

**ESTIMASI BIAYA PERBAIKAN BERDASARKAN PENILAIAN SERTA  
EVALUASI KONDISI TANAH PADA GUDANG BENTANG PANJANG  
(Studi Kasus: Gudang Biru PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2)**

(Skripsi)

Oleh

**DEA RIZKI FEBRIANA  
1915011021**



**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

## ABSTRAK

### ESTIMASI BIAYA PERBAIKAN BERDASARKAN PENILAIAN SERTA EVALUASI KONDISI TANAH PADA GUDANG BENTANG PANJANG (STUDI KASUS: GUDANG BIRU PT. PELABUHAN INDONESIA (PERSERO) REGIONAL 2)

Oleh

DEA RIZKI FEBRIANA

PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2 memiliki salah satu infrastruktur logistik yaitu berupa gudang penyimpanan. Gudang ini diketahui telah terjadi penurunan tanah yang mengakibatkan beberapa kerusakan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi eksisting gudang, merencanakan metode perbaikan tanah, serta mengestimasi biaya perbaikan yang diperlukan. Analisis penurunan tanah dilakukan dengan menggunakan metode *Finite Element Method* (FEM) melalui *software PLAXIS 2D*, serta pengukuran topografi. Hasil analisis menunjukkan bahwa penurunan tanah telah melampaui batas aman yang diizinkan, yaitu sebesar 677,9 mm secara keseluruhan, dengan 890 mm di Segmen A dan 1.440 mm di Segmen B, sementara batas yang diizinkan hanya 180 mm. Oleh karena itu, direncanakan perbaikan tanah dengan penambahan pondasi sumuran di area tengah gudang. Pondasi sumuran tersebut memiliki diameter 120 cm dan kedalaman 200 cm, sementara balok tanah (*ground beam*) memiliki dimensi lebar 40 cm, tinggi 70 cm, dan panjang bervariasi (600 cm, 500 cm, dan 400 cm). Biaya perbaikan tanah yang dibutuhkan untuk Gudang Bentang Panjang PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional II diperkirakan sebesar Rp8.170.324.275.

Kata kunci: Penurunan Tanah, FEM, Pondasi Sumuran, Biaya Perbaikan

## **ABSTRACT**

### ***COST ESTIMATION FOR REPAIRS BASED ON ASSESSMENT AND EVALUATION OF SOIL CONDITIONS AT THE LONG SPAN WAREHOUSE (CASE STUDY: BLUE WAREHOUSE PT. PELABUHAN INDONESIA (PERSERO) REGIONAL 2)***

***By***

**DEA RIZKI FEBRIANA**

*PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2 has a logistics infrastructure in the form of a storage warehouse. This warehouse has experienced land subsidence, which has caused several damages. This study aims to analyze the existing condition of the warehouse, plan the soil repair methods, and estimate the necessary repair costs. The analysis of land subsidence is conducted using the Finite Element Method (FEM) through PLAXIS 2D software, as well as topographic measurements. The analysis results show that the land subsidence has exceeded the allowable safety limit, measuring a total of 677.9 mm, with 890 mm in Segment A and 1,440 mm in Segment B, while the permissible limit is only 180 mm. Therefore, soil repair is planned with the addition of well foundations in the central area of the warehouse. These well foundations have a diameter of 120 cm and a depth of 200 cm, while the ground beams have dimensions of 40 cm in width, 70 cm in height, and varying lengths (600 cm, 500 cm, and 400 cm). The estimated cost of soil repairs needed for the Long Span Warehouse at PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional II is approximately IDR 8.170.324.275.*

*Keywords: Land Subsidence, FEM, Well Foundation, Repair Costs*

**ESTIMASI BIAYA PERBAIKAN BERDASARKAN PENILAIAN SERTA  
EVALUASI KONDISI TANAH PADA GUDANG BENTANG PANJANG  
(Studi Kasus: Gudang Biru PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2)**

**Oleh**

**DEA RIZKI FEBRIANA**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

**Judul Skripsi : ESTIMASI BIAYA PERBAIKAN  
BERDASARKAN PENILAIAN SERTA  
EVALUASI KONDISI TANAH PADA  
GUDANG BENTANG PANJANG (Studi  
Kasus: Gudang Biru PT. Pelabuhan  
Indonesia (Persero) Regional 2)**

**Nama Mahasiswa : Dea Rizki Febriana**

**Nomor Pokok Mahasiswa : 1915011021**

**Program Studi : S1 Teknik Sipil**

**Fakultas : Teknik**



**1. Komisi Pembimbing**

**Ir. Kristianto Usman, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP 19720513 200312 1 002

**Ir. Andius Dasa Putra, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP 19731018 200012 1 001

**2. Ketua Jurusan Teknik Sipil**

**3. Ketua Program Studi Teknik Sipil**

**Sasana Putra, S.T., M.T.**  
NIP 19691111 200003 1 002

**Dr. Suyadi, S.T., M.T.**  
NIP 19741225 200501 1 003

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua : Ir. Kristianto Usman, S.T., M.T., Ph.D.** .....

**Sekretaris : Ir. Andius Dasa Putra, S.T., M.T., Ph.D.** .....

**Penguji : Ir. Amril Ma'ruf Siregar, S.T., M.T.** .....

**2. Dekan Fakultas Teknik**

**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.** }

**NIP 19750928 200112 1 002**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 22 Oktober 2024**

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Dea Rizki Febriana

NPM : 1915011021

Program Studi : S1 Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“Estimasi Biaya Perbaikan Berdasarkan Penilaian serta Evaluasi Kondisi Tanah pada Gudang Bentang Panjang (Studi Kasus: Gudang Biru PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2)”** tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka. Ide penelitian didapat dari pembimbing I, oleh karena itu baik atas data penelitian berada pada Saya dan Pembimbing I, Ir. Kristianto Usman, S.T., M.T., Ph.D.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 22 Oktober 2024



Dea Rizki Febriana

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Dea Rizki Febriana, lahir di Gumawang pada 6 Februari 2002. Penulis merupakan anak bungsu dari empat bersaudara, dari pasangan Bapak Syarkowi (Alm) dan Ibu Nurlena. Penulis memulai pendidikan formal di SD N 4 Gumawang, lalu meneruskan pendidikan di SMP Negeri 1 Belitang, kemudian menempuh pendidikan di SMA Negeri 1 Belitang. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi S-1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2019 jalur SNMPTN.

Dalam pengaplikasian ilmu di bidang Teknik Sipil, penulis telah melaksanakan Kerja Praktik selama 3 bulan di PT Cipta Perkasa Prima pada Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Bersama Politeknik Negeri Lampung. Penulis turut serta dalam kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari pada periode 1 tahun 2022 di Kelurahan Beringin Jaya, Kecamatan Pagaralam Utara, Kota Pagaralam, Provinsi Sumatera Selatan.

Selama masa perkuliahan, penulis pernah aktif sebagai anggota Departemen Penelitian dan Pengembangan Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) periode 2021 dan pernah menjabat sebagai sekretaris divisi Departemen Penelitian

pada periode 2022. Selain itu, penulis juga pernah diangkat menjadi asisten dosen untuk mata kuliah Kewirausahaan periode tahun ajaran 2020/2021 dan juga Mekanika Bahan pada periode tahun ajaran 2022/2023.

Selama masa perkuliahan, penulis mendapat banyak ilmu dan pengalaman, baik akademik dan non-akademik. Pada akhir masa perkuliahannya, penulis melaksanakan tanggung jawab sebagai mahasiswa dengan menyelesaikan tugas akhirnya dengan judul skripsi “Estimasi Biaya Perbaikan Berdasarkan Penilaian serta Evaluasi Kondisi Tanah pada Gudang Bentang Panjang (Studi Kasus: Gudang Biru PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2)”

## **PERSEMBAHAN**

Alhamdulillah rabbil'alamiin telah engkau ridhai Ya Allah langkah hambaMu sehingga skripsi ini akhirnya dapat terselesaikan pada waktunya

Shalawat serta salam selalu dipanjatkan kepada Nabi Muhammad SAW  
Semoga kelak skripsi ini dapat memberikan ilmu yang bermanfaat

Papa dan Cacak yang semasa hidupnya selalu memberikan semangat dan juga doa untuk kesuksesanku di masa yang mendatang.

Mama, Ayuk Vera, Ayuk Rani, dan keluarga tercinta yang selalu kebersamai, memberikan dukungan dalam hal apapun, mengarahkan, mendoakan dan memberi semangat yang tak terhingga kepadaku hingga saat ini

Dosen Pembimbing dan Penguji yang sangat berjasa dengan tidak hentinya memberikan ilmu baru dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini

Teman-teman terdekat penulis yang sudah banyak membantu selama proses perkuliahan dan skripsi, memberikan dukungan dan juga masukan selama ini.

