 kg/m^2	= $0,5 \text{ t/m}^2$	
➤ Lantai Basement	: 800 kg/m^2	= $0,8 \text{ t/m}^2$	+
		= $1,55 \text{ t/m}^2$	
		= $15,2 \text{ kN/m}^2$	

Jadi total beban hidup pada Gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung Semarang adalah sebesar $1,55 \text{ t/m}^2$ atau jika di konversikan menjadi kilonewton sebesar $15,2 \text{ kN/m}^2$.

4.3.3. Kombinasi Beban

Menurut SNI-1727-2020 kombinasi beban mati dan beban hidup menggunakan rumus sebagai berikut :

$$W_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

Dimana : W_u : Beban Kombinasi

DL : Beban Mati

LL : Beban Hidup

Sehingga dapat diperoleh beban kombinasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned}W_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\&= 1,2 (41,85) + 1,6 (15, 2) \\&= 50,22 + 24,3 \\&= 74,54 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Jadi beban kombinasi yang diperoleh dari perhitungan pembebanan pada Gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung Semarang adalah sebesar **74,54 kN/m²**.

4.4. Perhitungan Debit Air

Menurut Harnalin (2010), Debit Air mengalir dari penampang dalam jumlah waktu tertentu. Pada analisa *land subsidence* yang kami teliti ini membutuhkan data penggunaan air sumur setiap penghuni asrama pada Gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Berdasarkan hasil observasi yang kami lakukan, Gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung memiliki penghuni rata rata sebanyak 650 orang.

Menurut SNI 03-7065-2005, kebutuhan air bersih pada asrama sebesar 144 liter/orang/hari, sehingga dapat diperoleh debit penggunaan air pada Gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung Semarang sebagai berikut :

- Penghuni Asrama : 650 orang
- Kebutuhan air bersih asrama : 144 liter/orang/hari
- Debit air asrama :

$$\begin{aligned}Q &= \text{penghuni asrama} \times \text{SNI kebutuhan air} \\&= 650 \text{ orang} \times 144 \text{ liter/orang/hari} \\&= 93.600 \text{ liter/hari} \\&= 93,6 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

Jadi dari perhitungan tersebut dapat diperoleh penggunaan debit air pada Gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung Semarang sebesar **93,6 m³/hari**.

4.5. Parameter Tanah Sebagai *Input* pada *Software* Plaxis dan Geostudio

Data tanah yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data hasil uji sondir tanah di Gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung Semarang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Parameter Tanah

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Type	E (kN/m^2)	WC (%)	γ_{sat} (kN/m^3)	γ_{unsat} (kN/m^3)
0 - 7,6	Sand	24	Drained	24000	47,45	15,25	10,34
7,6 - 12,6	Soft Clay	3	Undrained	3000	55,55	15,62	10,04
12,6 - 17,6	Medium Stiff Clay	7	Undrained	7000	59,25	14,83	9,32
17,6 - 27,6	Stiff Clay	11	Undrained	11000	51,55	15,15	10,06
27,6 - 45,2	Very Stiff Clay	24	Undrained	2,40E+04	38,33	15,69	11,34
45,2 - 50	Hard Clay	33	Undrained	3,30E+04	37,12	15,73	11,47

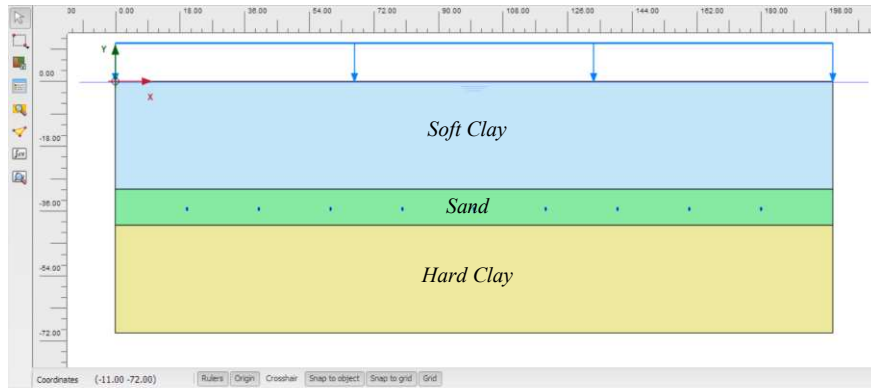
k_x (m/day)	k_y (m/day)	ν	c (kN/m^2)	ϕ ($^\circ$)	e	Sat x Cond m/d	C_c	C_s	Compressibility
1	1	0,3	19,71	27,23	1,404	86,4	0,233	0,0233	0,097
1,00E-05	1,00E-05	0,33	6,91	27,73	1,440	8,64,E-04	0,272	0,0272	0,112
1,00E-05	1,00E-05	0,35	8,09	26,61	1,638	8,64,E-05	0,290	0,0290	0,110
1,00E-05	1,00E-05	0,35	10,10	28,15	1,480	8,64,E-06	0,253	0,0253	0,102
1,00E-06	1,00E-06	0,35	31,55	28,83	1,206	8,64E-07	0,188	0,0188	0,085
1,00E-06	1,00E-06	0,35	22,46	44,53	1,205	8,64E-08	0,182	0,0182	0,082

4.6. Analisa Menggunakan *Software* Plaxis V20

Analisa berbagai masalah geoteknik dalam perencanaan sipil dapat dilakukan menggunakan *software* Plaxis V20. Pada kasus ini, penulis akan menggunakan *software* Plaxis V20 untuk mengetahui penurunan tanah akibat pengambilan air dalam tanah dengan cara membuat permodelan pompa didalam lapisan tanah menggunakan sampel Gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

4.6.1. Permodelan *Trial and Error* Plaxis

Permodelan *trial and error* digunakan untuk mencari permodelan yang sesuai dengan keadaan di Kawasan Kaligawe menggunakan parameter tanah menurut para ahli. Berikut hasil dari permodelan *trial and error*.



Gambar 4.8. Permodelan Pompa

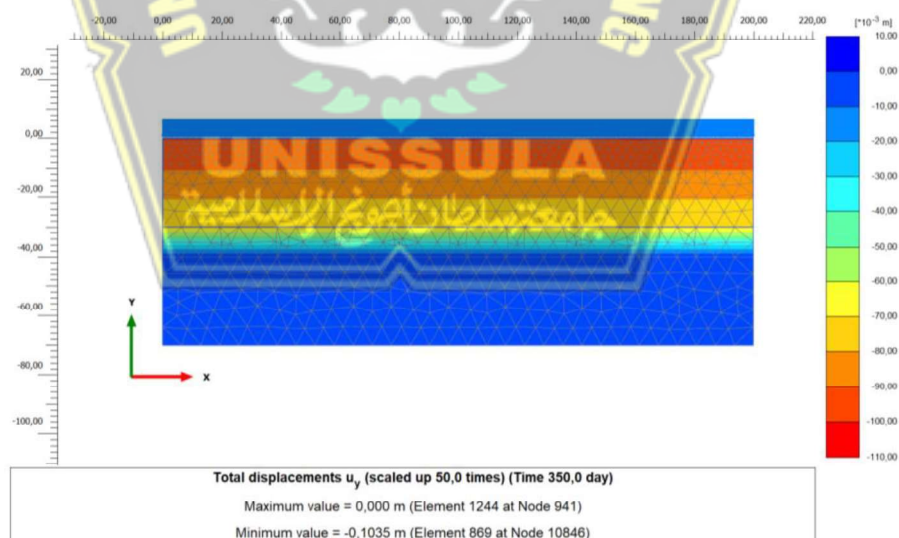
Tabel 4.4. Parameter Tanah *Trial and Error* Plaxis

Kedalaman	Jenis Tanah	Type	E (kN/m^2)	WC (%)	γ_{dry} (kN/m^3)	γ_{wet} (kN/m^3)	k_x (m/day)	k_y (m/day)	ν	c (kN/m^2)	ϕ ($^\circ$)	ψ
0 - 30	Soft Clay	Undrained	2000	40	15	18	1,00E-05	1,00E-05	0,33	12	10	0
30 - 40	Sand	Drained	3,00E+04	25	17	20	1	1	0,3	1	30	0
40 - 70	Hard Clay	Undrained	4,00E+04	30	18	21	1,00E-06	1,00E-06	0,35	100	28	0

Output permodelan *trial and error* Plaxis V20 sebagai berikut :

a. Plaxis tanpa pompa 1 tahun

- Total penurunan tanah (*land subsidence*) sebesar 10,35 cm selama 1 tahun ditunjukkan pada Gambar 4.9.

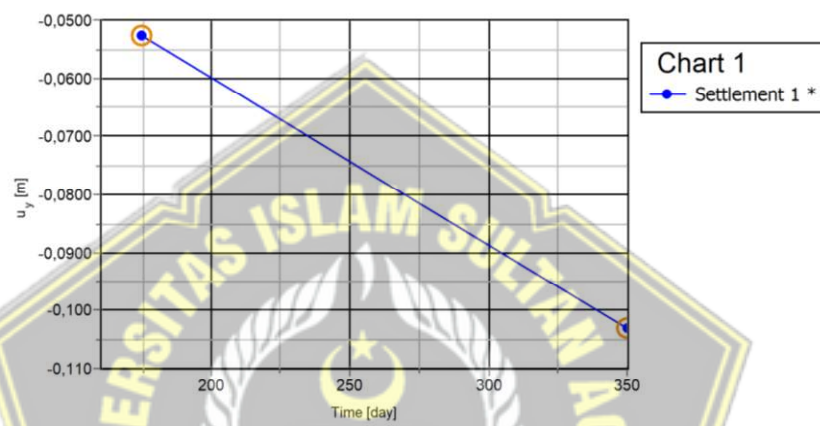


Gambar 4.9. Total Displacement

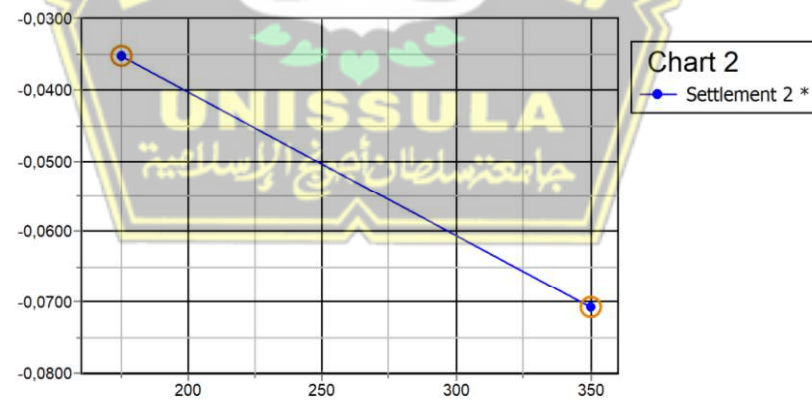
- Pemberian titik monitor pada batas tiap lapisan tanah untuk mengetahui *settlement* terbesar pada lapisan tanah



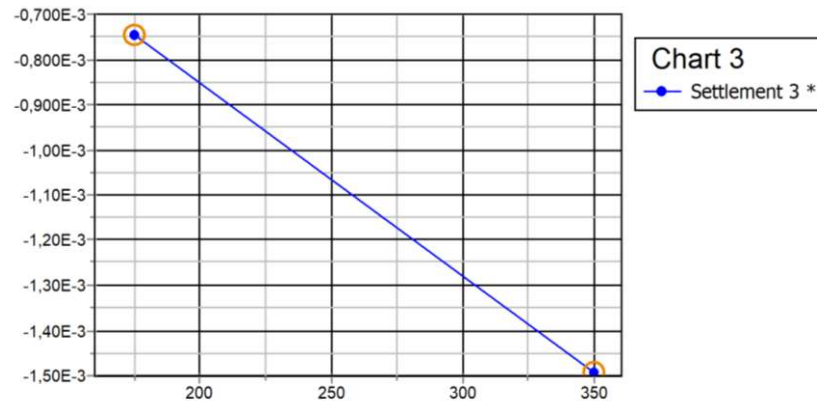
Gambar 4.10. Titik Monitoring



Gambar 4.11. Grafik *Settlement 1*



Gambar 4.12. Grafik *Settlement 2*



Gambar 4.13. Grafik *Settlement 3*

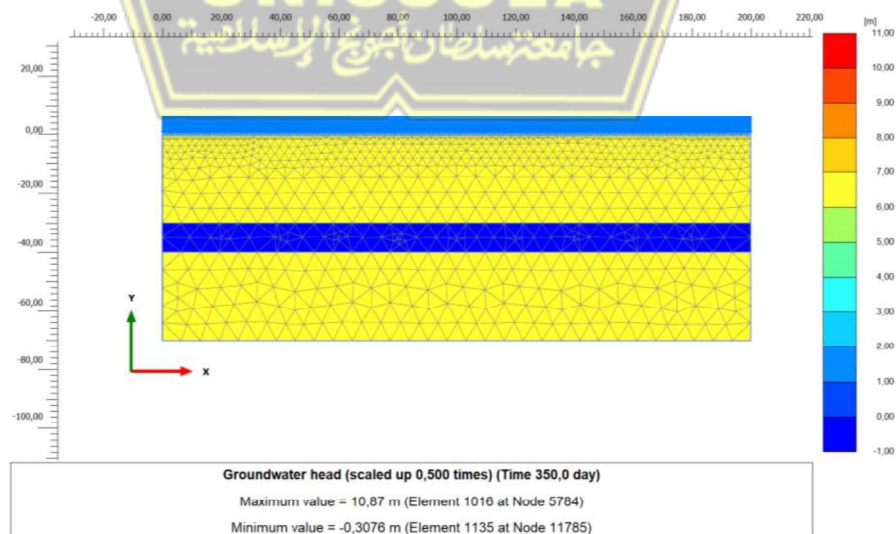
Output titik monitoring dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Output Titik Monitoring *Trial and Error* Plaxis Tanpa Pompa

Titik Monitor	Lapisan Tanah	Settlement (cm)	Penurunan Tiap Titik (cm)
1	Soft Clay	10,3	3,2
2	Sand	7,1	7
3	Hard Clay	0,1	0,1

Berdasarkan Tabel 4.5. *settlement* terbesar terjadi pada lapisan tanah *sand* sebesar 7 cm.

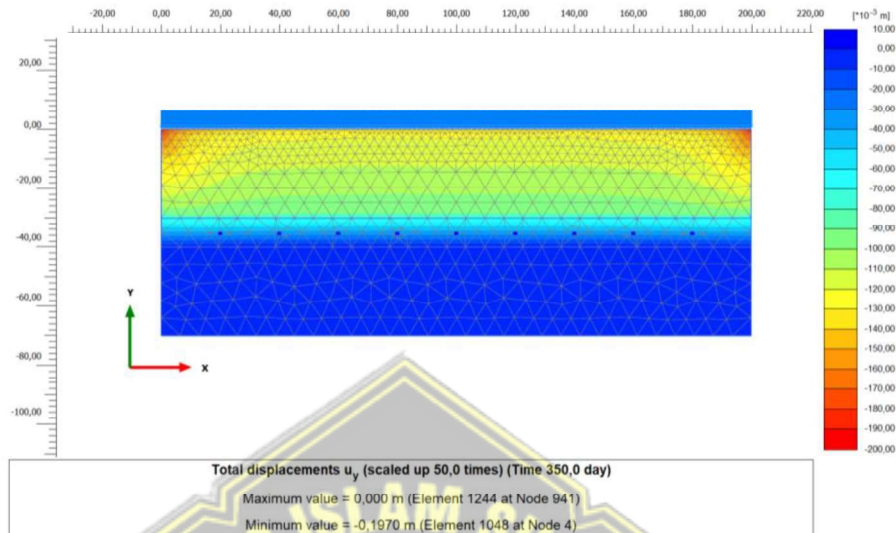
- Kondisi muka air tanah mengalami penurunan sebesar 0,76 cm, yang awalnya berada pada elevasi -30 cm menjadi -30,76 cm dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14. *Ground Water Head*

b. Plaxis dengan pompa 1 tahun

- Total penurunan tanah (*land subsidence*) sebesar 19,70 cm selama 1 tahun ditunjukkan pada Gambar 4.15.