Almamaterku Universitas Lampung

## **MOTTO**

“Setiap perjalanan memiliki jalur dan waktunya masing-masing, dan kesuksesan bukanlah tentang seberapa cepat kamu mencapainya, tetapi tentang terus bergerak maju dan berdoa. Lakukanlah yang terbaik di setiap perjalanan”

(Penulis)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(QS. Al-Baqarah : 286)

“You don’t have to be great to start, but you have to start to be great.”

(Zig Ziglar)

## SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan semua rangkaian penelitian dan penulisan skripsi dengan judul “Estimasi Biaya Perbaikan Berdasarkan Penilaian serta Evaluasi Kondisi Tanah pada Gudang Bentang Panjang (Studi Kasus: Gudang Biru PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2)” sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Selesainya rangkaian penelitian dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Suyadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Lampung
4. Bapak Ir. Kristianto Usman, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dan bantuan selama proses pengerjaan skripsi.
5. Bapak Ir. Andius Dasa Putra, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan bimbingan serta masukan-masukan selama proses pengerjaan skripsi.
6. Bapak Ir. Amril Ma'ruf Siregar, S.T., M.T., selaku Dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun terkait isi skripsi.
7. Bapak Ir. Aminudin Syah, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan saran, kritik, dan bimbingan dalam akademik penulis.

8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung atas ilmu yang telah diberikan selama perkuliahan..
9. Seluruh staff dan karyawan Program Studi S1 Teknik Sipil atas segala bantuannya dalam hal administrasi.
10. Papa dan Cacak yang telah lebih dulu dipanggil oleh Sang Pencipta. Meskipun tidak dapat menyaksikan pencapaian ini, kasih sayang, doa, serta pengorbanan yang telah diberikan sepanjang hidup beliau akan selalu menjadi pendorong terbesar dalam setiap langkah saya.
11. Mama, Ayuk Vera, Ayuk Rani, dan keluarga tercinta, yang senantiasa membersamai saya sampai pada titik ini. Selalu memberikan cinta, perhatian, serta dukungan yang tak ternilai, baik secara moral, materi, maupun melalui doa-doa tulus yang menguatkan saya hingga mencapai titik ini.
12. Teman-teman terdekat saya yaitu Fadhilah, Febriana, Silma, dan Cecilia yang telah menemani, membantu, dan memberikan semangat kepada saya selama masa perkuliahan.
13. Keluarga besar Teknik Sipil Angkatan 2019 yang telah berjuang bersama, berbagi kenangan dan pengalaman tak terlupakan.

Akhir kata, penulis berharap semoga Allah SWT memberikan rahmat dan pahala yang berlimpah pada mereka dan menjadikannya sebagai ibadah. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna akan tetapi penulis berharap semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua, Aamiin

Bandar Lampung, Oktober 2024

**Dea Rizki Febriana**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>vi</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penelitian .....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Penilaian Struktur ( <i>Assessment Structure</i> ) .....	7
2.2 Tanah .....	8
2.3 Klasifikasi Tanah.....	9
2.4 Penyelidikan Tanah .....	10
2.5 Penurunan Tanah .....	12
2.6 Penurunan Bangunan.....	15
2.7 Tingkat Kerusakan Bangunan .....	16
2.8 Perbaikan Tanah .....	17
2.8.1 Pondasi Sumuran ( <i>Caisson</i> ) .....	18
2.8.2 Pondasi Mini Pile .....	19
2.9 Estimasi Biaya.....	21
2.10 <i>Plaxis 2D</i> .....	21
2.11 Penelitian Terdahulu.....	23
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	<b>29</b>
3.1 Lokasi Penelitian .....	29
3.2 Peralatan Penelitian .....	30
3.3 Prosedur Penelitian.....	31

3.3.1 Studi Literatur .....	31
3.3.2 Pengumpulan Data .....	31
3.3.3 Prosedur Penelitian .....	32
3.3.4 Kesimpulan dan Saran .....	32
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	33
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>35</b>
4.1 Umum .....	35
4.2 Hasil Investigasi Lapangan.....	35
4.2.1 Pengamatan Visual.....	35
4.2.2 Data Uji Lapangan .....	39
4.3 Analisis Kondisi Eksisting .....	41
4.3.1 Input Parameter Pemodelan Kondisi Eksisting.....	42
4.3.2 Input Parameter Struktur.....	43
4.3.3 Input Parameter Pembebanan .....	44
4.3.4 Pembuatan Jaring-jaring Elemen .....	44
4.3.5 Kalkulasi .....	44
4.3.6 Hasil Program Analisis .....	45
4.3.7 Data Topografi .....	50
4.3.8 Hasil Analisis Kondisi Eksisting .....	52
4.4 Analisis Perbaikan Penurunan Tanah.....	52
4.4.1 Pembebanan .....	55
4.4.2 Data Perencanaan Pondasi Sumuran ( <i>Beton Cyclop</i> ) .....	58
4.4.3 Daya Dukung Pondasi Sumuran .....	58
4.4.4 Kontrol Daya Dukung Pondasi Sumuran.....	60
4.4.5 Penulangan <i>Ground Beam</i> .....	61
4.4.6 Kontrol Stabilitas Gudang.....	62
4.5 Estimasi Biaya.....	67
4.5.1 Perhitungan Volume .....	67
4.5.2 Harga Satuan Upah dan Bahan .....	70
4.5.3 Analisis Harga Satuan Pekerjaan .....	71
4.5.4 Analisa Estimasi Biaya Perbaikan .....	74
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>75</b>
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	76
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>77</b>

**LAMPIRAN A (GAMBAR-GAMBAR)**

**LAMPIRAN B (DATA UJI SEPERTI DAN UJI LABORATORIUM)**

**LAMPIRAN C (DATA TOPOGRAFI)**

**LAMPIRAN D (ANALISIS PENULANGAN GROUND BEAM)**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
1. Peta Lokasi Gudang Biru PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) .....	1
2. Kondisi Penurunan Tanah Gudang Segmen A .....	3
3. Kondisi Kerusakan Struktur Gudang .....	3
4. Profil Penurunan Segera dan Tekanan Kontak pada Lempung:.....	13
5. Grafik Waktu-Pemampatan Selama Konsolidasi untuk Suatu .....	15
6. Pondasi Sumuran.....	18
7. Pondasi Mini Pile .....	20
8. Fitur-fitur yang Ada Didalam Plaxis 2D .....	22
9. Lokasi Penelitian.....	29
10. Tampak Atas Gudang Biru .....	29
11. Tampak Depan Gudang Biru .....	30
12. Tampak Belakang Gudang Biru .....	30
13. Gambar Alir Penelitian.....	34
14. Kondisi Lingkungan Sekitar Gudang.....	36
15. Kondisi Penurunan Tanah Gudang Segmen A .....	38
16. Kondisi Kerusakan Struktur Gudang .....	38
17. Kondisi Kerusakan Struktur Lantai.....	38
18. Titik Lokasi Pengujian Tanah.....	39
19. Input Parameter Tanah .....	42
20. Pemodelan Geometri Berdasarkan Parameter Tanah .....	43
21. Input Parameter Pembebanan.....	44
22. Jaring-jaring Elemen. ....	44
23. Tahapan Perhitungan.....	45
24. Perubahan Bentuk Tanah.....	47
25. Arah Pergerakan Tanah Total .....	48
26. Arah Kritis Total Displacement.....	49

<b>27.</b> Peta Topografi Gudang Biru. ....	51
<b>28.</b> Grafik Respon Spektrum Gudang Biru.....	57
<b>29.</b> Perencanaan Pondasi Sumuran .....	58
<b>30.</b> Potongan Melintang Ground Beam 400 x 700 mm .....	62
<b>31.</b> Total Displacement Stabilitas Gudang .....	66

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Kriteria Peringkat Kerusakan Komponen Struktur Beton dan Beton Pracetak	17
2. Pengklasifikasian Kerusakan (Sjafei Amri, 2006) .....	17
3. Referensi Penelitian Terdahulu .....	27
4. Referensi Penelitian Terdahulu (Lanjutan) .....	28
5. Rangkuman Hasil Bor Log (N-SPT).....	40
6. Parameter Tanah.....	40
7. Parameter Tanah (Lanjutan).....	41
8. Parameter Struktur Pelat .....	43
9. Total Penurunan Sebelum Perbaikan.....	46
10. Data Topografi Gudang Biru.....	50
11. Rekapitulasi Kondisi Eksisiting Tanah.....	52
12. Pertimbangan Teknis Pemilihan Pondasi Sumuran.....	54
13. Rekapitulasi Daya Dukung Ultimate Tiang .....	59
14. Rekapitulasi Daya Dukung Ijin Tiang.....	60
15. Rekapitulasi Penulangan Ground Beam.....	61
16. Total Penurunan Setelah Diberi Pondasi Sumuran .....	63
17. Perhitungan Volume Pekerjaan Persiapan.....	67
18. Perhitungan Volume Pondasi Sumuran.....	68
19. Perhitungan Volume Beton Ground Beam .....	68
20. Perhitungan Volume Bekisting Ground Beam .....	68
21. Perhitungan Volume Pematatan Ground Beam .....	68
22. Perhitungan Volume Pembesian Ground Beam .....	69
23. Daftar Harga Satuan Upah dan Bahan Pekerjaan Ground Beam .....	70
24. Analisis Harga Satuan Pekerjaan Pembongkaran .....	71
25. Analisis Harga Satuan Pekerjaan Pembersihan Lapangan dan Perataan .....	71

<b>26.</b> Analisis Harga Satuan Pekerjaan Penggalian Tanah .....	71
<b>27.</b> Analisis Harga Satuan Pekerjaan Pengukuran dan Pemasangan Bouwplank .	72
<b>28.</b> Analisis Harga Satuan Pekerjaan Beton Cyclop .....	72
<b>29.</b> Analisis Harga Satuan Pekerjaan Pembesian .....	72
<b>30.</b> Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bekisting Ground Beam.....	73
<b>31.</b> Analisis Harga Satuan Pekerjaan Pengecoran.....	73
<b>32.</b> Analisis Harga Satuan Pekerjaan Pemadatan Beton .....	73
<b>33.</b> Estimasi Biaya Perbaikan Tanah .....	74

# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2 merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pelayanan jasa kepelabuhan yang memiliki dermaga sendiri dan dermaga umum. Perusahaan ini menjadi pengelola dan pengembang kegiatan logistik, tidak hanya sekadar pelabuhan tetapi juga berbagai usaha yang terkait dengan logistik sebagai energi perdagangan Indonesia. PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2 memberikan pelayanan jasa berupa pelabuhan, pergudangan, jasa bongkar muat, dan sewa tangki penyimpanan. Salah satu infrastruktur logistik yang ada di PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2 ini adalah gudang penyimpanan.



**Gambar 1.** Peta Lokasi Gudang Biru PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2 (Sumber: Google Earth Pro, 2023)

Gudang PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2 yang berada di kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung terdiri dari 2 bangunan gudang yang saling berjajar dan digunakan sebagai tempat penyimpanan barang atau bahan. Pada Gudang PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2 ini ingin dilakukan evaluasi struktur guna meningkatkan umur layan bangunan gudang.

Gudang ini diketahui telah mengalami penurunan pondasi dan tanah yang menimbulkan beberapa kerusakan pada struktur lantai, pondasi dan juga atap. Apabila hal ini diabaikan, maka dapat membahayakan pekerja di dalam gudang, terlebih apabila masih terdapat operasional bongkar muat bahan atau barang yang ada. Adanya penurunan tanah pada bangunan gudang ini, maka perlu dilakukan penyelidikan untuk mengetahui penyebab terjadinya penurunan tanah dan cara mengatasinya.

Penurunan tanah mengakibatkan adanya perubahan perilaku pada struktur. Untuk mengetahui lebih lanjut kondisi tanah tersebut, perlu dilakukan penyelidikan tanah dengan uji penetrasi test (N-SPT). Penurunan tanah (*settlement*) dapat terjadi karena suatu permukaan tanah terbebani oleh struktur yang terletak diatas tanah tersebut. Penurunan tanah diakibatkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, serta keluarnya air dan udara dari dalam pori-pori tanah. Metode yang umum dipakai untuk memprediksi besarnya penurunan tanah diantaranya adalah metode analitis konsolidasi satu dimensi Terzaghi (1943). Penurunan tanah pada bangunan Gudang Biru PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2 ini perlu diatasi dengan dilakukannya perbaikan. Perbaikan dilakukan guna mengoptimalisasi kembali bangunan gudang agar dapat kembali ke kondisi awal sebelum mengalami perubahan maupun penurunan tersebut.

Dari latar belakang tersebut, diperlukan data tanah guna menentukan perbaikan yang tepat dan mengetahui berapa estimasi biaya yang dibutuhkan dalam melakukan perbaikan pada bangunan Gudang Biru PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2.



**Gambar 2.** Kondisi Penurunan Tanah Gudang Segmen A  
(Sumber: Survei Penelitian, 2023)



**Gambar 3.** Kondisi Kerusakan Struktur Gudang  
(Sumber: Survei Penelitian, 2023)

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan di antaranya sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi eksisting tanah yang terjadi pada gudang PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2?

2. Bagaimana rencana metode perbaikan yang akan dilakukan pada tanah yang mengalami penurunan?
3. Berapa estimasi biaya yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan penurunan tanah pada gudang tersebut?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kondisi eksisting tanah berdasarkan penilaian serta evaluasi yang dilakukan pada gudang PT. Pelabuhan Indonesia (persero) Regional 2.
2. Merencanakan metode perbaikan yang akan dilakukan pada tanah yang mengalami penurunan.
3. Mengetahui estimasi biaya yang dibutuhkan untuk perbaikan penurunan tanah pada gudang PT. Pelabuhan Indonesia (persero) Regional 2.

### **1.4 Batasan Masalah**

Penelitian ini memiliki batasan-batasan masalah terhadap perbaikan kerusakan struktur tanah pada Gudang PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2, Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Batasan-batasan masalah yang terdapat pada penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan pada Gudang PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2, Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung.
2. Data penurunan tanah akan di analisa dalam penelitian ini didapatkan dari hasil survei dan hasil uji penetrasi test (SPT) yang dilakukan di gudang ini.
3. Metode perbaikan yang ditinjau pada penelitian ini yaitu pada tanah yang mengalami penurunan.
4. Estimasi biaya perbaikan yang ditinjau di dalam penelitian ini hanya pada perbaikan penurunan tanah.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari hasil penelitian ini adalah

1. Sebagai bahan pertimbangan bagi praktisi di masa mendatang untuk mengatasi penurunan tanah.
2. Menambah wawasan dan pengetahuan dalam melakukan *assassment* bangunan.
3. Membantu menyelesaikan masalah yang terjadi di Gudang PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2.
4. Sebagai solusi untuk Gudang PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2 dalam penanganan yang tepat untuk mengatasi permasalahan yang terjadi.
5. Memberi gambaran rencana anggaran biaya yang diperlukan dalam mengatasi penurunan tanah di Gudang PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2.

## 1.6 Sistematika Penelitian

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

### **Bab I : Pendahuluan**

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang dilakukannya penelitian, rumusan masalah, tujuan dari penelitian, manfaat yang diperoleh dalam melakukan penelitian, batasan-batasan yang diberikan di dalam penelitian, serta sistematika penulisan.

### **Bab II : Tinjauan Pustaka**

Bab ini menjelaskan mengenai landasan teori maupun studi literatur yang digunakan dalam melakukan penelitian ini.

### **Bab III : Metodologi Penelitian**

Bab ini menjelaskan waktu dan lokasi penelitian, alat yang digunakan dalam penelitian serta tahap-tahap dalam proses penelitian.

### **Bab IV : Hasil Dan Pembahasan**

Bab ini menjelaskan mengenai hasil dan pembahasan dari penelitian yang dilakukan.

**Bab V : Kesimpulan dan Saran**

Bab ini menjelaskan mengenai kesimpulan yang diperoleh selama melakukan penelitian dan saran-saran yang diberikan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penilaian Struktur (*Assessment Structure*)

Secara umum penilaian struktural adalah suatu proses untuk menentukan, seberapa kuat struktur yang ada mampu memikul beban saat ini dan masa depan dan untuk memenuhi tugasnya untuk jangka waktu tertentu. Langkah pertama dari proses penilaian harus selalu berupa spesifikasi yang jelas dari tujuan penilaian. Ini penting untuk mengidentifikasi status batas yang paling signifikan. Terkait dengan keadaan batas adalah variabel struktural yang akan diselidiki dan dengan itu prosedur penilaian yang akan diterapkan. Berbagai prosedur penilaian yang berbeda ada dengan kompleksitas yang berbeda-beda dan pilihan prosedur yang tepat sangat bergantung pada persyaratan penilaian yang ditentukan. Ada dua tujuan utama untuk melakukan penilaian terhadap struktur yang ada yaitu jaminan keselamatan struktur dan kemampuan layan dan meminimalkan biaya (Rucker et al., 2006).