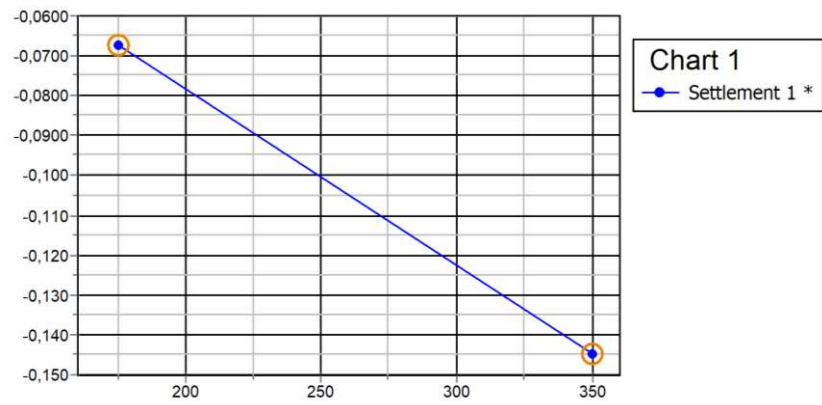


Gambar 4.15. Total Displacement

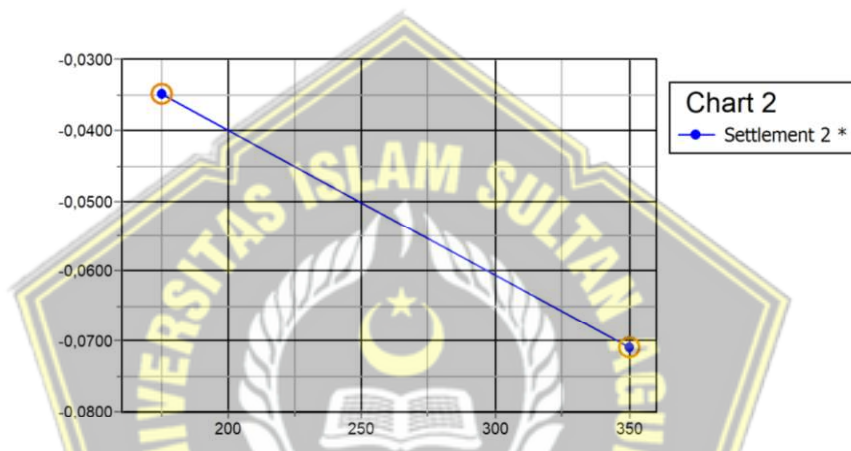
- Pemberian titik monitor pada batas tiap lapisan tanah untuk mengetahui *settlement* terbesar pada lapisan tanah



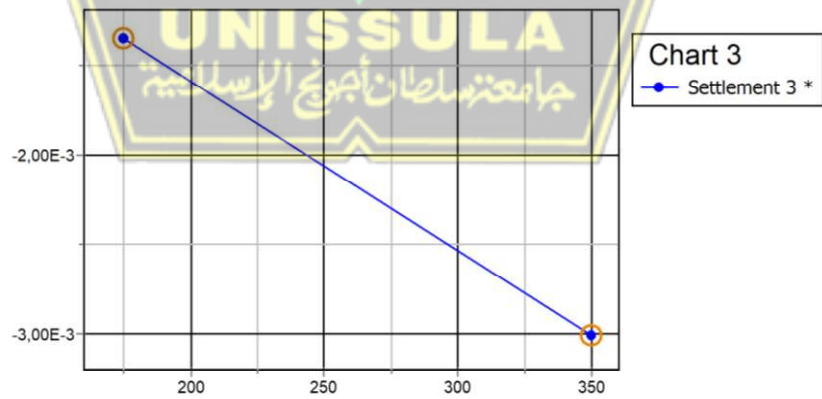
Gambar 4.16. Titik Monitoring



Gambar 4.17. Grafik *Settlement 1*



Gambar 4.18. Grafik *Settlement 2*



Gambar 4.19. Grafik *Settlement 3*

Output titik monitoring dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Output Titik Monitoring *Trial and Error* Plaxis dengan Pompa

Titik Monitor	Lapisan Tanah	Settlement (cm)	Penurunan Tiap Titik (cm)
1	<i>Soft Clay</i>	14,5	11
2	<i>Sand</i>	3,5	3,2
3	<i>Hard Clay</i>	0,3	0,3

Berdasarkan Tabel 4.6. *settlement* terbesar terjadi pada lapisan tanah *soft clay* sebesar 11 cm.

- Muka air tanah mengalami penurunan sebesar 1,95 cm, yang awalnya berada pada elevasi -30 cm menjadi -31,95 cm dilihat pada Gambar 4.20.

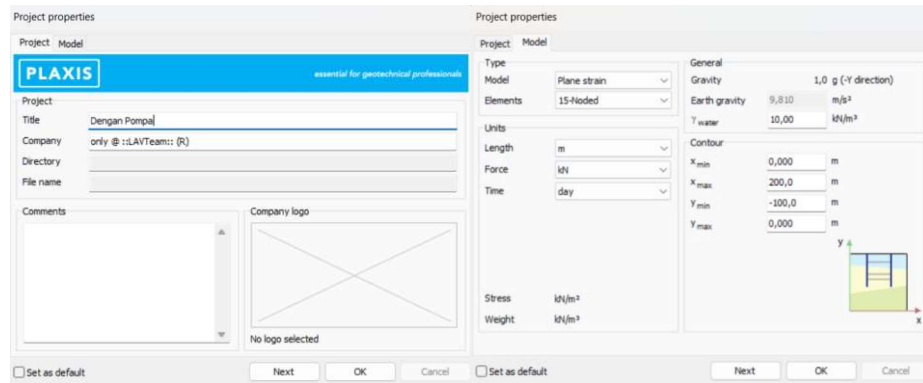


Gambar 4.20. *Ground Water Head*

4.6.2. Permodelan Plaxis V20 Menggunakan Parameter Tanah UNISSULA

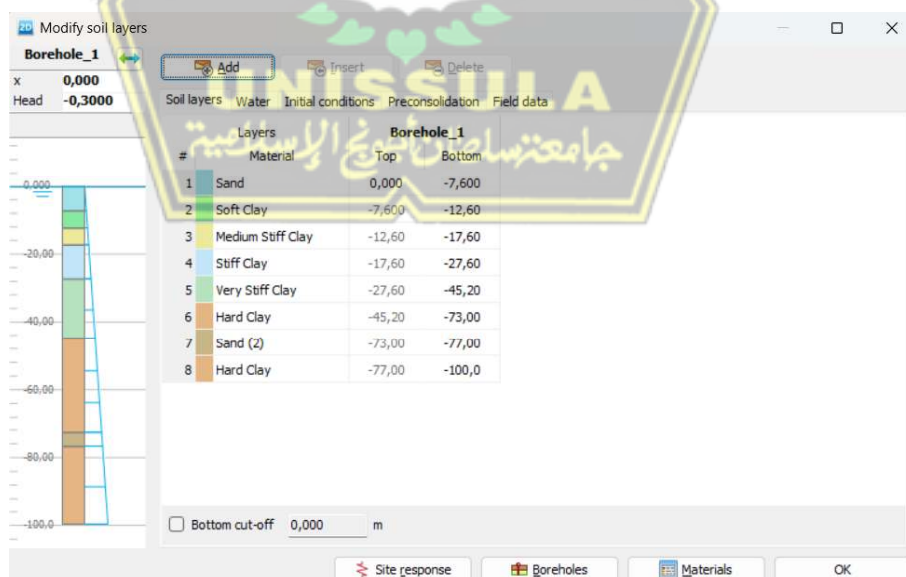
Permodelan ini menggunakan data parameter tanah (Tabel 4.3) dan data beban bangunan gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Berikut ini merupakan langkah-langkah penggunaan *software* Plaxis V20 pada permodelan pompa dalam tanah.

1. Membuat judul dan dimensi yang nantinya akan digunakan pada permodelan pompa dalam tanah seperti pada Gambar 4.21.



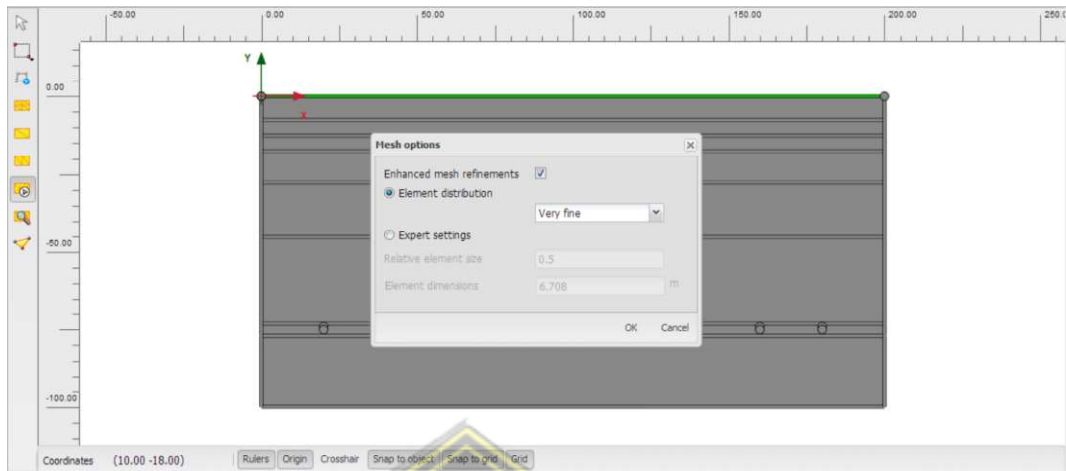
Gambar 4.21. Project Properties

2. Pada jendela *Soil*, klik *Create Borehole* untuk membuat permodelan lapisan tanah. Lapisan tanah dimodelkan sedalam 100 m, diasumsikan di kedalaman selanjutnya lapisan tanahnya sama dengan lapisan tanah terakhir berdasarkan data tanah di Gedung B Asrama UNISSULA yang hanya mencapai kedalaman 50 m. Di kedalaman 73 – 77 m diberi lapisan tanah pasir untuk diberi pompa air. Berdasarkan penelitian yang ada di Kawasan Kaligawe, jika mengambil air di kedalaman kurang dari 50 m, maka air yang dihasilkan belum layak dipakai untuk kebutuhan sehari-hari. Jadi pada permodelan kali ini, pompa air diletakkan di kedalaman 75 m. dilihat Gambar 4.22.



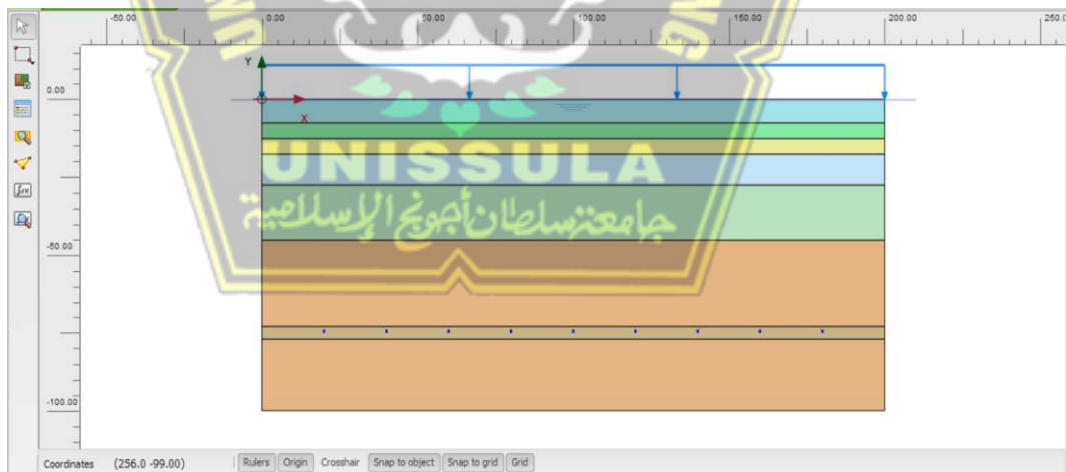
Gambar 4.22. Soil Layer

5. Pada jendela *Mesh*, klik *Generate Mesh* agar perintah yang dibuat dalam jendela struktur menjadi aktif.



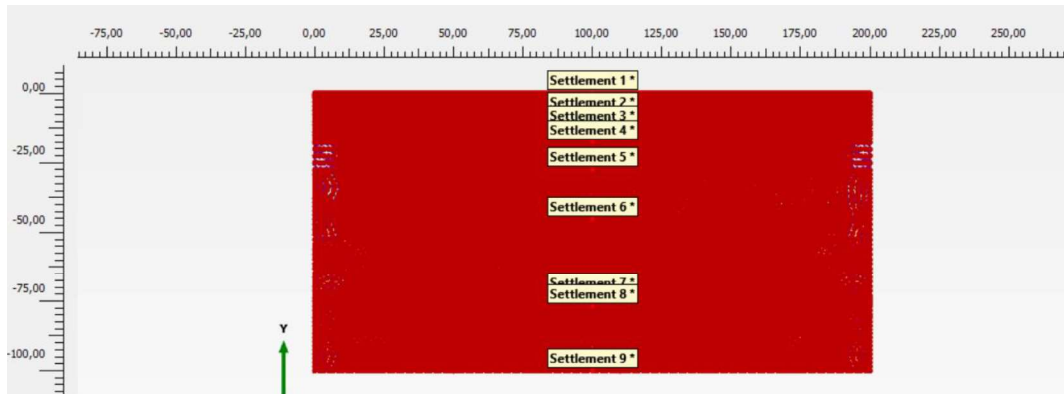
Gambar 4.25. *Generate Mesh*

6. Pada jendela *Stage Construction* penulis membuat 2 permodelan, yaitu permodelan dengan pompa dan permodelan tanpa pompa. Untuk permodelan dengan pompa semua elemen diaktifkan dan untuk permodelan tanpa pompa, elemen pompa dinonaktifkan dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan penurunan tanah jika menggunakan pompa dan tanpa pompa.



Gambar 4.26. Permodelan Pompa

7. Lalu buat titik monitor pada batas tiap lapisan tanah untuk mengetahui penurunan pada setiap lapisan tanah



Gambar 4.27. Titik Monitoring

8. Setelah semua dilakukan lalu pilih *calculate* untuk menganalisa hasil permodelan, lalu klik *view calculation result* untuk melihat *output* dari permodelan.

4.6.3. Hasil Analisa *Software* Plaxis V20

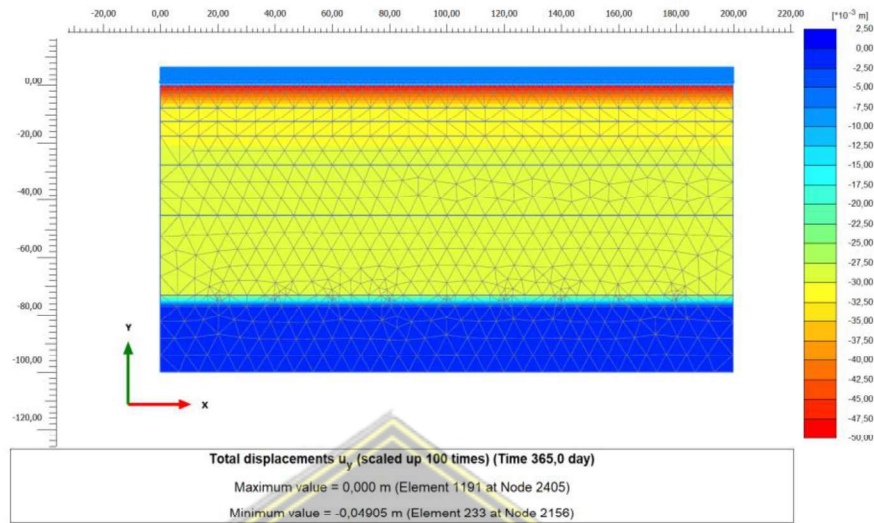
a. Permodelan tanpa pompa 1 tahun

- Kondisi muka air tanah mengalami penurunan sebesar 0,68 cm, yang awalnya berada pada elevasi -30 cm menjadi -30,68 cm, dilihat pada Gambar 4.28.



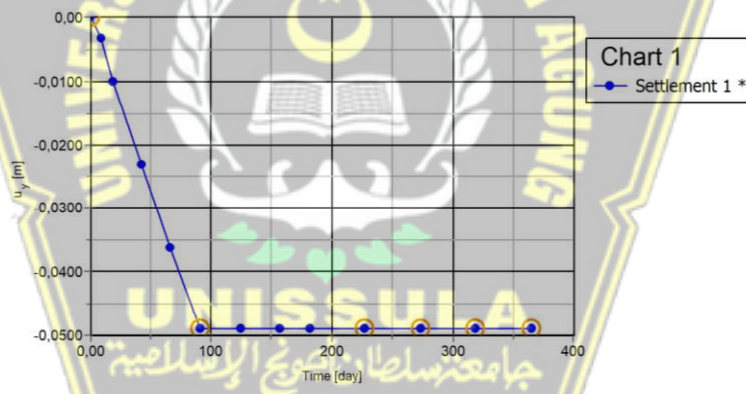
Gambar 4.28. *Groundwater Head*

- Total penurunan (*land subsidence*) sebesar 4,91 cm selama 1 tahun ditunjukkan pada Gambar 4.29.

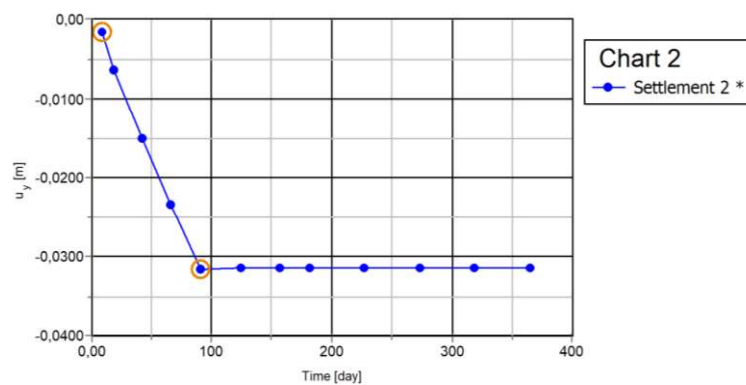


Gambar 4.29. *Total Displacement*

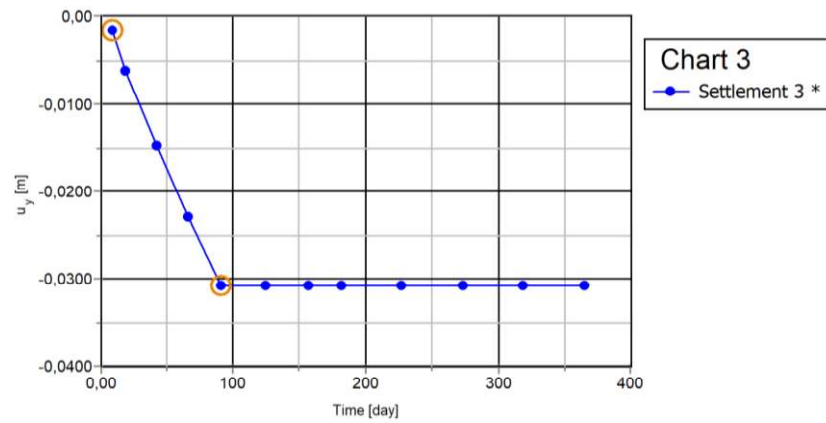
- Grafik titik monitor dapat dilihat pada gambar dibawah ini



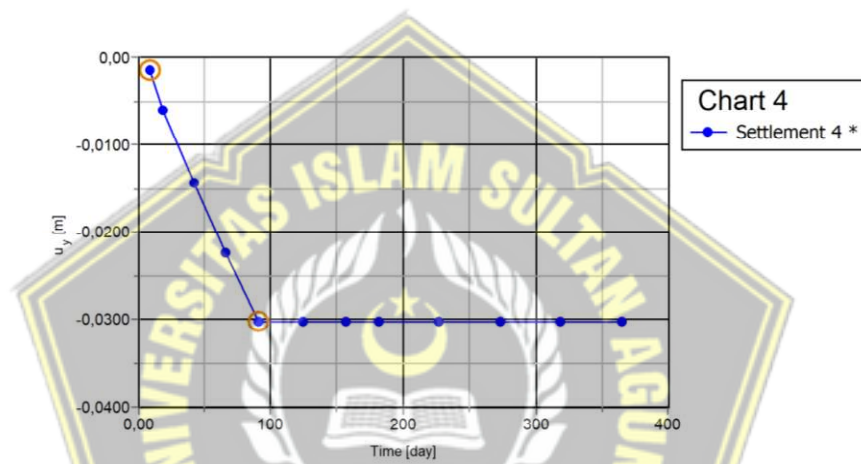
Gambar 4.30. *Grafik Settlement 1*



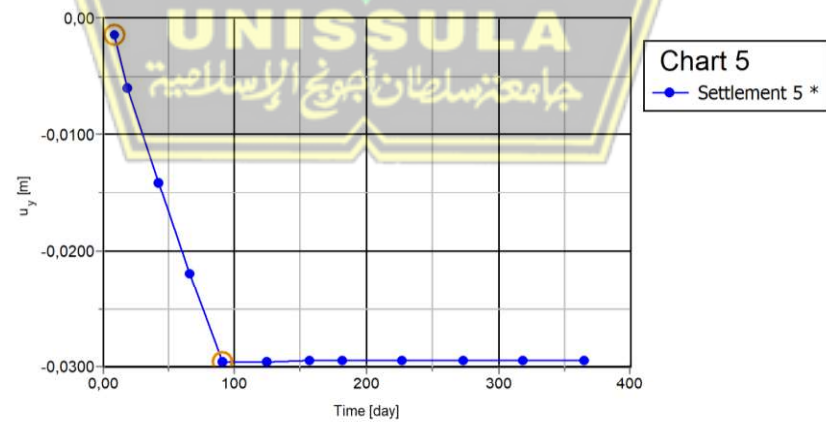
Gambar 4.31. *Grafik Settlement 2*



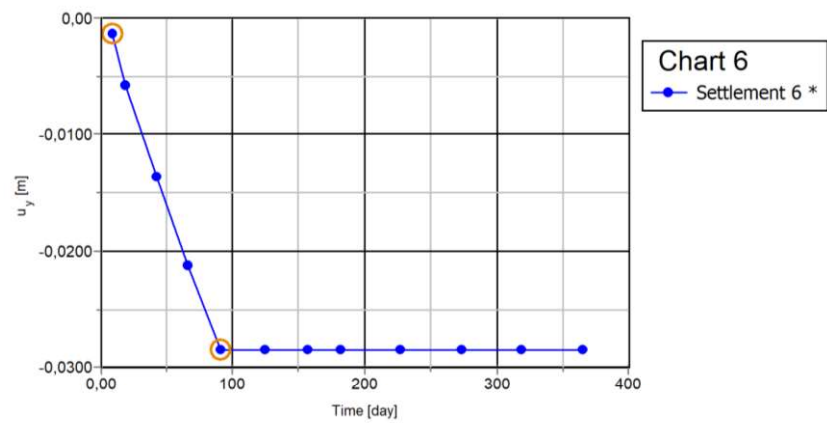
Gambar 4.32. Grafik *Settlement 3*



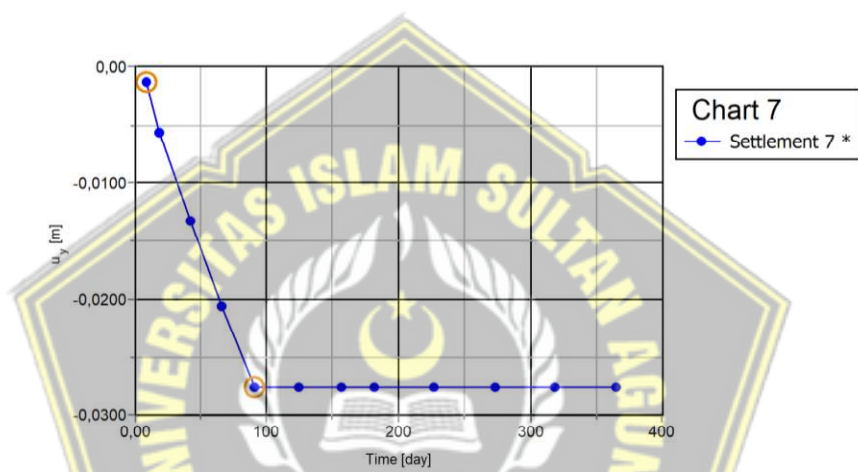
Gambar 4.33. Grafik *Settlement 4*



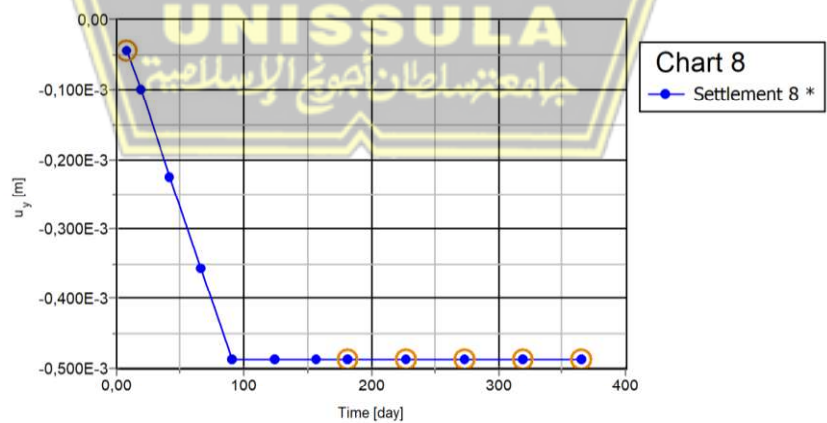
Gambar 4.34. Grafik *Settlement 5*



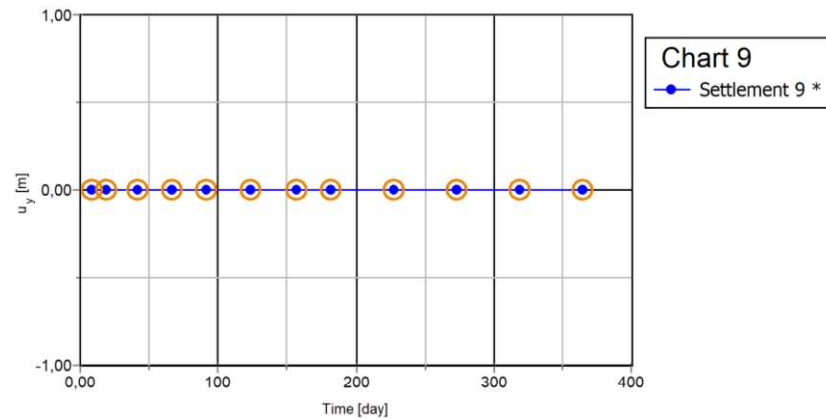
Gambar 4.35. Grafik *Settlement 6*



Gambar 4.36. Grafik *Settlement 7*



Gambar 4.37. Grafik *Settlement 8*



Gambar 4.38. Grafik *Settlement 9*

Untuk mengetahui besar penurunan pada setiap lapisan tanah, dapat dilihat pada Tabel 4.7.

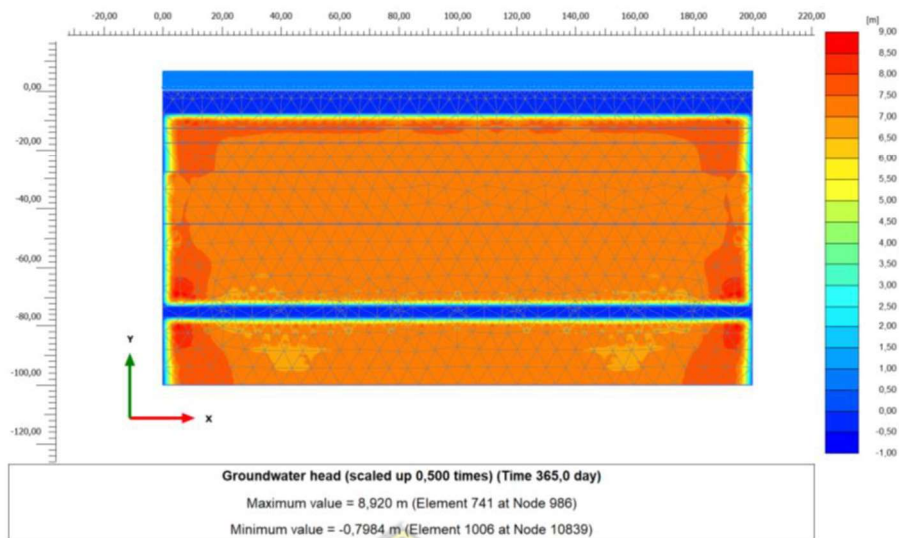
Tabel 4.7. *Output Titik Monitoring Plaxis Tanpa Pompa*

Titik Monitor	Lapisan Tanah	Settlement (cm)	Penurunan Tiap Titik (cm)
1	Sand	4,9	1,7
2	Soft Clay	3,2	0,1
3	Medium Stiff Clay	3,1	0,10
4	Stiff Clay	3	0,00
5	Very Stiff Clay	3	0,1
6	Hard Clay	2,9	0,1
7	Sand (2)	2,8	2,76
8	Hard Clay	0,04	0,04
9	Hard Clay	0	0
Total Penurunan =			4,9

Berdasarkan Tabel 4.7. *settlement* terbesar terjadi pada lapisan tanah *sand 2* (lapisan tanah pompa) sebesar 2,76 cm.