Secara umum prosedur penilaian dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok yaitu sebagai berikut:

1. Penilaian kemampuan layan berbasis pengukuran

Dalam kategori termasuk rutinitas penilaian tersebut, di mana efek beban tidak ditentukan oleh analisis struktural tetapi langsung oleh pengukuran (misalnya pemantauan kinerja, uji beban bukti). Karena hanya pengukuran kemampuan layan yang dapat ditentukan secara langsung, metode ini hanya dapat memverifikasi kecukupan struktur dalam Status Batas Kemampuan Layani. Ini adalah prosedur dua komponen di mana komponen-komponennya adalah sebagai berikut: (1) pengukuran efek beban (2) verifikasi kemampuan layan Rutin penilaian berbasis pengukuran secara umum tidak rumit. Contoh penerapannya adalah evaluasi tindakan kemudahan servis seperti perpindahan atau perilaku dinamis setelah penggunaan baru atau struktur. Penilaian struktur

yang hampir tidak memadai dan terpantau juga dapat didasarkan pada metode ini. Penilaian berbasis pengukuran tidak begitu penting dan karena itu tidak akan dijelaskan secara rinci dalam pedoman ini.

## 2. Penilaian keselamatan dan kemudahan servis berbasis model

Dalam kategori ini mencakup semua rutinitas penilaian tersebut, di mana efek beban ditentukan oleh analisis struktural berbasis model. Dengan menggunakan metode ini, *Ultimate Limit State* dan *Serviceability State* dapat dimodelkan dan karenanya dinilai. Ini adalah prosedur tiga komponen di mana komponennya adalah sebagai berikut: (1) perolehan data pembebanan dan hambatan (2) perhitungan efek beban pada model struktural (3) verifikasi keselamatan dan kemudahan servis. Sebagian besar aplikasi penilaian diproses berdasarkan model struktural, pengecualian hanyalah penilaian kemampuan servis berdasarkan pengukuran yang disebutkan di atas. Panduan ini akan berfokus terutama pada prosedur penilaian ini. Penjelasan rinci tentang komponen spesifik dan pemilihan metode dalam setiap komponen diberikan di bagian selanjutnya.

## 3. Penilaian nonformal

Dalam kategori ini rutinitas penilaian jatuh yang didasarkan pada pengalaman dan penilaian insinyur penilai. Mereka lebih atau kurang subyektif dan diterapkan hanya luar biasa. Sebagian besar penilaian non-formal dilakukan dalam manajemen struktur, di mana kondisi struktur dievaluasi berdasarkan inspeksi visual. Inspeksi visual merupakan tahap penting dalam investigasi lapangan yang bertujuan untuk mengidentifikasi kerusakan struktural, cacat, atau kegagalan pada elemen bangunan. Inspeksi ini biasanya dilakukan secara langsung oleh tim teknis di lapangan dengan memperhatikan berbagai aspek seperti retakan, deformasi, korosi, atau perubahan bentuk elemen bangunan (Neville, 2011).

## 2.2 Tanah

Tanah adalah material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dari bahan-bahan

organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai zat cair juga gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Braja M. Das, 1995) Selain itu dalam arti lain tanah merupakan akumulasi partikel mineral atau ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan (Craig, 1991).

Peran tanah dalam teknik sipil sangat penting dalam perancangan bangunan.. Umumnya semua bangunan dibangun di atas atau di bawah permukaan tanah, sehingga dasar bangunan harus dirancang dengan struktur yang dapat menopang beban atau gaya yang bekerja melalui bangunan di atasnya. Untuk itu sangat perlu untuk mengetahui jenis tanah digunakan, seperti pasir, kerikil, lanau dan lempung.

### **2.3 Klasifikasi Tanah**

Sistem klasifikasi tanah dimaksudkan untuk memberikan informasi tentang karakteristik dan sifat-sifat fisik tanah serta mengelompokkannya sesuai dengan perilaku umum dari tanah tersebut. Tanah-tanah yang dikelompokkan dalam urutan berdasarkan suatu kondisi fisik tertentu. Tujuan klasifikasi tanah adalah untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, serta untuk menginformasikan tentang keadaan tanah dari suatu daerah kepada daerah lainnya dalam bentuk berupa data dasar. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang lebih terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1997) Ada beberapa jenis sistem klasifikasi tanah yang umumnya digunakan sebagai hasil pengembangan dari sistem klasifikasi yang sudah ada. Beberapa dari sistem ini memperhitungkan distribusi ukuran butiran dan batas-batas Atterberg, sistem-sistem tersebut adalah sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dan sistem klasifikasi tanah berdasarkan USCS (*Soil Classification System*).

## 2.4 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah merupakan pekerjaan / kegiatan untuk mengetahui karakteristik maupun daya dukung tanah beserta kondisi geologinya. Tujuan penyelidikan ini untuk mengetahui susunan lapisan / sifat tanah dan kekuatannya. Adapun tujuan dilakukannya penyelidikan tanah :

1. Untuk mendapatkan informasi kondisi alamiah dari lapisan-lapisan tanah pada lokasi yang ditinjau.
2. Untuk mendapatkan informasi kedalaman muka air tanah.
3. Untuk mendapatkan informasi sifat-sifat fisis dan mekanis tanah atau batuan.
4. Menentukan parameter tanah untuk analisis pondasi dan simulasi proses konstruksi

Penyelidikan tanah dapat dilakukan dalam beberapa metode seperti Sondir (DCP), Uji Boring, Uji Penetrasi Test (N-SPT) dan sebagainya. Dalam hal ini, tanah tersebut diambil untuk dilakukan pengujian di laboratorium, hasilnya akan diketahui tentang sifat dan karakteristik tanah. Untuk lebih jelasnya berikut adalah penjelasan tentang beberapa metode tersebut :

1. Uji tanah di lapangan

Pengujian tanah di lapangan dilakukan dengan menguji tanah pada lokasi secara langsung, pengujian ini bisa dilakukan dengan cara :

- Pengeboran inti / *core drilling* / *boring*  
Metode ini dilakukan dengan mengambil contoh tanah untuk mengetahui lapisan tanah pada lokasi pembangunan yang dilakukan dengan cara pengeboran.
- Uji Conus / Sondir  
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai tahanan konus (qc) terhadap konsistensi tanah di lokasi pembangunan.
- Standart Penetrasi Test (N-SPT)  
SPT (*standard penetration test*) adalah metoda pengujian di lapangan dengan memasukkan (memancangkan) sebuah *Split Spoon Sampler* (tabung pengambilan contoh tanah yang dapat dibuka dalam arah memanjang)

dengan diameter 50 mm dan panjang 500 mm. *Split spoon sampler* dimasukkan (dipancangkan) ke dalam tanah pada bagian dasar dari sebuah lubang bor. Uji *Standard Penetration Test* (SPT) dilakukan pada setiap lubang bor teknik dengan interval pengujian setiap 2,0 m. Pada uji SPT, indikasi tanah keras diartikan sebagai lapisan tanah dengan nilai SPT di atas 50 pukulan / 30,0 cm sebanyak 3 (tiga) kali pada 3 (tiga) kedalaman berturut turut. Prinsip pelaksanaan uji penetrasi standar (SPT) yaitu dengan memukul sebuah tabung standar ke dalam lubang bor sedalam 450 mm menggunakan palu 63,5 kg yang jatuh bebas dari ketinggian 760 mm. Yang dihitung adalah jumlah pukulan untuk melakukan penetrasi sedalam 150 mm. Jumlah yang digunakan adalah pada penetrasi sedalam 300 mm terakhir. Pengujian SPT mengacu pada **SNI 4153:2008 dan ASTM D1586-67**.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian SPT adalah :

1. Mesin bor
2. Mesin pompa
3. *Split barrel sampler*
4. Palu dengan berat 63,5 kg dengan toleransi meleset  $\pm 1\%$
5. Alat penahan (tripod)
6. Rol meter
7. Alat penyipat datar
8. Kerekan
9. Kunci-kunci pipa
10. Tali untuk menarik palu
11. Alat bantu lainnya.

Adapun prosedur uji SPT sesuai Buku Manual Petunjuk Teknis Pengujian Tanah mengacu pada SNI 4153:2008, yang langkahnya adalah sbb:

1. Mempersiapkan lubang bor hingga kedalaman uji
2. Memasukkan alat *split spoon sampler* secara tegak
3. Pastikan hammer jatuh dengan *free falling* (terjun bebas), tanpa ada hambatan sampai menumbuk

4. Menumbuk dengan hammer dan mencatat jumlah tumbukan setiap 15 cm penetrasi. Hammer dijatuhkan secara bebas pada ketinggian 760 mm
5. Nilai tumbukkan dicatat 3 kali ( $N_0$ ,  $N_1$ ,  $N_2$ ) di mana nilai  $N_{spt} = N_1 + N_2$ . *Split spoon sampler* diangkat ke atas dan kemudian dibuka. Sampel yang diperoleh dengan cara ini merupakan sampel yang sangat terganggu
6. Sampel yang diperoleh dimasukkan ke dalam plastik untuk diuji di laboratorium. Pada plastik tersebut harus diberikan catatan nama proyek, kedalaman dan nilai  $N$ .  
Pelaksanaan pengujian dibagi dalam tiga tahap, yaitu berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap. Tahap pertama dicatat sebagai dudukan, sementara jumlah pukulan untuk memasukkan tahap ke dua dan ke tiga dijumlahkan untuk memperoleh nilai pukulan  $N$  atau perlawanan SPT (dinyatakan dalam pukulan per 0,3 m).