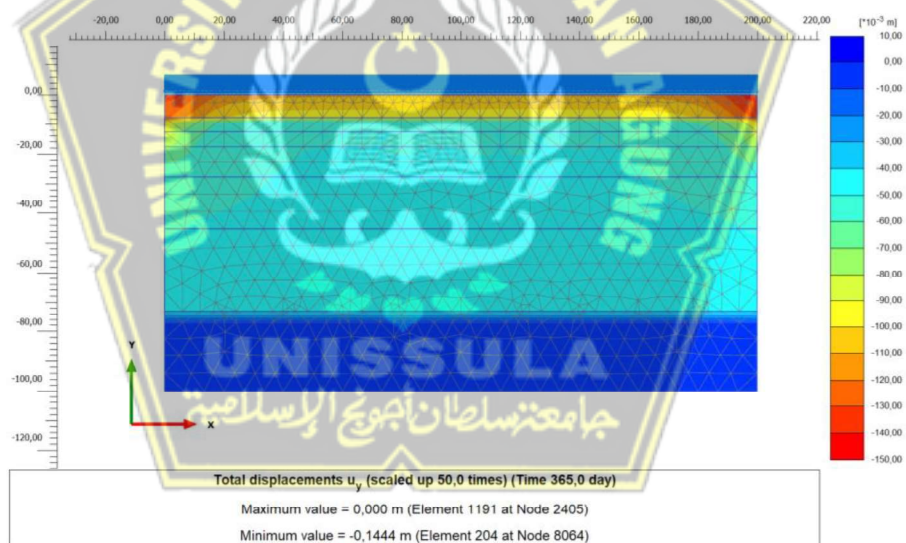
b. Permodelan dengan pompa 1 tahun

- Kondisi muka air tanah mengalami penurunan sebesar 49,84 cm, yang awalnya berada pada elevasi -30 cm menjadi -79,84 cm dilihat pada Gambar 4.39.



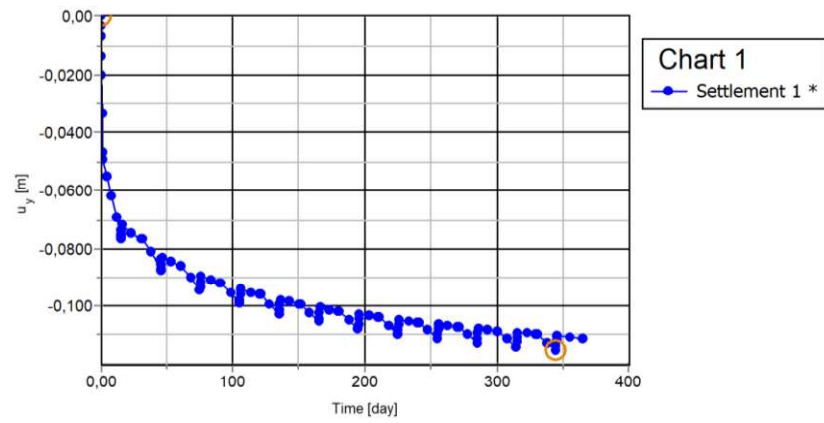
Gambar 4.39. *Groundwater Head*

- Total penurunan (*land subsidence*) sebesar 14,44 cm selama 1 tahun ditunjukkan pada Gambar 4.40.

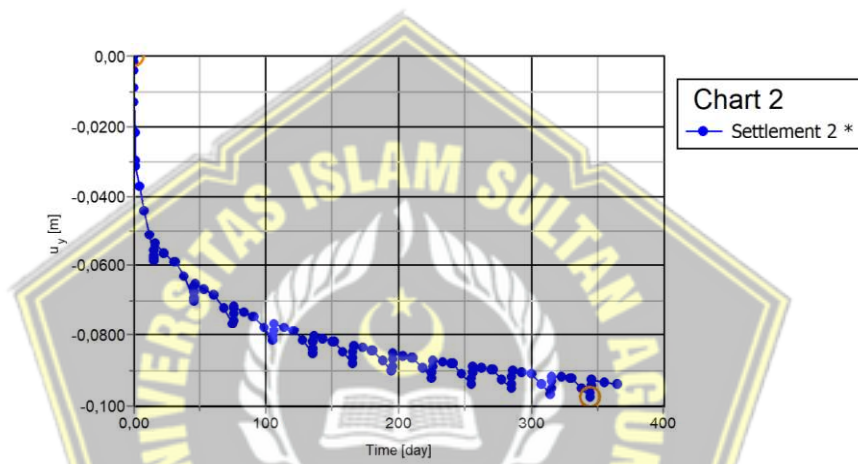


Gambar 4.40. *Total Displacement*

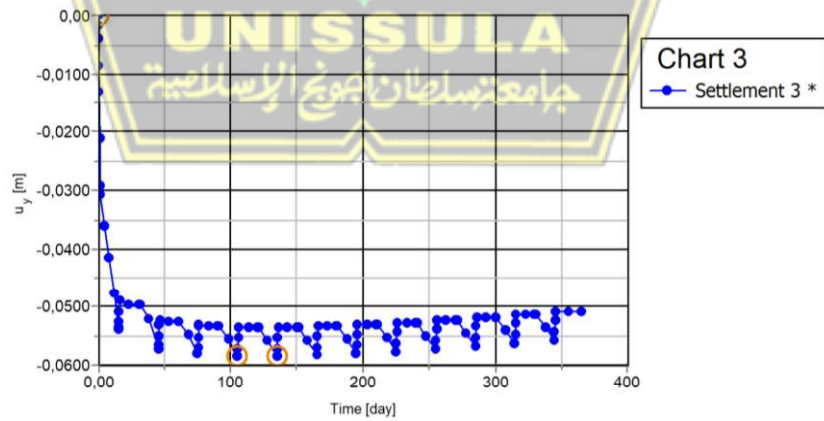
- Grafik titik monitor dapat dilihat pada gambar dibawah ini



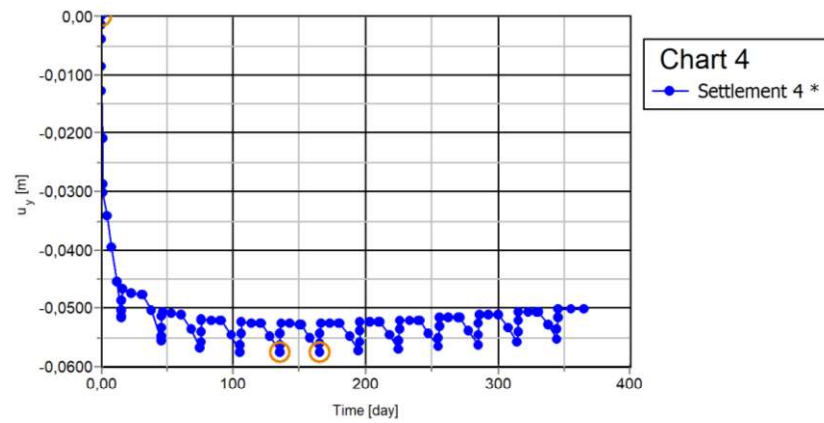
Gambar 4.41. Grafik *Settlement 1* *



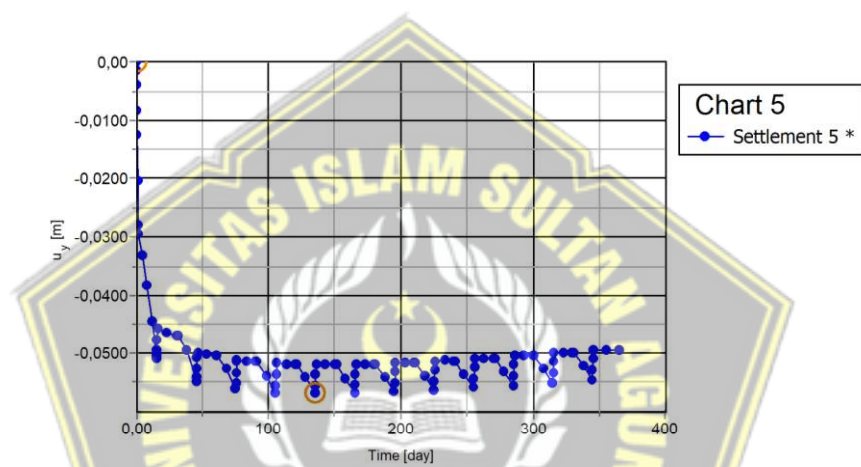
Gambar 4.42. Grafik *Settlement 2* *



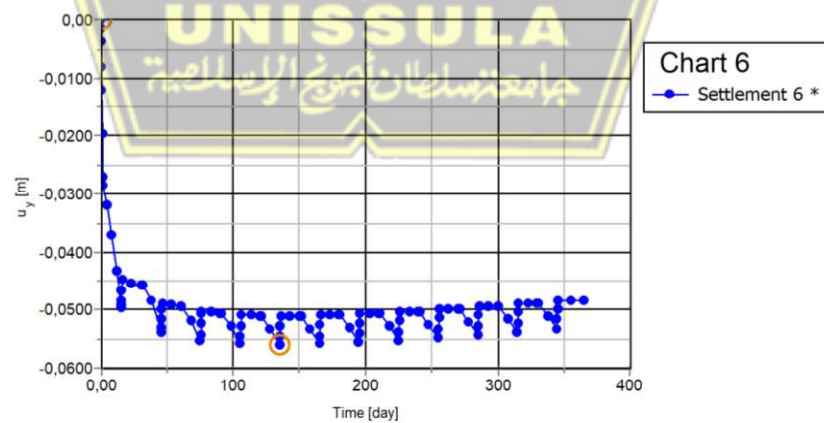
Gambar 4.43. Grafik *Settlement 3* *



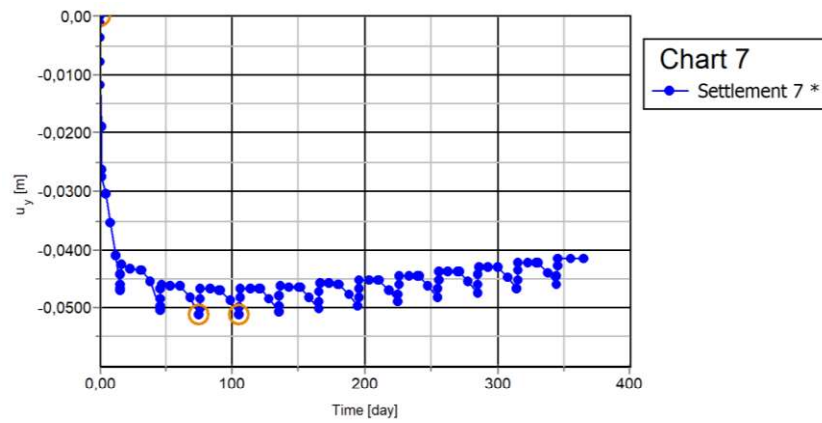
Gambar 4.44. Grafik *Settlement 4*



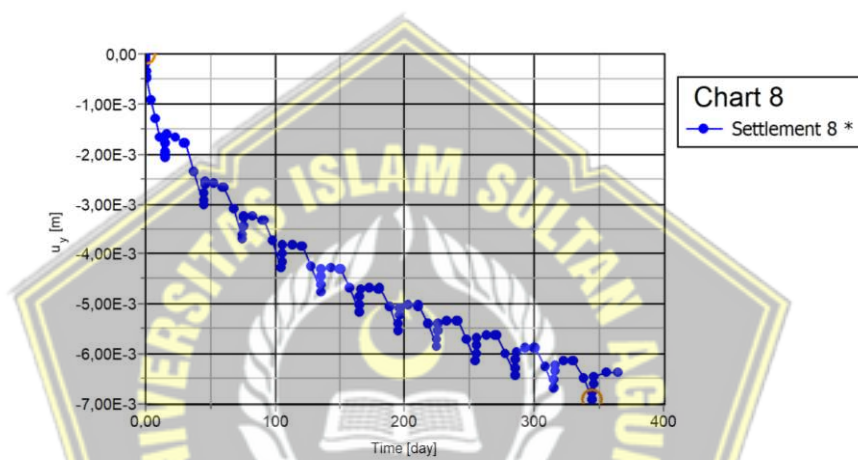
Gambar 4.45. Grafik *Settlement 5*



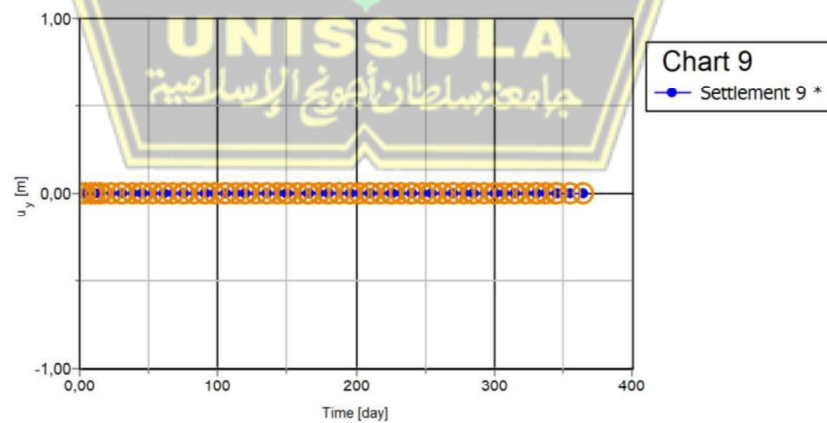
Gambar 4.46. Grafik *Settlement 6*



Gambar 4.47. Grafik *Settlement 7*



Gambar 4.48. Grafik *Settlement 8*



Gambar 4.49. Grafik *Settlement 9*

Untuk mengetahui besar penurunan pada setiap lapisan tanah, dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. *Output* Titik Monitoring Plaxis dengan Pompa

Titik Monitor	Lapisan Tanah	Settlement (cm)	Penurunan Tiap Titik (cm)
1	Sand	11,1	1,7
2	Soft Clay	9,4	4,3
3	Medium Stiff Clay	5,1	0,10
4	Stiff Clay	5	0,10
5	Very Stiff Clay	4,9	0,1
6	Hard Clay	4,8	0,7
7	Sand (2)	4,1	3,5
8	Hard Clay	0,6	0,6
9	Hard Clay	0	0
Total Penurunan =			11,1

Berdasarkan Tabel 4.8. *settlement* terbesar terjadi pada lapisan tanah *soft clay* sebesar 4,3 cm. Hasil analisa *software* Plaxis ditunjukkan pada Tabel 4.9 dibawah ini.

Tabel 4.9. Hasil Analisa *Software* Plaxis

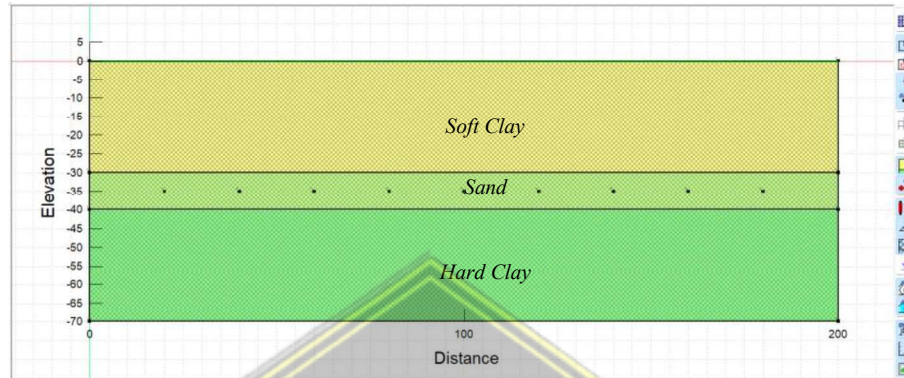
Model Plaxis	Land Subsidence (cm)	Groundwater Head (cm)	Settlement (cm)
Tanpa Pompa	4,91	-0,68	2,8
Dengan Pompa	14,44	-49,84	4,3

4.7. Analisa Menggunakan *Software* Geostudio

Permodelan pompa dalam tanah menggunakan *software* Geostudio digunakan untuk mengetahui besar penurunan tanah (*land subsidence*), penurunan muka air tanah, dan penurunan pada lapisan tanah (*settlement*). Pada permodelan menggunakan *software* Geostudio terdapat beberapa metode analisis. Pada permodelan kali ini, metode analisis yang digunakan yaitu Seep/W yang digunakan untuk mengetahui kondisi air dalam tanah dan Sigma/W yang digunakan untuk mengetahui penurunan tanah.