## 2. Uji tanah di laboratorium

Pengujian ini dilakukan setelah sampel tanah diambil pada pekerjaan *core drilling* untuk mengetahui karakteristik maupun sifat tanah. Selanjutnya pengujian ini dilanjutkan di laboratorium dan hasilnya akan dikorelasikan dengan hasil pengujian di lapangan untuk menentukan desain dan dimensi pondasi yang efisien dan aman. Jadi pada dasarnya kedua pengujian akan dilakukan dan hasilnya akan saling dikorelasikan untuk memastikan keakuratan hasil.

## 2.5 Penurunan Tanah

Penurunan pada tanah dasar akan terjadi apabila tanah dasar tersebut menerima beban di atasnya. Penurunan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, pergerakan partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori dan penyebab lainnya. Umumnya tanah pada bidang geoteknik terbagi menjadi dua jenis, yaitu tanah granular dan tanah kohesif. Dalam kasus tanah granular (pasir/pasir), air pori dapat dengan mudah keluar dari struktur tanah, karena tanah granular memiliki tingkat permeabilitas yang tinggi. Dalam kasus tanah kohesif (lempung), air pori

membutuhkan waktu lama untuk benar-benar mengalir keluar. Hal ini dikarenakan tanah kohesif memiliki permeabilitas yang rendah. Ada beberapa jenis penurunan yaitu sebagai berikut:

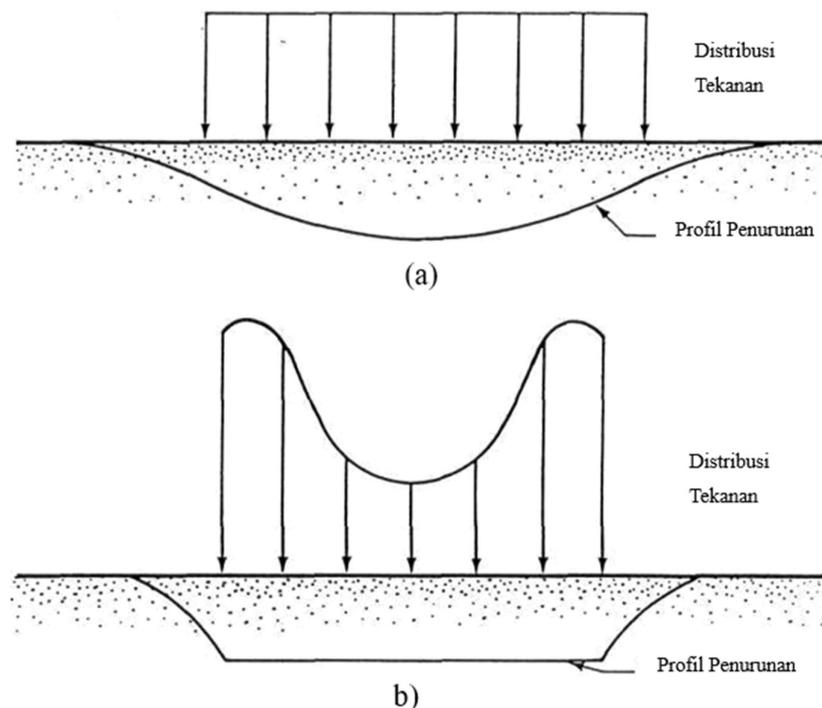
1. Penurunan segera (*immediate settlement*);*Se*

Merupakan penurunan yang terjadi seketika. Penurunan ini terjadi karena sifat elastisitas tanah dan biasanya terjadi selama proses konstruksi berlangsung. Parameter tanah yang diperlukan untuk perhitungan adalah *undrained* modulus dan uji tanah yang diperlukan seperti SPT, Sondir (*dutch cone penetration test*), dan *Pressuremeter test*.

Penurunan ini terjadi dalam kondisi *undrained* (tidak ada perubahan volume).

Penurunan ini terjadi dalam waktu yang sangat singkat saat dibebani secara cepat. Besarnya penurunan elastis ini bergantung pada besarnya koefisien elastisitas kekakuan tanah dan beban timbunan di atas tanah. Gambar 2.5.

(Braja M, 1995)



**Gambar 4.** Profil Penurunan Segera dan Tekanan Kontak pada Lempung:

(a) Pondasi Lentur (b) Pondasi Kaku (Braja M, 1995)

2. Penurunan konsolidasi primer (*primary consolidation settlement*);  $S_c$

Penurunan konsolidasi tergantung pada waktu, yaitu penurunan yang disebabkan oleh keluarnya air pori tanah yang berlebih. Pada penurunan ini, tegangan air pori secara kontinyu berpindah ke dalam tegangan efektif sebagai akibat dari keluarnya air pori. Penurunan konsolidasi ini umumnya terjadi pada lapisan tanah kohesif (*clay* / lempung) .

Penurunan konsolidasi dapat berupa *normal consolidation* ataupun *over consolidation*. *Normal consolidation* adalah tanah dasar alam kondisi alamiah (belum mengalami pembebanan sebelumnya), sedangkan *over consolidation* adalah tanah dasar sudah pernah dibebani/terkena beban sebelumnya.

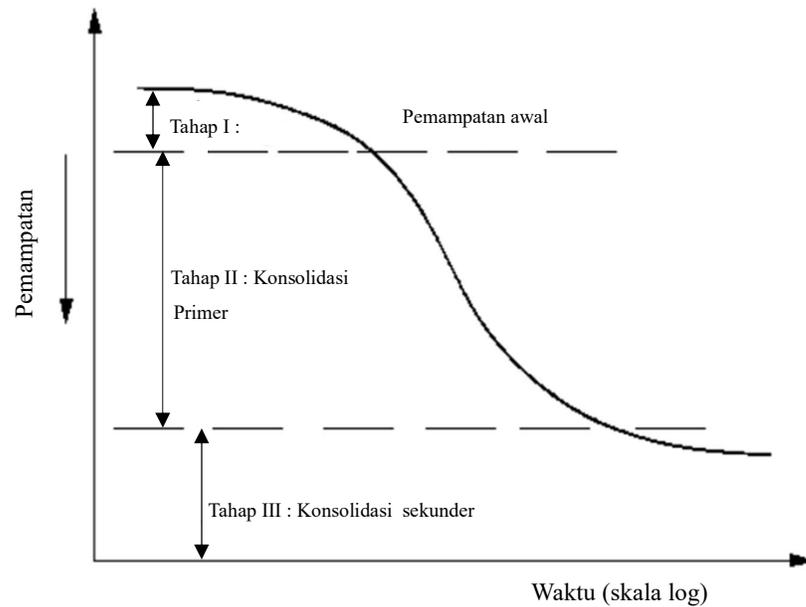
3. Penurunan sekunder (*secondary settlement*);  $S_s$ ,

Penurunan sekunder tergantung pada waktu dan dapat berlangsung dalam waktu yang lama.

Beberapa penyebab terjadinya penurunan akibat pembebanan yang bekerja di atas tanah antara lain:

- Kegagalan atau keruntuhan geser akibat terlampauinya kapasitas dukung tanah,
- Kerusakan atau terjadi defleksi yang besar pada pondasi,
- Distorsi geser (*shear distorsion*) dari tanah pendukungnya,
- Turunnya tanah akibat perubahan angka pori

Jenis tanah sangat mempengaruhi besarnya harga dari masing-masing komponen tersebut. Tanah dengan permeabilitas tinggi, seperti pasir, penurunan segera dan konsolidasi terjadi hampir bersamaan. Hal ini dikarenakan waktu yang dibutuhkan air untuk keluar dari dalam pori akibat pemberian beban berlangsung sangat cepat. Sedangkan tanah yang permeabilitasnya rendah, seperti tanah lempung, penambahan tekanan air pori yang disebabkan oleh pembebanan akan berkurang secara lambat dan dalam jangka waktu yang sangat lama. Oleh karena itu penurunan konsolidasi akan terjadi setelah penurunan segera.



**Gambar 5.** Grafik Waktu-Pemampatan Selama Konsolidasi untuk Suatu Penambahan Beban yang Diberikan

## 2.6 Penurunan Bangunan

Beberapa kajian teoritis di dalam literatur menyebutkan penurunan pada bangunan dapat terjadi setempat, sebagian atau secara keseluruhan dan dapat diakibatkan oleh beberapa faktor sebagai berikut:

### 1. Penurunan yang merata (*Uniform Settlement*)

Tanah di suatu lokasi mempunyai kepadatan tertentu yang tergantung pada jenis tanah dan kandungan air yang ada di dalam tanah atau air di lingkungannya. Tanah akan berubah kepadatannya bila mengalami pembebanan atau dengan kata lain tanah akan terkonsolidasi. Bila tanah memiliki sifat yang seragam, maka akan menghasilkan penurunan akibat terkonsolidasi dengan besaran yang sama atau seragam. Kondisi ini tidak akan mempengaruhi stabilitas struktur, hanya bila besaran penurunan tidak diperhitungkan akan dapat mempengaruhi penampilan bangunan dari segi arsitektur.

## 2. Penurunan yang tidak merata (*Differential Settlement*)

Penurunan yang tidak merata dapat terjadi bila sifat tanah di bawah bangunan tidak homogen baik akibat proses pembentukannya secara alamiah ataupun akibat proses galian dan timbunan (*cut and fill*), dan reklamasi. Pembebanan yang diberikan di atas permukaan tanah dapat mengakibatkan pemampatan pada lapisan tanah di bawahnya. Karena sifat alami tanah dan faktor dari kekakuan strukturnya menyebabkan pemampatan yang terjadi di titik tengah beban memiliki besar pemampatan yang berbeda dengan di titik lain selain di titik tengah beban sehingga perlu adanya perhitungan kemungkinan terjadinya perbedaan pemampatan (*differential settlement*). Perbedaan pemampatan tersebut perlu diperhitungkan agar tidak merusak struktur di atasnya.

## 3. Liquefaksi (*Liquifaction*)

Penurunan bangunan gedung hampir pasti tidak berkaitan dengan liquefaksi karena kerusakan gedung tidak disebabkan oleh gempa. Kerusakan liquefaksi merupakan pengaruh ikutan peristiwa gempa sebagaimana gelombang tsunami. Fenomena ini biasanya terjadi bila gempa terjadi dengan besaran intensitas lebih besar daripada 7 Skala Richter. Liquefaksi adalah peristiwa di mana tanah di bawah bangunan berubah menjadi bubur akibat terlampauinya tegangan air tanah ketika gempa terjadi. Tanah yang mengalami liquefaksi biasanya adalah tanah berpasir dengan gradasi butiran yang halus dan seragam.

## 2.7 Tingkat Kerusakan Bangunan

Pengklasifikasian tingkat kerusakan bangunan dapat ditentukan dengan cepat berdasarkan penurunan (*settlement*), kemiringan/inklinasi, dan tingkat kerusakan komponen bangunan seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Kriteria Peringkat Kerusakan Komponen Struktur Beton dan Beton Pracetak ((Sjafei Amri, 2006)

TINGKAT	DESKRIPSI KERUSAKAN
I	Retak rambut di permukaan beton terlihat dari jarak tidak terlalu jauh (lebar Retakan < 0.2mm)
II	Retakan di permukaan beton terlihat dengan mata telanjang (lebar retakan kira-kira 0.2 – 1.0 mm)
III	Selimut beton hancur di sebagian tempat Retakan besar meluas (lebar retakan E1 – 2 mm)
IV	Selimut beton hancur dalam jumlah besar dan baja tulangan terlihat Selimut beton meletus ( <i>spalling</i> )
V	Baja tulangan tertekuk Beton pada inti penampang hancur Deformasi pada kolom dan dinding terlihat <i>Settlement</i> dan / atau inklinasi pada lantai terlihat

**Tabel 2.** Pengklasifikasian Kerusakan (Sjafei Amri, 2006)

No	Uraian	Kecil	Sedang	Berat	Runtuh/ Guling
1	Berdasarkan nilai <i>settlement</i> bangunan	$S < 0.2 \text{ m}$	$0.2 < S < 1 \text{ m}$	$1 < S$	-
2	Berdasarkan inklinasi bangunan	$\theta < 1/100$ rad	$1/100 \text{ rad} < \theta$ < 3/100	$3/100 \text{ rad} < \theta$ < 6/100	$6/100 < \theta$
3	Berdasarkan kerusakan komponen struktur	$D < 5$	$S < D < 10$	$10 < D < 50$	$D < 50 < D$

## 2.8 Perbaikan Tanah

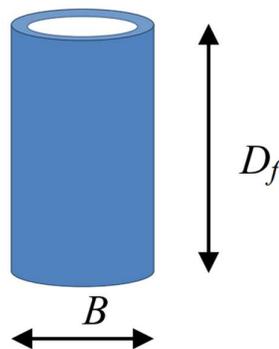
Perbaikan tanah merupakan suatu proses atau serangkaian tindakan yang dilakukan untuk meningkatkan kualitas atau karakteristik tanah di suatu lokasi. Tujuan utama dari perbaikan tanah adalah untuk meningkatkan daya dukung, stabilitas, drainase,

atau sifat-sifat tanah lainnya untuk memenuhi kebutuhan proyek konstruksi atau rekayasa geoteknik yang diinginkan.

Metode perbaikan tanah dapat mencakup berbagai teknik dan teknologi, bergantung pada kondisi tanah yang ada dan tujuan perbaikan yang diinginkan. Adapun perbaikan tanah yang dapat dilakukan yaitu sebagai berikut:

### 2.8.1 Pondasi Sumuran (*Caisson*)

Pondasi *caisson* sering dibuat dalam bentuk silinder sehingga umumnya disebut pondasi sumuran karena bentuknya menyerupai sumur (Hardiyatmo, 2006). *Caisson* adalah pondasi tiang yang berupa lubang, di mana diameter lubang ini cukup besar, sehingga memungkinkan untuk dimasuki orang (diameter 30 inci atau lebih) (Bowles, 1997). Menurut (Hardiyatmo, 2006), *caisson* merupakan peralihan dari pondasi dangkal ke pondasi dalam.



**Gambar 6.** Pondasi Sumuran

Ada dua macam pondasi kaisan yakni pondasi kaisan bor dan kaisan (Hardiyatmo, 2006). Pembuatan pondasi kaisan bor diawali dengan proses pengeboran dan dilanjutkan dengan pengecoran beton. Untuk memperbesar kapasitas daya dukung, dasar kaisan dapat diperbesar menurut bentuk lonceng. Sedang pondasi kaisan yang berbentuk silinder atau kotak beton dibuat dengan membenamkan silinder beton di tempatnya, bersamaan dengan penggalian tanah.

Asumsi dalam perhitungan daya dukung pondasi sumuran adalah kapasitas dukung pondasi disumbangkan oleh tahanan ujung pondasi dan tahanan gesek dinding. Kapasitas daya dukung pondasi dengan asumsi ini dapat ditentukan dari persamaan 2 berikut ini ((Hardiyatmo, 2006)

$$Q_u = Q_s + Q_b \dots \dots \dots (6)$$

dengan:

$Q_s$  =  $A_s \alpha_{dc}$  = tahanan adhesi dinding tiang (kN)

$C$  = kohesi tanah rata-rata di sekitar pondasi kaison ( $\text{kN/m}^2$ )

$A_d$  = faktor adhesi (nilainya di antara 0,35 – 0,45)

$Q_b$  =  $A_b (c_b N_c + D_f)$  = tahanan dukung ujung tiang (kN)

$C_b$  = kohesi tanah di bawah dasar pondasi ( $\text{kN/m}^2$ )

$D_f$  = kedalaman pondasi (m)

$A_b$  = luas dasar kaison ( $\text{m}^2$ )

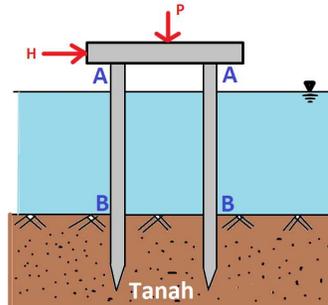
$Q_u$  = beban ultimit pada kaison (kN)

### 2.8.2 Pondasi Mini Pile

Pondasi mini pile merupakan modifikasi dari pondasi tiang pancang beton pracetak berupa beton prategang (*precast prestressed concrete pile*) ataupun beton bertulang (*precast reinforced concrete pile*) dengan dimensi yang lebih kecil dari ukuran standart. *Precast Reinforced Concrete Pile* adalah tiang pancang terbuat dari beton bertulang yang dicetak dan di cor dalam acuan beton (bekisting), kemudian setelah keras diangkat lalu dipancangkan. Tiang pancang ini mampu memikul beban yang besar (lebih besar 50 ton untuk setiap tiang), ini tergantung dari dimensinya (Sardjono, 1991) Sedangkan *precast prestressed concrete pile* adalah tiang pancang yang dibentuk dengan menekan baja berkekuatan tinggi, yakni yang mempunyai fult sebesar I 705 sampai I 860 Mpa, dengan mempertegangkan kabel-kabel ke suatu nilai pada orde 0,5 sampai 0,7 fult. serta denan tiang-pancang beton di sekitar kabel tersebut. Bila beton mengeras, maka kabel-kabel prategang dipotong dengan gaya tegangan di dalam kabel yang menghasilkan tegangan tekan dalam tiang-pancang beton sewaktu baja tersebut mencoba kembali kepanjang tak teregang (*unstretched length*) (Bowles, 1997)