4.7.1. Permodelan Trial and Error Geostudio

Permodelan *trial and error* digunakan untuk mencari permodelan yang sesuai dengan keadaan di Kawasan Kaligawe menggunakan parameter tanah menurut para ahli. Berikut hasil dari permodelan *trial and error* Geostudio.



Gambar 4.50. Permodelan Pompa

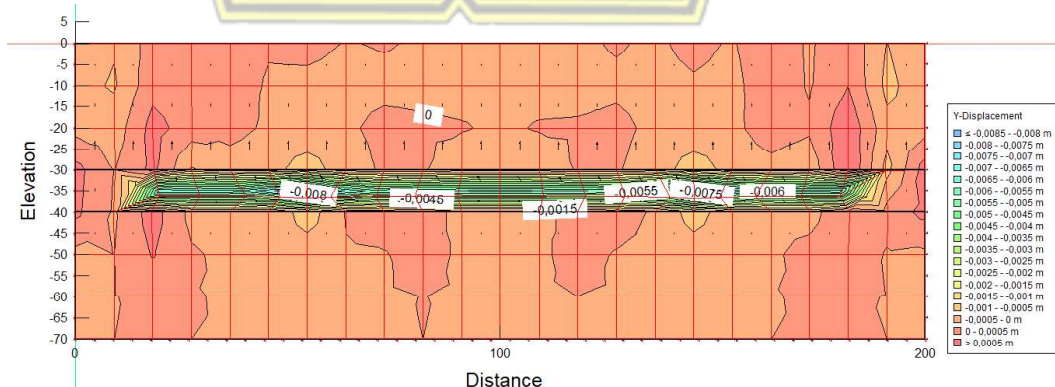
Tabel 4.10. Parameter Tanah *Trial and Error* Geostudio

Kedalaman	Jenis Tanah	Type	E (kN/m^2)	WC (%)	γ_{dry} (kN/m^3)	γ_{wet} (kN/m^3)	k_x (m/day)	k_y (m/day)	ν	c (kN/m^2)	ϕ ($^\circ$)	ψ
0 - 30	Soft Clay	Undrained	2000	40	15	18	1,00E-05	1,00E-05	0,33	12	10	0
30 - 40	Sand	Drained	3,00E+04	25	17	20	1	1	0,3	1	30	0
40 - 70	Hard Clay	Undrained	4,00E+04	30	18	21	1,00E-06	1,00E-06	0,35	100	28	0

Output permodelan *trial and error* Geostudio sebagai berikut :

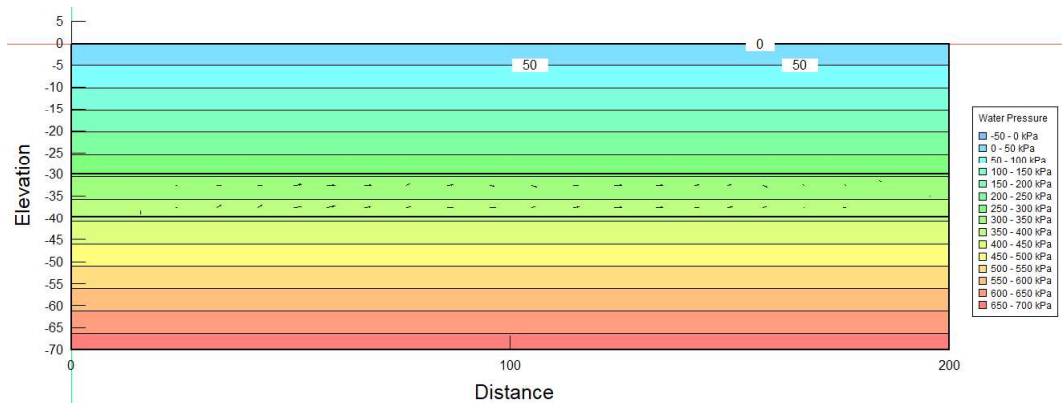
a. Geostudio tanpa pompa 1 tahun

- Total penurunan tanah (*land subsidence*) sebesar 0,008 cm selama 1 tahun ditunjukkan pada Gambar 4.51.



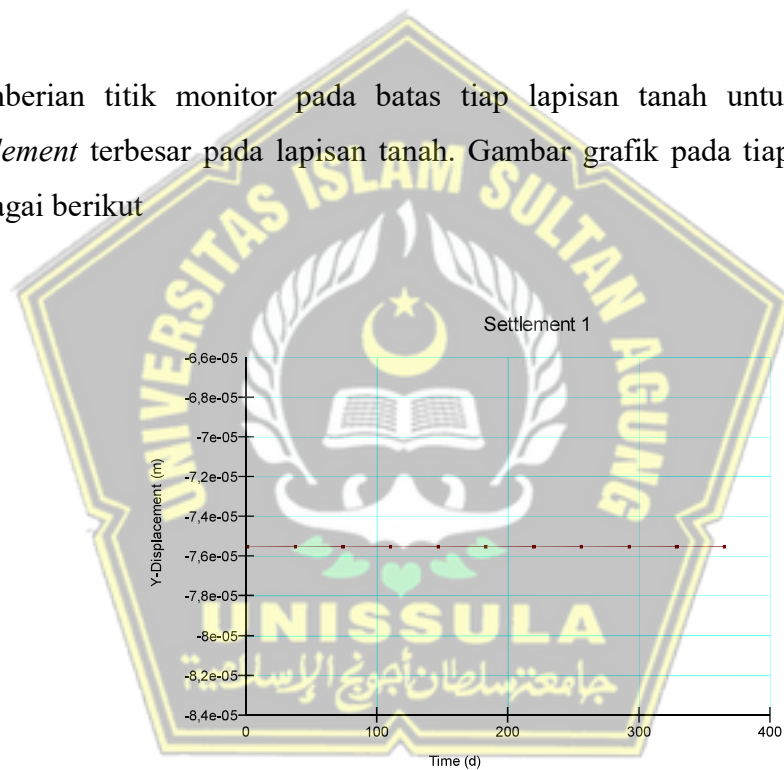
Gambar 4.51. Total Displacement

- Kondisi muka air tanah tidak mengalami penurunan, dilihat pada Gambar 4.52.

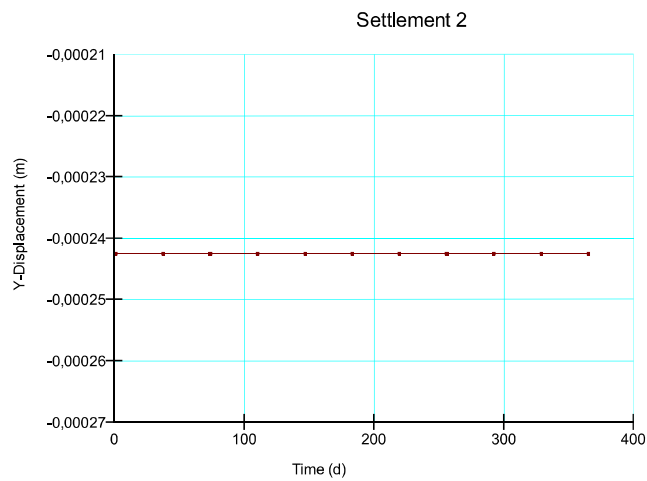


Gambar 4.52. Kondisi Muka Air Tanah

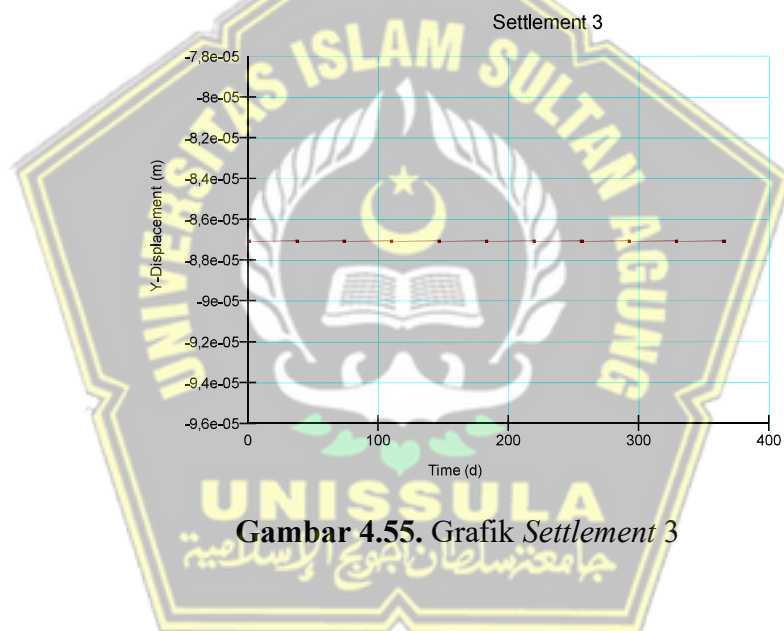
- Pemberian titik monitor pada batas tiap lapisan tanah untuk mengetahui *settlement* terbesar pada lapisan tanah. Gambar grafik pada tiap titik monitor sebagai berikut



Gambar 4.53. Grafik *Settlement 1*



Gambar 4.54. Grafik *Settlement 2*



Gambar 4.55. Grafik *Settlement 3*

- *Output trial and error*

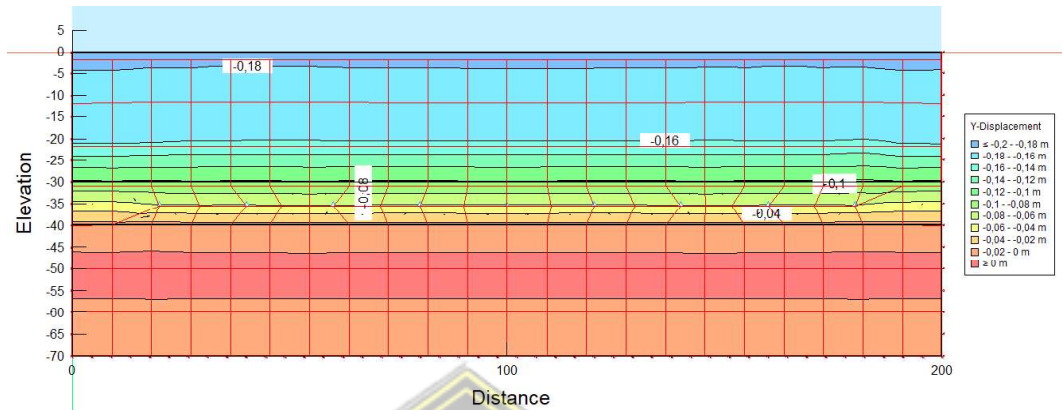
Tabel 4.11. *Output Trial and Error Geostudio Tanpa Pompa*

Titik Monitor	Lapisan Tanah	Settlement (cm)	Penurunan Tiap Titik (cm)
1	Soft Clay	0,0075	-0,0165
2	Sand	0,024	0,0153
3	Hard Clay	0,0087	0,0087
Total Penurunan =			0,0075

Penurunan tanah (*settlement*) terbesar pada *trial and error* Geostudio tanpa pompa terjadi pada lapisan tanah *sand* yaitu sebesar 0,015 cm.

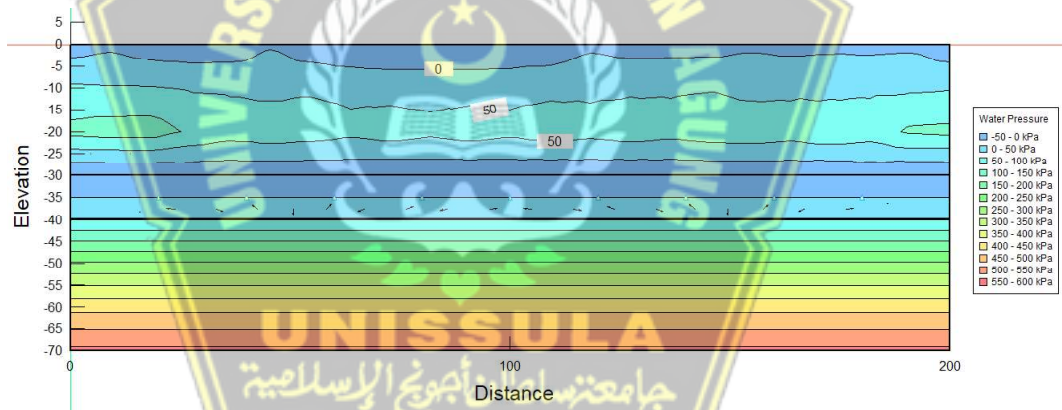
b. Geostudio dengan pompa 1 tahun

- Total penurunan tanah (*land subsidence*) sebesar 18,72 cm ditunjukkan pada Gambar 4.56.



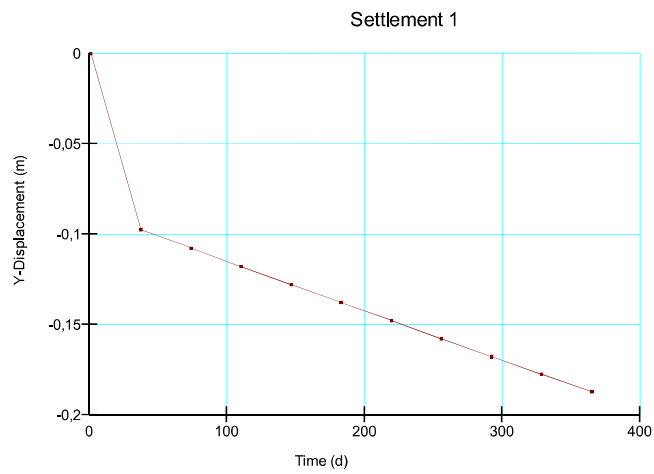
Gambar 4.56. Total Displacement

- Kondisi muka air tanah mengalami penurunan sebesar 4 m, dilihat pada Gambar 4.57.

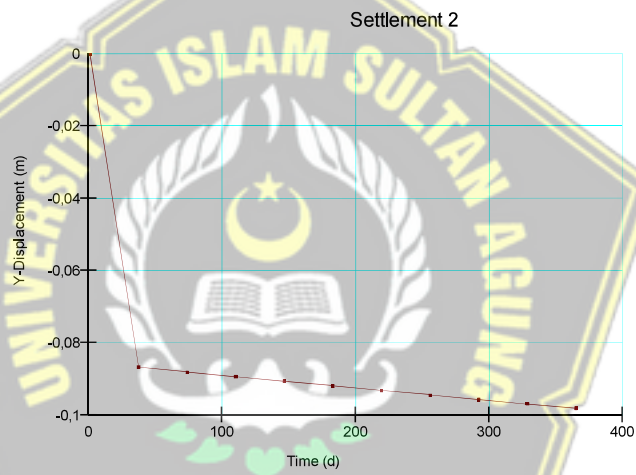


Gambar 4.57. Kondisi Muka Air Tanah

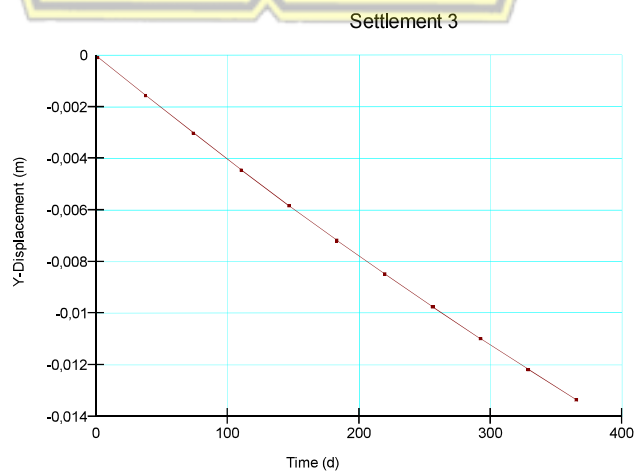
- Pemberian titik monitor pada batas tiap lapisan tanah untuk mengetahui *settlement* terbesar pada lapisan tanah. Gambar grafik pada tiap titik monitor sebagai berikut



Gambar 4.58. Grafik *Settlement 1*



Gambar 4.59. Grafik *Settlement 2*



Gambar 4.60. Grafik *Settlement 2*

- *Output trial and error*

Tabel 4.12. *Output Trial and Error Geostudio dengan Pompa*

Titik Monitor	Lapisan Tanah	Settlement (cm)	Penurunan Tiap Titik (cm)
1	Soft Clay	18,72	8,91
2	Sand	9,81	8,47
3	Hard Clay	1,34	1,34
Total Penurunan =			18,72

Penurunan tanah (*settlement*) terbesar pada *trial and error* Geostudio dengan pompa terjadi pada lapisan tanah *soft clay* yaitu sebesar 8,91 cm.

4.7.2. Permodelan Plaxis V20 Menggunakan Parameter Tanah UNISSULA

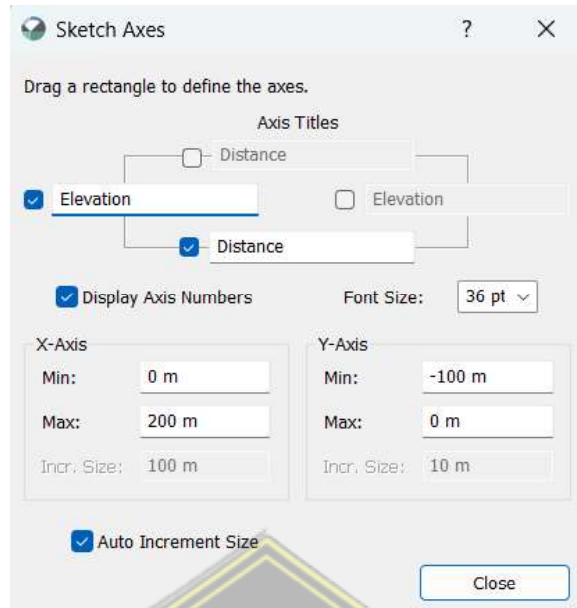
Permodelan ini menggunakan data parameter tanah (Tabel 4.3) dan data beban bangunan gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Berikut ini merupakan langkah-langkah penggunaan *software* Geostudio pada permodelan pompa dalam tanah.

1. Menentukan metode analisis yang digunakan dan memberi judul *project*



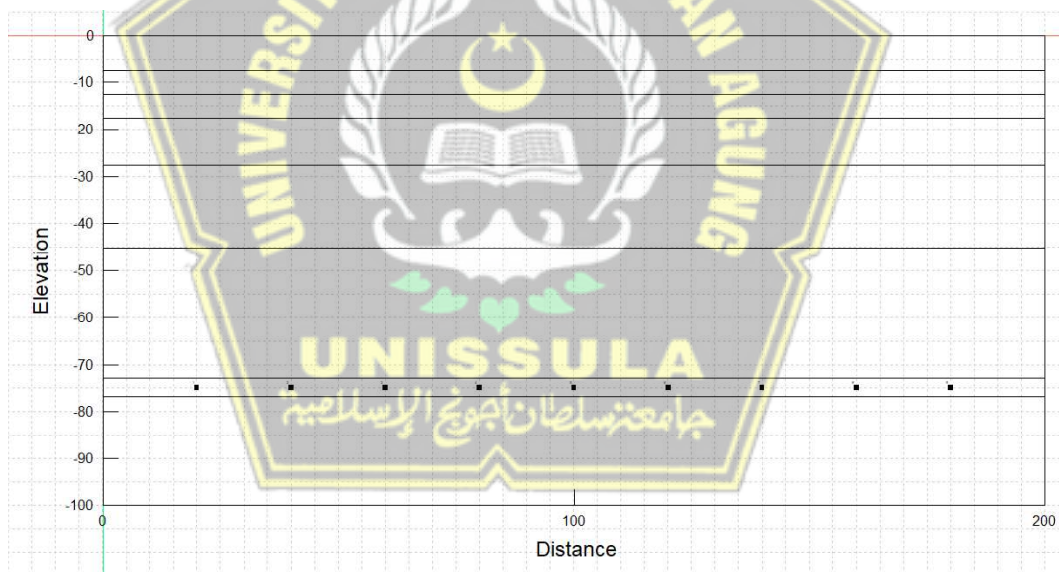
Gambar 4.61. *Define Analysis*

2. Menentukan dimensi lembar kerja untuk permodelan pompa, dilihat pada Gambar 4.62.



Gambar 4.62. *Sketch Axes*

3. Membuat sketsa permodelan pompa, ditunjukkan pada Gambar 4.63.



Gambar 4.63. Sketsa Permodelan Pompa

4. Memberikan pembatas pada sketsa permodelan pompa, dilihat pada Gambar 4.64.



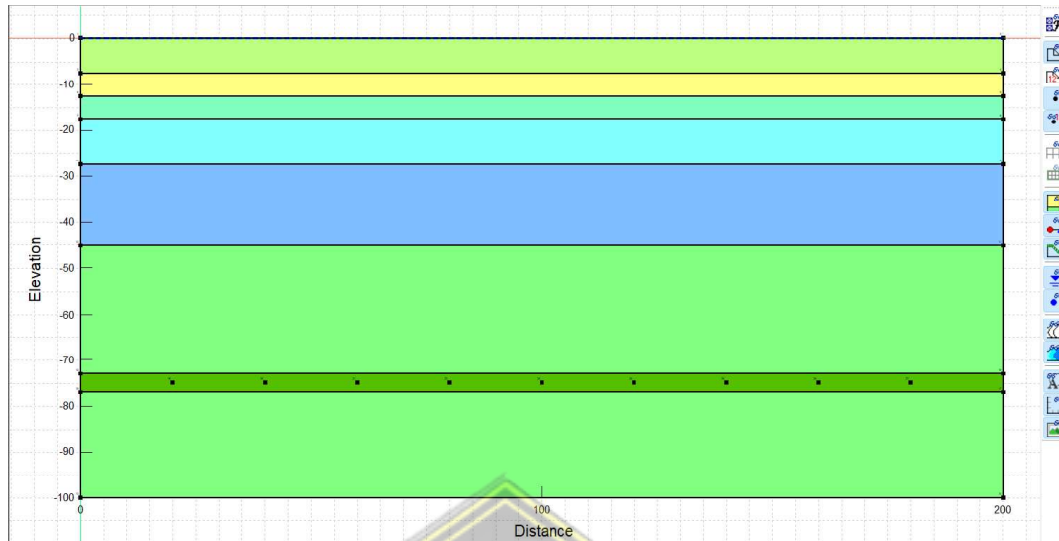
Gambar 4.64. Batas Permodelan Pompa

5. Menentukan parameter tanah sesuai dengan Tabel 4.3.



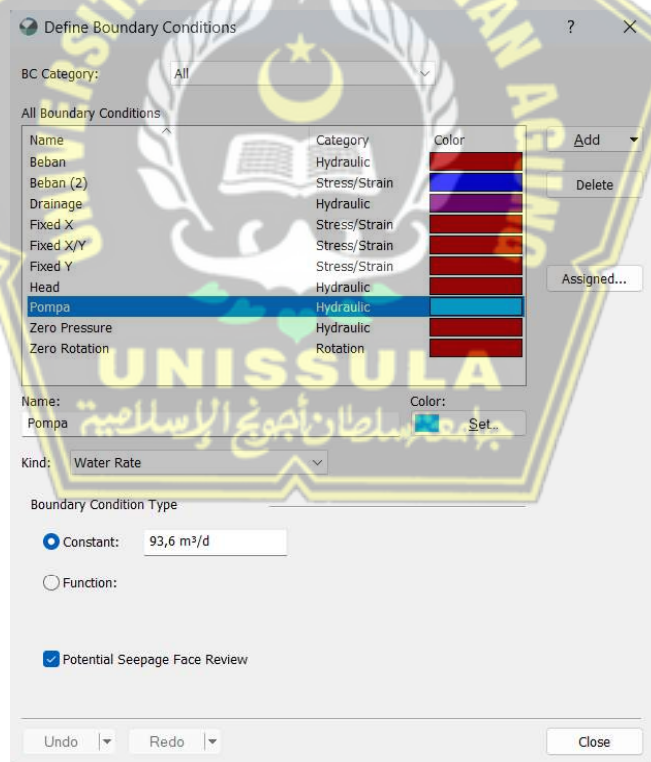
Gambar 4.65. Define Material

6. *Input parameter tanah pada sketsa permodelan pompa*



Gambar 4.66. Permodelan Pompa

7. *Input debit air dan beban bangunan pada define boundary conditions*



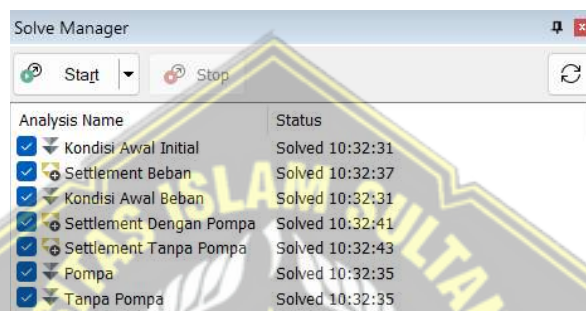
Gambar 4.67. Define Boundary Conditions

8. Buat tahap analisa untuk menentukan kondisi analisa pada permodelan Geostudio



Gambar 4.68. Tahap Analisa Permodelan Pompa

9. Setelah semuanya siap, klik *start* dipojok kiri bawah untuk melihat *output* analisa permodelan pompa menggunakan *software* Geostudio

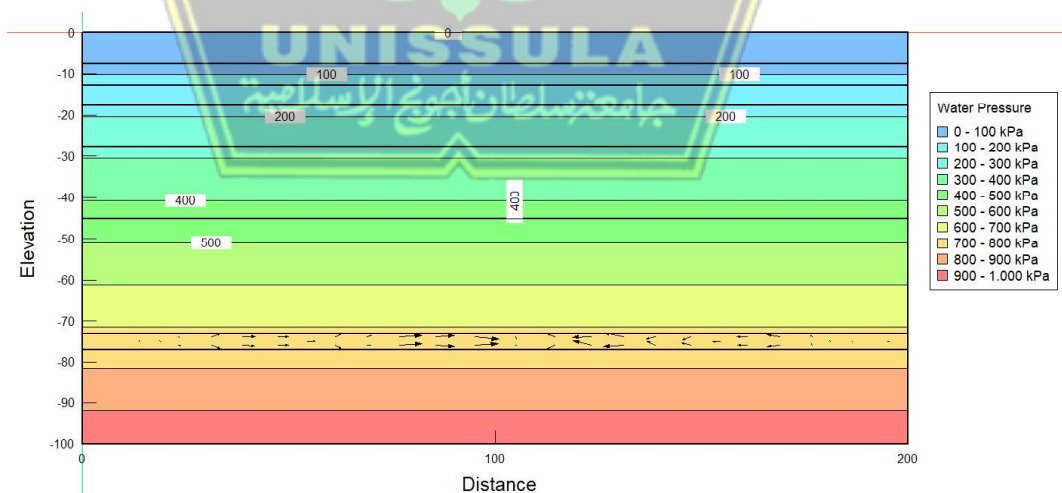


Gambar 4.69. Solve Manager

4.7.3. Hasil Analisa *Software* Geostudio

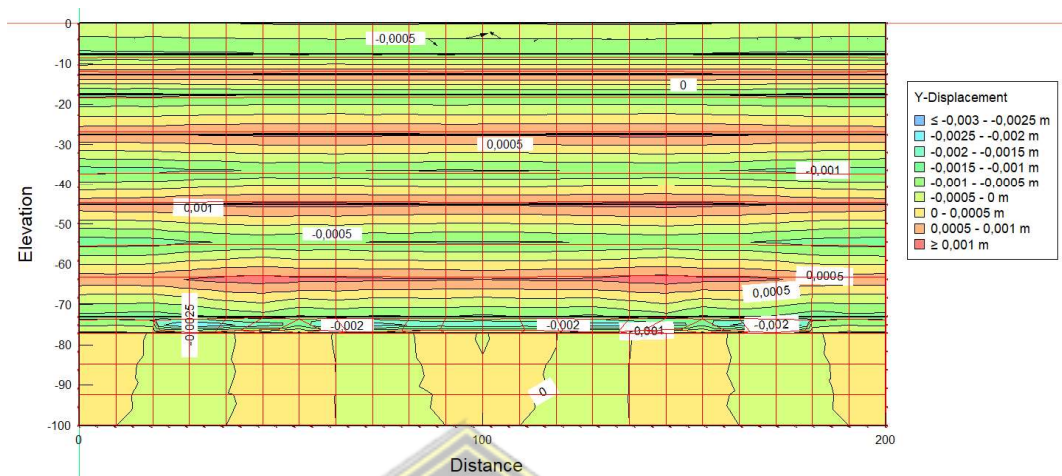
a. Permodelan tanpa pompa 1 tahun

- Kondisi muka air tanah tidak mengalami penurunan dilihat pada Gambar 4.70.



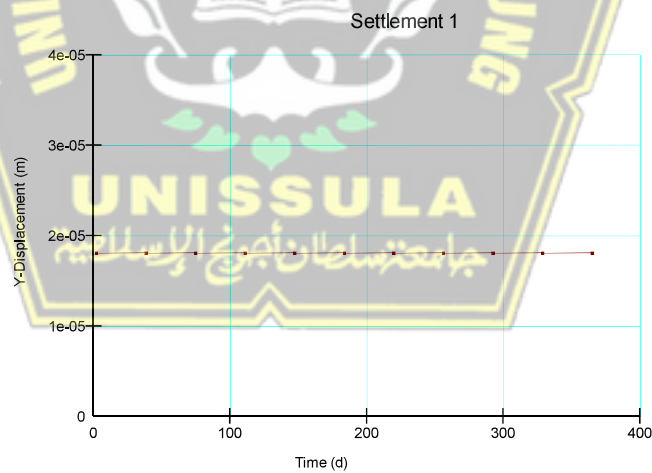
Gambar 4.70. Kondisi Muka Air Tanah

- Total penurunan tanah (*land subsidence*) sebesar 0,022 cm selama 1 tahun ditunjukkan pada Gambar 4.71.