Dengan dimensi mini pile yang kecil, luas penampang dan volume beton sebagai material tiang juga akan relatif kecil, dan jumlah mini pile yang diangkut dalam satu trailer akan lebih banyak dari tiang pancang ukuran standar. Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa mini pile dapat mengurangi biaya bahan baku untuk

membuat tiang pancang dan mengangkat tiang pancang. Karena dimensinya yang relatif kecil, mini pile dapat diatur secara kompak dan ringan, juga dapat dengan mudah dibongkar sehingga dapat dilakukan kapan saja



**Gambar 7.** Pondasi Mini Pile

Daya dukung mini pile dapat diperoleh dari daya dukung ujung (*end bearing capacity*) yang mana diperoleh dari tekanan ujung tiang dan daya dukung selimut (*friction bearing capacity*) yang diperoleh daya dukung gesek antara mini pile dengan tanah di sekelilingnya. Sama seperti pondasi tiang pancang lainnya, mini pile tidak bekerja sebagai tiang tunggal dalam menerima beban melainkan sebagai kelompok tiang yang disambung oleh pile cap. Ukuran pile cap tergantung dari jumlah, jarak antar tiang, formasi yang direncanakan.

Pada dasarnya mini pile mempunyai prinsip dan sifat yang sama dengan tiang pancang beton biasa, maka kapasitas dukung mini pile dapat dihitung sebagai tiang individu dan kelompok, efisiensi kelompok tiang, formasi tiang, serta *settlement* yang terjadi. Untuk menghitung kapasitas daya dukung bisa menggunakan rumus-  
rumus perhitungan seperti yang diaplikasikan pada tiang pancang beton pracetak ukuran standart. Adapun rumus untuk menghitung daya dukung yaitu sebagai berikut:

$$Q_u = Q_p + Q_s - W_p \dots \dots \dots (7)$$

$$= A_p \cdot q_p + \sum f_s \cdot A_s - A_p \cdot L \cdot \gamma_{\text{beton}}$$

dengan :

$Q_u$  = Kapasitas dukung ultimate tiang (kN)

$Q_p$  = Kapasitas dukung ujung tiang (kN)

$Q_s$  = Kapasitas selimut tiang (kN)

$A_p$  = Luas penampang tiang bor ( $\text{cm}^2$ )

$Q_p$  = Nilai tahanan ujung tiang persatuan luas penampang tiang ( $\text{kN/m}^2$ )

- As = Luas penampang sisi tiang ( $m^2$ )  
 Fs = Tahanan gesek persatuan luas ( $kN/m^2$ )  
 Wp = Berat tiang (kN)

## 2.9 Estimasi Biaya

Estimasi biaya merupakan suatu langkah untuk memperkirakan jumlah biaya yang diperlukan untuk melakukan suatu pekerjaan dengan didasarkan informasi yang tersedia pada waktu tertentu (Waluyo et al. 2021).

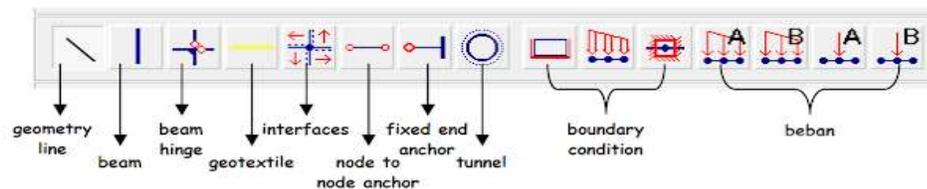
Perhitungan biaya perbaikan kerusakan bangunan yang dibutuhkan untuk memperbaiki kerusakan pada bangunan didapat dengan analisis sebagai berikut:

1. Harga perbaikan komponen bangunan, harga perbaikan kerusakan gudang dihitung berdasarkan data volume tiap-tiap kerusakan yang ada dengan metode analisa harga satuan.
2. Harga pembangunan baru komponen bangunan, harga pembangunan baru kerusakan yang terjadi pada gedung dihitung berdasarkan data volume tiap-tiap kerusakan yang ada dengan metode analisa harga satuan. Perhitungan harga pembangunan baru komponen bangunan berfungsi sebagai pembanding analisa harga perbaikan komponen bangunan yang telah dihitung sebelumnya. Metode analisa harga satuan adalah pekerjaan menguraikan suatu perhitungan harga satuan upah, tenaga kerja, dan bahan, serta pekerjaan yang secara teknis dirinci secara detail berdasarkan suatu metode kerja dan asumsi-asumsi yang sesuai dengan yang diuraikan dalam suatu spesifikasi teknis, gambar desain dan komponen harga satuan baik untuk kegiatan rehabilitasi/ pemeliharaan maupun peningkatan infrastruktur.

## 2.10 *Plaxis 2D*

PLAXIS (*Finite Element Code For Soil and Rock Analysis*) adalah program permodelan dan postprocessing metode elemen hingga yang mampu melakukan analisis masalah-masalah geoteknik dalam perencanaan sipil. Metode elemen hingga (*finite element method*) pertama kali dikenalkan oleh Clough & Woodward,

1967, tapi penggunaannya terbatas pada struktur dari material tanah yang kompleks.. Plaxis 2D ini dikembangkan oleh Bentley Systems dan dirancang untuk memodelkan perilaku tanah, batuan, dan struktur dalam berbagai kondisi geoteknik. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, program PLAXIS digunakan sebagai program bantu dalam analisa *settlement*.



**Gambar 8.** Fitur-fitur yang Ada Didalam *Plaxis 2D*

Adapun fitur-fitur yang terdapat dalam *Plaxis 2D*, yaitu sebagai berikut

1. *Geometry*, yaitu input program berupa lapisan tanah, struktur, langkah konstruksi, pembebanan, dan kondisi batas yang dimasukkan dalam bentuk grafis (CAD), sehingga diharapkan pemodelan yang akurat dan mendetail dari kondisi sebenarnya di lapangan dapat tercapai.
2. *Beams*, yaitu struktur balok yang khusus digunakan sebagai dinding penahan tanah, struktur terowongan dan struktur ramping lainnya. Perilaku struktur tersebut didefinisikan dengan tingkat kelenturan, kekakuan dan ultimate bending moment. Sendi plastis dapat segera terbentuk jika momen mencapai batas ultimate.
3. *Interfaces*, yaitu elemen sambungan yang diperlukan dalam kalkulasi dimana terjadi interaksi tanah dan struktur. *Interface* digunakan untuk mensimulasikan lapisan tipis dimana terjadi geser seperti pada alas pondasi, tiang, geotekstil, dinding penahan tanah dan lain – lain.
4. *Anchors*, yaitu dimodelkan sebagai elemen pegas elastoplastis. Perilaku elemen ini didefinisikan dengan tingkat kekakuan dan gaya yang dapat diterima. Analisis dapat dilakukan untuk angkur *prestressed*.
5. *Geotextile* yaitu elemen yang disimulasikan secara khusus oleh plaxis sebagai elemen dengan tahanan tarik. *Geotextiles* dan *geogrid* umumnya digunakan pada konstruksi perkuatan tanah atau pada struktur penahan tanah.
6. *Tunnels*, dalam pemodelan terowongan ini plaxis memiliki pilihan parabolik dan non-parabolik. *Beams* dan *interfaces* dapat dimasukkan ke dalam permodelan struktur terowongan dan interaksinya dengan lapisan tanah sekitar.