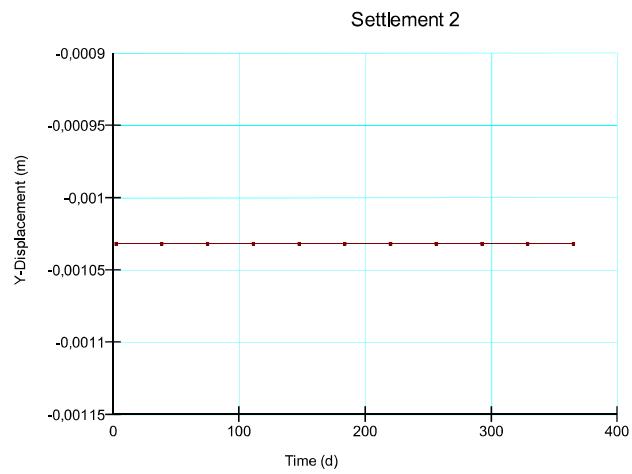


Gambar 4.71. Penurunan Tanah

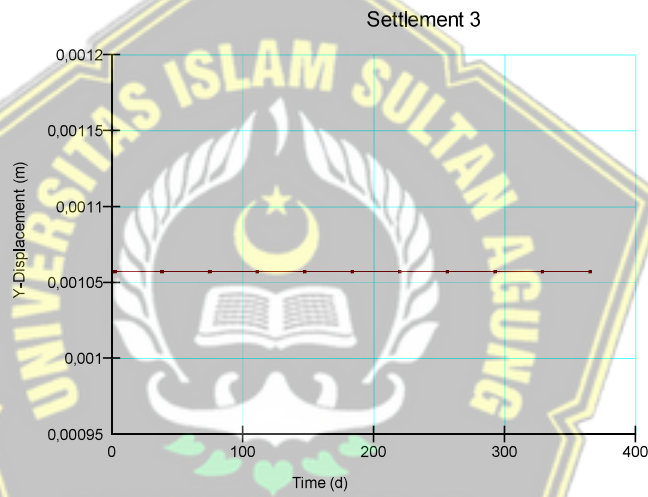
- Pemberian titik monitor pada batas tiap lapisan tanah untuk mengetahui *settlement* terbesar pada lapisan tanah. Gambar grafik pada tiap titik monitor sebagai berikut



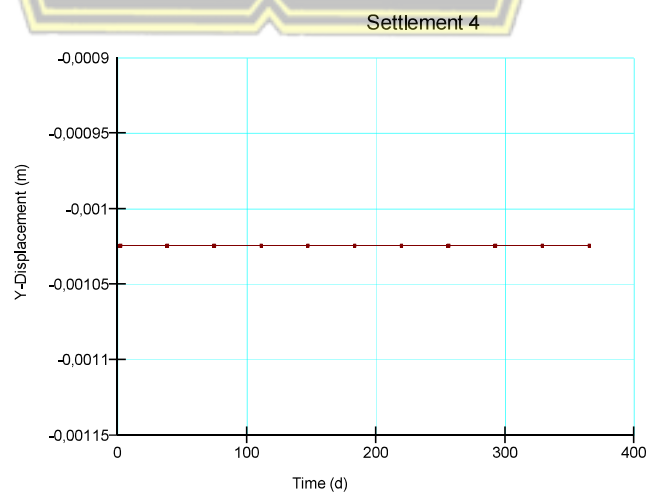
Gambar 4.72. Grafik *Settlement 1*



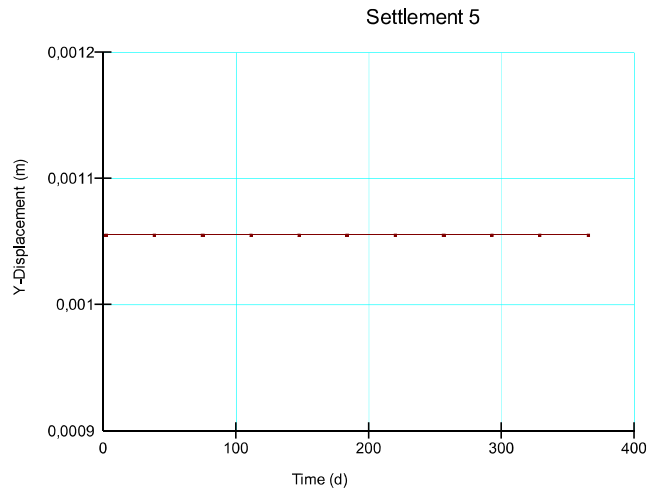
Gambar 4.73. Grafik *Settlement 2*



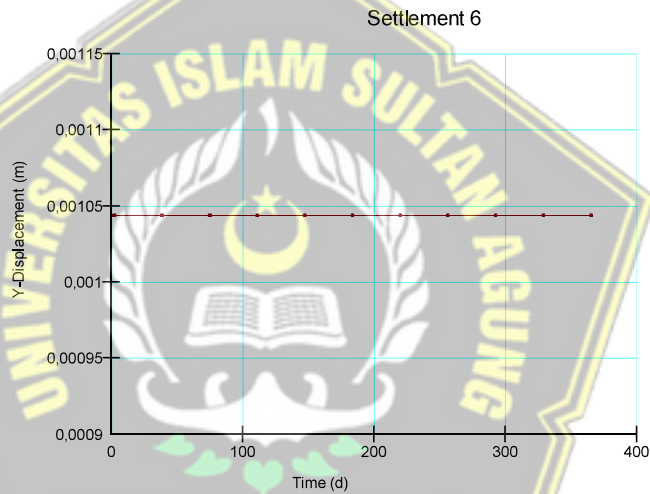
Gambar 4.74. Grafik *Settlement 3*



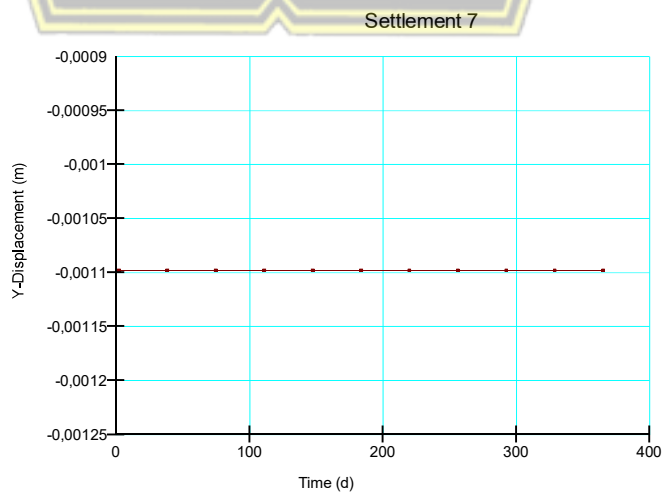
Gambar 4.75. Grafik *Settlement 4*



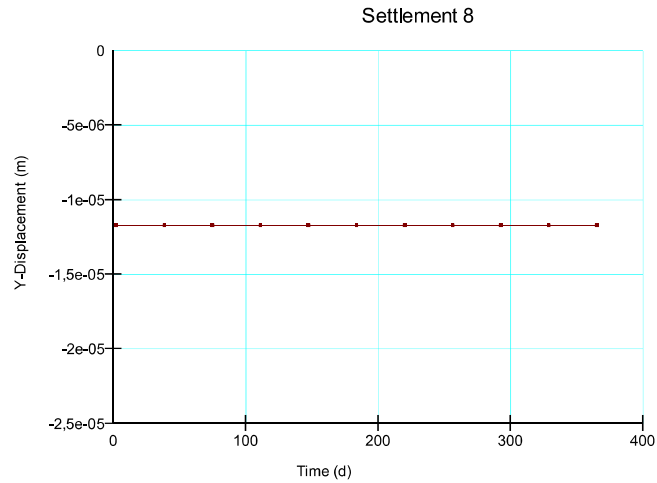
Gambar 4.76. Grafik *Settlement 5*



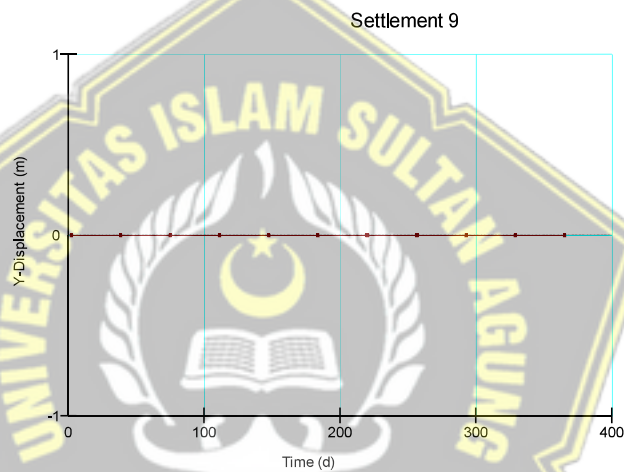
Gambar 4.77. Grafik *Settlement 6*



Gambar 4.78. Grafik *Settlement 7*



Gambar 4.79. Grafik *Settlement 8*



Gambar 4.80. Grafik *Settlement 9*

- *Output Geostudio tanpa pompa*

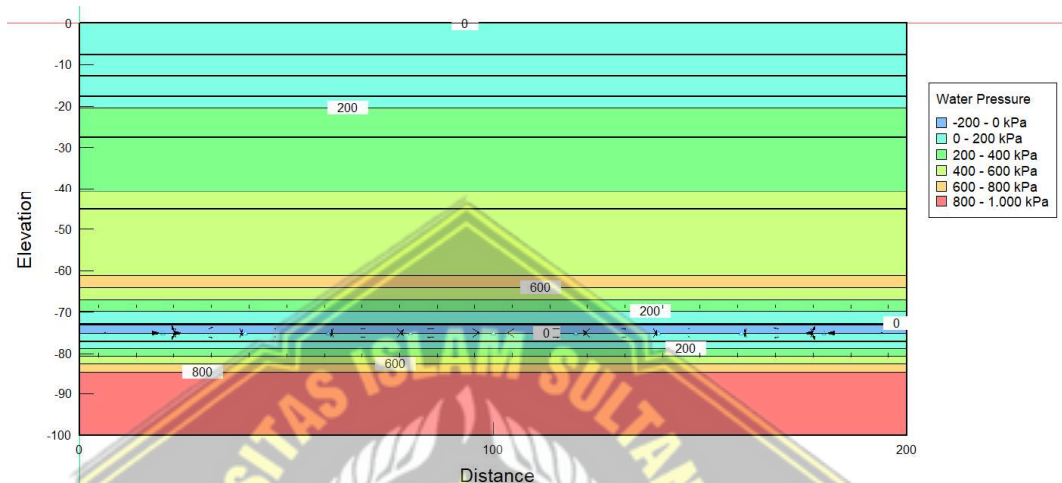
Tabel 4.13. *Output Geostudio Tanpa Pompa*

Titik Monitor	Lapisan Tanah	Settlement (cm)	Penurunan Tiap Titik (cm)
1	Sand	0,002	-0,098
2	Soft Clay	0,10	0,00
3	Medium Stiff Clay	-0,10	0,00
4	Stiff Clay	0,10	0,00
5	Very Stiff Clay	-0,10	0,00
6	Hard Clay	-0,10	0,01
7	Sand (2)	0,11	0,109
8	Hard Clay	0,001	0,001
9	Hard Clay	0,00	0,00
Total Penurunan =			0,022

Berdasarkan Tabel 4.13. *settlement* terbesar pada analisa *software* Geostudio tanpa pompa terjadi pada lapisan tanah *sand 2* (lapisan pada pompa) sebesar 0,109 cm.

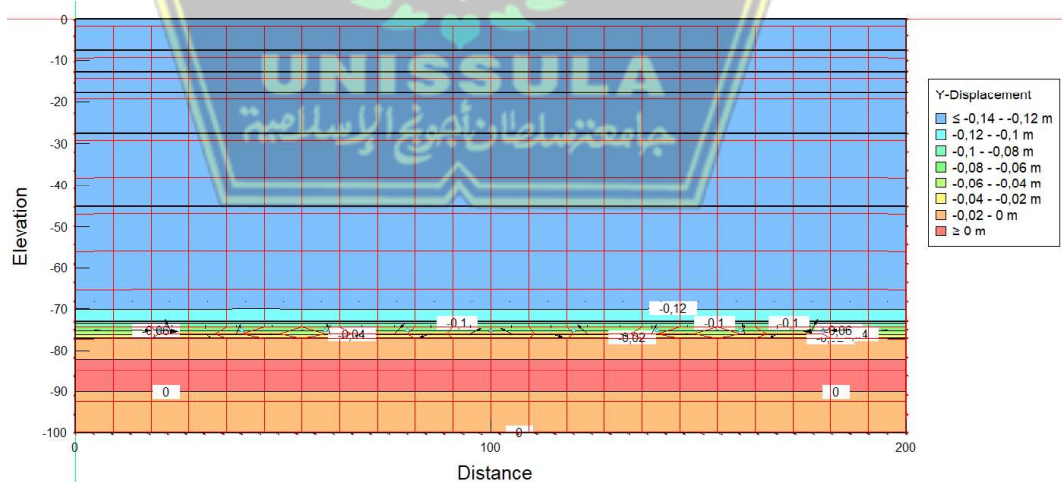
b. Permodelan dengan pompa 1 tahun

- Kondisi muka air tanah tidak mengalami penurunan, dilihat pada Gambar 4.81.



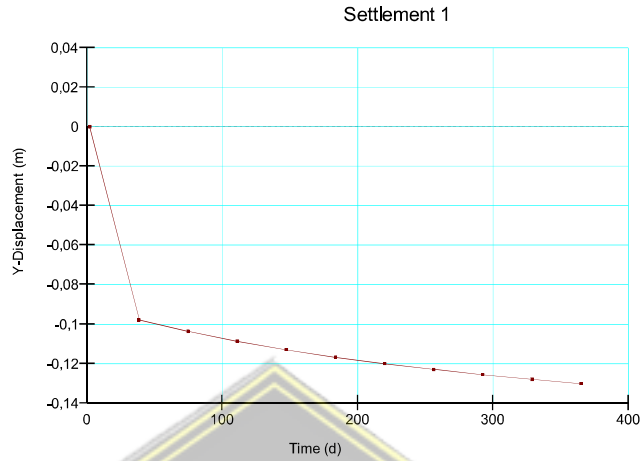
Gambar 4.81. Kondisi Muka Air Tanah

- Total penurunan tanah (*land subsidence*) sebesar 0,0075 cm selama 1 tahun ditunjukkan pada Gambar 4.82.

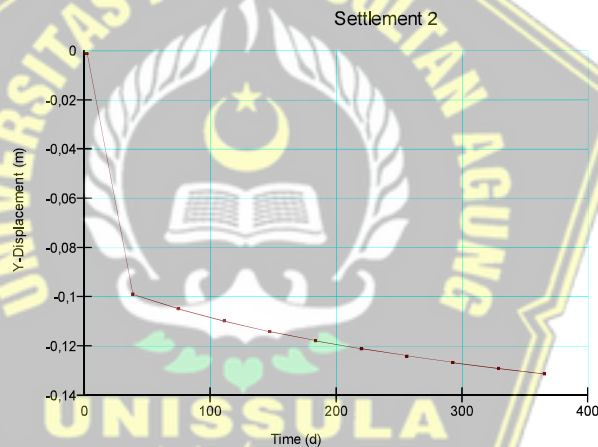


Gambar 4.82. Penurunan Tanah

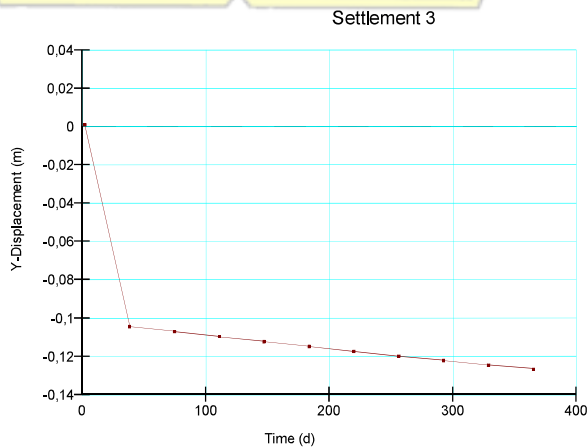
- Pemberian titik monitor pada batas tiap lapisan tanah untuk mengetahui *settlement* terbesar pada lapisan tanah. Gambar grafik pada tiap titik monitor sebagai berikut



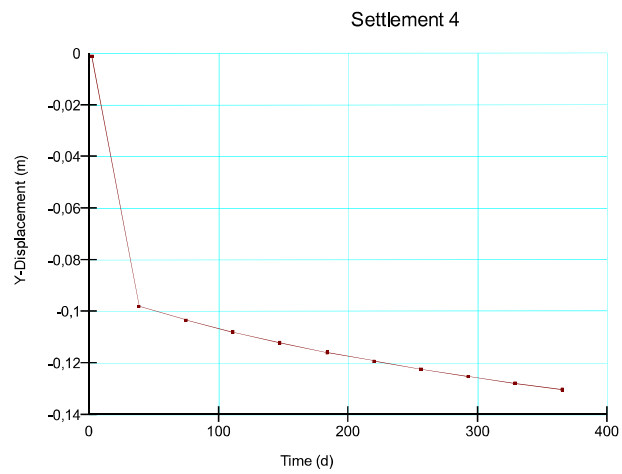
Gambar 4.83. Grafik *Settlement 1*



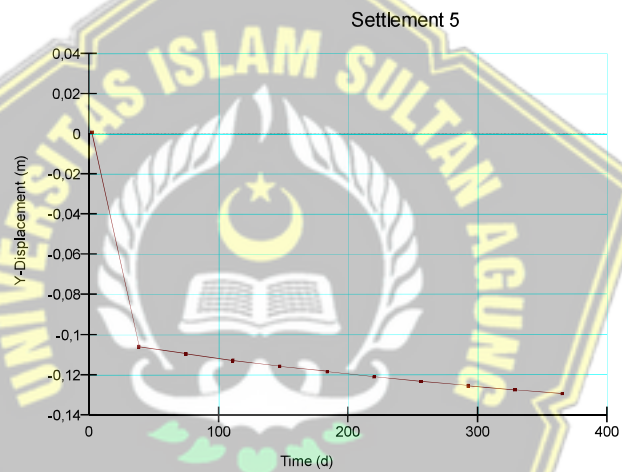
Gambar 4.84. Grafik *Settlement 2*



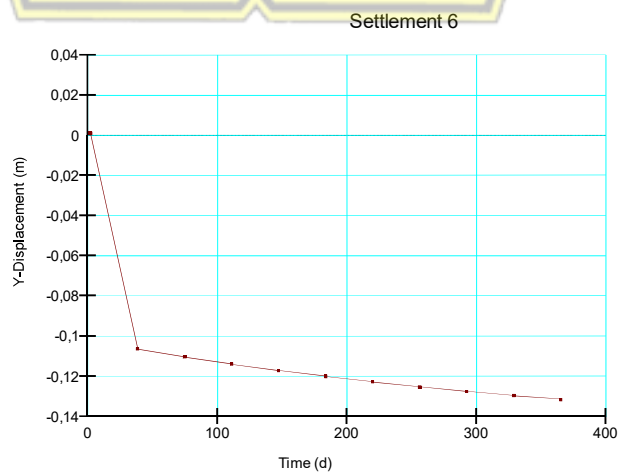
Gambar 4.85. Grafik *Settlement 3*



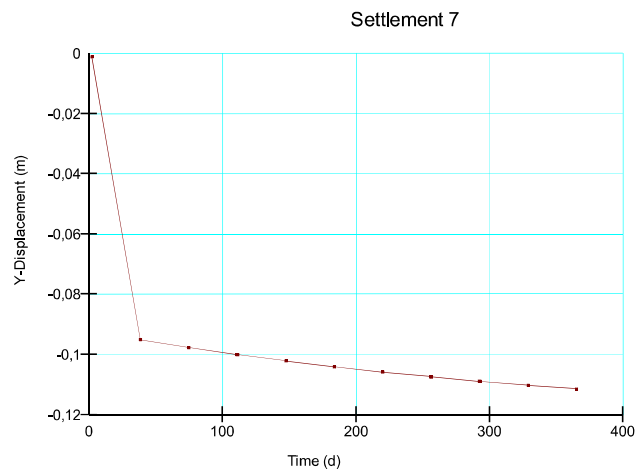
Gambar 4.86. Grafik *Settlement 4*



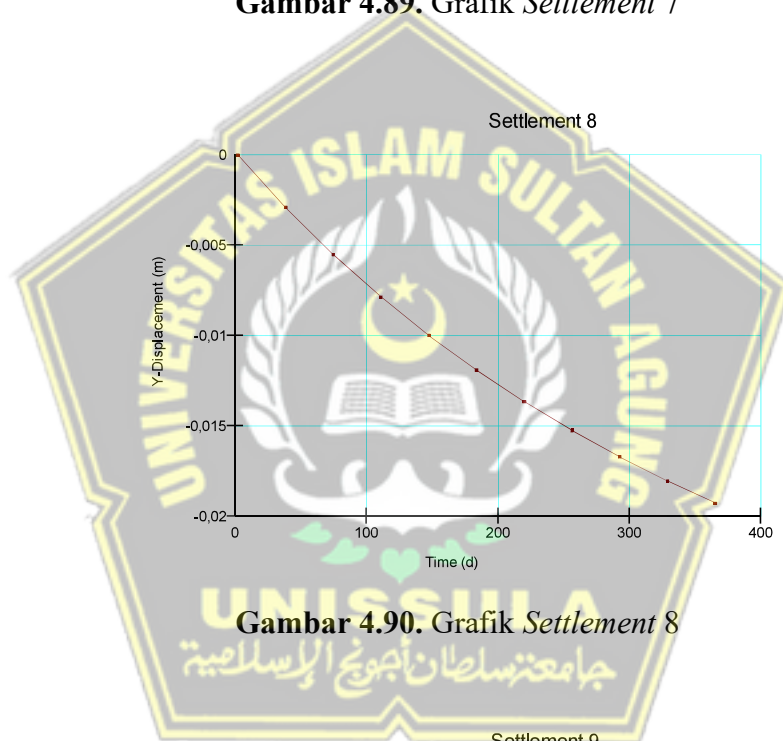
Gambar 4.87. Grafik *Settlement 5*



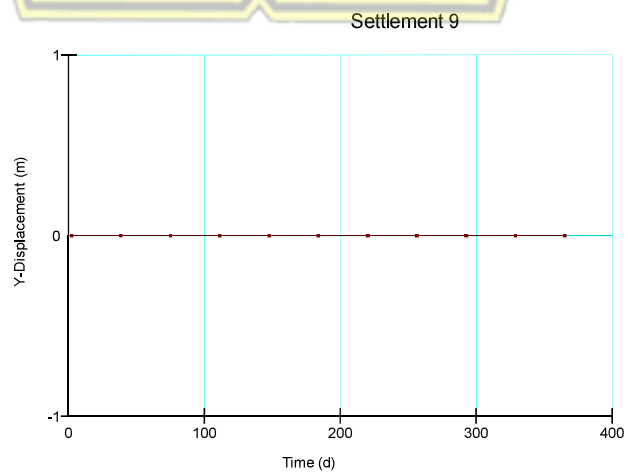
Gambar 4.88. Grafik *Settlement 6*



Gambar 4.89. Grafik *Settlement 7*



Gambar 4.90. Grafik *Settlement 8*



Gambar 4.91. Grafik *Settlement 9*

- *Output* Geostudio dengan pompa

Tabel 4.14. *Output* Geostudio dengan Pompa

Titik Monitor	Lapisan Tanah	Settlement (cm)	Penurunan Tiap Titik (cm)
1	Sand	13,01	-0,11
2	Soft Clay	13,12	0,47
3	Medium Stiff Clay	12,65	-0,37
4	Stiff Clay	13,02	0,09
5	Very Stiff Clay	12,93	-0,23
6	Hard Clay	13,16	2,02
7	Sand (2)	11,14	9,21
8	Hard Clay	1,93	1,93
9	Hard Clay	0	0
Total Penurunan =			13,01

Berdasarkan Tabel 4.14. *settlement* terbesar pada analisa *software* Geostudio dengan pompa terjadi pada lapisan tanah *sand* 2 (lapisan pada pompa) sebesar 9,21 cm.

Hasil analisa *software* Geostudio ditunjukkan pada Tabel 4.15. dibawah ini

Tabel 4.15. Hasil Analisa *Software* Geostudio

Model Geostudio	Land Subsidence (cm)	Groundwater Head (cm)	Settlement (cm)
Tanpa Pompa	0,022	0	0,109
Dengan Pompa	13,01	0	9,21

4.8. Hasil Analisa Keseluruhan

Hasil analisa keseluruhan pada *software* Plaxis V20 dan Geostudio ditunjukkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16. Hasil Analisa Keseluruhan

Tipe Analisa	Model Analisa	Land Subsidence (cm)	Groundwater Head (cm)	Settlement (cm)
<i>Trial and Error</i> Plaxis	Tanpa Pompa	10,35	-0,76	7
	Dengan Pompa	19,70	-1,95	11
<i>Trial and Error</i> Geostudio	Tanpa Pompa	0,008	0,00	0,015
	Dengan Pompa	18,72	-400	8,91
Plaxis	Tanpa Pompa	4,91	-0,68	2,8
	Dengan Pompa	14,44	-49,84	4,3
Geostudio	Tanpa Pompa	0,022	0,00	0,109
	Dengan Pompa	13,01	0,00	9,21



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pembahasan dan analisis data dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kondisi muka air tanah setelah terjadi pengambilan air dalam tanah di Kawasan Kaligawe dengan menggunakan sampel tanah Gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung Semarang setelah dibuat permodelan pompa menggunakan Plaxis V20, muka air tanah mengalami penurunan sebesar 49,84 cm dalam jangka waktu 1 tahun, sedangkan pada *software* Geostudio muka air tanah tidak mengalami penurunan.
2. Hasil penurunan lapisan tanah terbesar menggunakan sampel tanah Gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung Semarang pada *software* Plaxis V20 terjadi pada lapisan tanah *soft clay* sebesar 4,3 cm dan hasil pada *software* Geostudio terjadi pada lapisan tanah *sand* sebesar 9,21 cm dalam jangka waktu 1 tahun.
3. Nilai penurunan tanah yang dihitung menggunakan *software* Plaxis V20 lebih besar dari pada menggunakan *software* Geostudio. Prediksi penurunan tanah menggunakan *software* Plaxis V20 sebesar 14,44 cm selama 1 tahun, sedangkan pada *software* Geostudio sebesar 13,01 cm selama 1 tahun.
4. Pada analisa *software* Plaxis V20 didapatkan hasil penurunan tanah sebesar 14,44 cm menggunakan pompa dan 4,91 cm tanpa menggunakan pompa selama 1 tahun, sedangkan pada *software* Geostudio didapatkan hasil sebesar 13,01 cm menggunakan pompa dan 0.022 cm tanpa menggunakan pompa selama 1 tahun. Jadi Pengaruh pompa terhadap penurunan tanah (*land subsidence*) di Kawasan Kaligawe tepatnya di Gedung B Asrama Unissula sebesar 294,09 % karena selisih antara penurunan tanah menggunakan pompa dan tanpa menggunakan pompa pada *software* Plaxis V20 sebesar 9,53 cm dan pada *software* Geostudio sebesar 12,988 cm yang artinya pengambilan air dalam tanah menggunakan pompa sangat berpengaruh terhadap penurunan

tanah di Kawasan Kaligawe menggunakan sampel tanah Gedung B Asrama Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

5.2. Saran

Berdasarkan dari analisis dan kesimpulan disarankan hal-hal sebagai berikut :

1. Peneliti selanjutnya diharapkan menggunakan lebih banyak titik sampel di berbagai lokasi di Kawasan Kaligawe.
2. Peneliti selanjutnya diharapkan menggunakan perhitungan manual berdasarkan teori – teori yang ada sebagai perbandingan analisa menggunakan *software* geoteknik.
3. Peneliti selanjutnya diharapkan menggunakan data debit air sesuai dengan data dari lembaga pemerintah yang ada di Kota Semarang.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Kunanto dan Rehan Gusti Lutfi. (2017). *Analisis Amblesan Tanah (Land Subsidence) Dan Pengaruhnya Terhadap Perubahan Luas Genangan Di Kecamatan Sayung*. Tugas Akhir. Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Adhi, B. W. (2017). *Prediksi Perubahan Luas Genangan Berdasarkan Analisis Penurunan Tanah (Land Subsidence) Di Kota Semarang*. Tesis. Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Aldiamar, Fahmi dkk. (2013). *Kajian Awal Kelas Situs Untuk Perencanaan Ketahanan Gempa Struktur Bangunan Gedung di DKI Jakarta*. (8)2, 108-114.
- Badan Standarisasi Nasional. (2015). SNI 6371-2015. *Tata Cara Pengklasifikasian Tanah untuk Keperluan Teknik dengan Sistem Klasifikasi Unifikasi Tanah*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). SNI 1727-2020. *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain Sebagai revisi dari Standar Nasional Indonesia 1727-2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta.
- Das, Braja M., (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I*. Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo H.C., (2002). *Mekanika Tanah I*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo H.C., (2002). *Mekanika Tanah II*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Ismanto dkk. (2019). Ilmu Kelautan. *Model Sebaran Penurunan Tanah Di Wilayah Pesisir Semarang*. 14(4), 189-196.
- Kurniawan, Andri. (2017). *Analisa Penurunan Tanah (Land Subsidence) Yang Berpengaruh Terhadap Genangan Air Rob Di Kota Semarang*. Tesis. Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

- Maulana M.A., Mahfudz M., & Efendi J. (2021). *Pemantauan Penurunan Muka Tanah Menggunakan Interferometry Synthetic Aperture Radar (INSAR) di DKI Jakarta*. Hal 1-7.
- Muchtar, Hardiwonoto. (2017). *Karakteristik Fisik Kota Semarang*. Featured, research.
- Narka, I.W. (2016). *Penuntun Praktikum Sifat Sifat Fisik Tanah*. Praktikum. Fakultas Pertanian Universitas Udayana Denpasar.
- Panjaitan dkk. (2017). *Kumpulan Karya Ilmiah Dosen Universitas Kristen Indonesia Delapan Windu*. UKI Press, Jakarta.
- Permatasari, D. I. (2017). *Analisa Perubahan Luas Genangan Akibat Amblesan Tanah (Land Subsidence) Di Kota Semarang*. Tesis. Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Philips, M.W.D (2019). *Permeabilitas Tanah dalam Keadaan Jenuh*. Laporan Praktikum Dasar Ilmu Tanah. Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga.
- Pratama, C.D, & Defryan Ardianto. (2022). *Analisa Daya Dukung dan Penurunan Seketika Fondasi Mini Pile Pada Gedung Fraksi DPRD Kudus*. Skripsi. Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Prasetyo Y., & Subiyanto S. (2014). Teknik. *Studi Penurunan Muka Tanah (Land Subsidence) Menggunakan Metode Permanent Scatterer*. 35(2), 78-85.
- Pujiastuti R., Suripin, & Syarifudin. (2015). Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil. *Pengaruh Land Subsidence Terhadap Genangan Banjir Dan Rob di Semarang Timur*. 21(1), 1-12.
- Rochim, Abdul, & Lisa Fitriyana. (2021). *Pemetaan Tanah Lunak Untuk Model Perkuatan Tanah Pondasinya*. Laporan Penelitian Internal. Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Suwarno. (2017). *Bahaya Pemompaan Air Tanah Terhadap Land Subsidence Pada Lapisan Tanah Lunak*. 422-427.
- Yuwono, D.Y. (2013). Teknik. *Korelasi Penurunan Muka Tanah Dengan Penurunan Muka Tanah di Kota Semarang*. 34(3), 188-195.

Laboratorium Mekanika Tanah. (2019). *Laporan Hasil Penyelidikan Tanah
Proyek Pembangunan Gedung Pesantren Mahasiswa Unissula*. Fakultas
Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