## 2.11 Penelitian Terdahulu

1. Penelitian Pranoto & Setiabudi (2017) yang berjudul Evaluasi Penurunan Gedung dan Metode Perbaikannya (Studi Kasus: Kantor Pos Balikpapan) menunjukkan hasil bahwa penyebab utama penurunan gedung adalah tidak adanya pondasi dalam pada gedung tersebut. Gedung kantor pos Balikpapan ini harus segera dilakukan perkuatan pada pondasi gedung. Adapun metode perbaikan dilakukan dengan memasang borepile di sekitar gedung tersebut kemudian menyatukan dengan gedung utama.
2. Penelitian Surbakti et al. (2021) yang berjudul Prediksi Penurunan Konsolidasi Tanah Lunak Dengan Metode Analitis Dan Metode Element Hingga menunjukkan hasil bahwa perhitungan penurunan konsolidasi menggunakan teori analitis relatif mendekati penurunan hasil actual di lapangan dengan persentase perbedaan penurunan 1,611%. Terdapat perbedaan penurunan akibat data laboratorium tidak mewakili keseluruhan lapisan tanah. Namun jika dibandingkan dengan metode elemen hingga menggunakan Plaxis, maka hasil perhitungan menggunakan Plaxis lebih mendekati penurunan actual lapangan. Hal ini dikarenakan pada Program plaxis sudah memperhitungkan sampai konsolidasi sekunder tanah akibat deformasi partikel sedangkan teori Terzaghi hanya sampai penurunan primer.
3. Penelitian (Giatmajaya, 2017) yang berjudul Analisa Setlemen Cara Analitis Dan Metode Finite Element Pada Tanah Lunak Dengan Software Sebagai Alat Bantu menunjukkan hasil bahwa terjadi perbedaan hasil perhitungan secara analisis dengan finite element dengan software sebagai alat bantu. Perhitungan dengan finite element dengan software sebagai alat bantu waktu penurunan tidak bisa diketahui sedangkan dengan cara analisis dapat dihitung. Penurunan yang dapat dibaca dengan cara finite element dengan software plaxis pada setiap tahapan penimbunan, sedangkan dengan cara analisis, bisa dihitung penurunan total begitu pula pada setiap tahapan penimbunan.
4. Penelitian Pasaribu & Hutapea (2017) yang berjudul Analisis Deformasi Dan Penurunan Tanah Pada Galian Dalam Dengan Metode Elemen Hingga Melalui Studi Evaluasi Model Tanah menunjukkan hasil bahwa besarnya deformasi

horizontal yang diperoleh menggunakan model tanah *Hardening Soil* secara umum lebih mendekati dengan hasil monitoring dilapangan dibandingkan dengan model tanah Mohr-Coulomb. Besarnya deformasi maksimum yang terjadi pada tiap tahap konstruksi galian dalam dengan menggunakan model *Hardening Soil* menunjukkan hasil deformasi yang lebih kecil daripada model Mohr-Coulomb baik pada Plaxis 3D maupun Plaxis 2D. Deformasi vertikal atau penurunan tanah yang diperoleh menggunakan model tanah *Hardening Soil* maupun Mohr-Coulomb pada kondisi *undrained (short term)* memberikan hasil yang cukup masuk akal. Penurunan tanah di area yang lebih dekat dengan konstruksi galian menunjukkan hasil penurunan tanah lebih besar dibandingkan dengan yang lebih jauh dari area konstruksi meskipun nilainya masih jauh lebih besar daripada hasil monitoring dilapangan. Hasil dari analisis *drained* menunjukkan nilai yang lebih besar dari kondisi *undrained* meskipun nilai yang dihasilkan tidak jauh berbeda.

5. Penelitian Surbakti (2021) yang berjudul Analisis Penurunan Tanah Dengan Plaxis 2d Dan 3d Pada Proyek Reklamasi Belawan menunjukkan hasil bahwa penurunan konsolidasi menggunakan pemodelan Plaxis 3D memberikan hasil yang lebih mendekati keadaan sebenarnya di lapangan dibandingkan dengan pemodelan Plaxis 2D. Hasil perhitungan dan pola penurunan tanah dengan Plaxis 3D lebih akurat dibandingkan dengan hasil perhitungan Plaxis 2D. Plaxis 3D lebih mendekati kondisi sebenarnya di lapangan dikarenakan pergerakan tanah dianalisis ke sumbu x, y dan z yang merupakan gambaran sebenarnya lapangan. Penelitian berikutnya dapat diteliti efek penggunaan alat pancang PVD (*smear zone*) terhadap permeabilitas tanah dasar terhadap besar penurunan tanah yang terjadi.
6. Penelitian Susiazti et al. (2020) yang berjudul Analisis Penurunan Konsolidasi Metode *Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain* (PVD) menunjukkan hasil bahwa analisis perhitungan secara manual pada kondisi asli tanpa adanya metode perbaikan tanah diperoleh besarnya penurunan yang terjadi adalah 0,0306 m dalam waktu 7,11 tahun. 2. Dari hasil perhitungan secara manual menggunakan sistem preloading diperoleh besarnya penurunan yang terjadi adalah 0,0308 m dalam waktu 7,11 tahun. Waktu kondisi asli dan sistem

preloading sama karena yang mempengaruhi waktu pada penurunan adalah nilai  $C_v$  (koefisien konsolidasi) sedangkan dengan analisis menggunakan PLAXIS didapat hasil besar penurunan 0,048 m dalam waktu 7,11 tahun. Dari hasil analisis yang dilakukan dengan menggunakan pola pemasangan PVD segiempat dengan variasi jarak 1,2 m; 1,4 m; 1,5 m; 1,6 m. Jarak pemasangan yang paling efisien adalah 1,2 m karena lebih cepat daripada jarak yang lain yaitu 25 hari. Dari hasil analisis yang dilakukan dan dengan data lapangan di dapatkan selisih waktu 6 hari dengan selisih besar penurunan 0,06 mm.

7. Penelitian Latief et al. (2023) yang berjudul Analisis Penurunan Tanah Timbunan Menggunakan Metode Elemen Hingga pada Ruas Jalan Tolango-Bulontio STA 47+600 menunjukkan hasil bahwa analisis menggunakan Plaxis 2D V20 nilai penurunan pada tanah timbunan tanpa geotekstil diketahui bahwa nilai penurunan paling besar terjadi pada lapisan tanah timbunan atau pada titik A sebesar 0,033 m, sedangkan nilai penurunan terkecil terjadi pada titik B dari analisis menggunakan Plaxis 2D V20 nilai penurunan pada tanah timbunan tanpa geotekstil diketahui bahwa nilai penurunan paling besar terjadi pada lapisan tanah timbunan atau pada titik A sebesar 0,033 m, sedangkan nilai penurunan terkecil terjadi pada titik B
8. Penelitian Zhafirah & Ferdiawan, (2022) yang berjudul Penurunan Tanah Berdasarkan Hasil Uji Konsolidasi di Laboratorium menunjukkan hasil bahwa besarnya penurunan yang terjadi di Ruas Jalan Garut –Bungbulang sebesar 0,0105 m dan waktu penurunan selama 480 tahun. Meskipun penurunan tanah yang terjadi tidak terlalu besar, namun lamanya penurunan tanah berlangsung memakan waktu yang lama yang dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur keras jika tidak segera ditangani. Maka diperlukan analisis perbaikan tanah agar kerusakan di masa yang akan datang tidak terjadi.
9. Penelitian Rahmawati et al (2018) yang berjudul Alternatif Perencanaan Perbaikan Struktur Pondasi Pada Gudang No.3 PT0. AKR Corporindo TBK Di Margomulyo menunjukkan hasil bahwa kondisi tiang pancang eksisting pada bagian tepi tidak aman untuk menerima beban di atasnya, hal tersebut dapat diketahui dari nilai SF tiang pancang eksisting yaitu 1,67 (kurang dari SF=3). Hasil analisa penurunan dan stabilitas gudang pada kondisi eksisting gudang

dengan menggunakan program plaxis 8.2, didapatkan bahwa gudang hanya dapat menerima beban timbunan bubuk soda setinggi 3 m. Metode pelaksanaan yang dipilih untuk melakukan perbaikan pondasi tiang pancang dibawah gudang PT. AKR Corporindo ini adalah metode *injection* tiang pancang alasannya adalah gudang terletak di kawasan industri sehingga diperlukan metode yang tidak menimbulkan kebisingan dan getaran agar tidak mengganggu kenyamanan sekitar.

10. Penelitian Mujarofik et al., 2020 yang berjudul Analisa *Settlement* Pada Pembangunan Gudang PT. Hansa Pratama Balongbendo Sidoarjo Berbasis Plaxis menunjukkan hasil bahwa perbandingan daya dukung ultimit aksial tiang pancang diameter 0,3 meter dengan panjang 12 meter berdasarkan SPT dan Metode Elemen Hingga didapatkan  $q_u$  sebesar 317.40 ton. Nilai daya dukung lateral ( $H_u$ ) berdasarkan Metode *Broms* diperoleh nilai secara analitis sebesar 12.44 ton dan grafis 11,81 ton. Selain itu hasil perhitungan penurunan elastis tiang tunggal diperoleh bentuk tiang apung 0,20 cm, tiang dukung ujung 0,29 cm, elastis tiang 0,92 cm, dan metode elemen hingga 0,98 cm. Diperoleh juga penurunan efisiensi kelompok tiang ( $E_g$ ) sebesar 0,65, maka hasil perhitungan daya dukung ultimate kelompok tiang berdasarkan SPT sebesar 4945,20 ton, sedangkan menggunakan plaxis sebesar 4206,21 ton.

**Tabel 3.** Referensi Penelitian Terdahulu

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode	Teknik
		Perbaikan	Analisis Data
Yudi Pranoto dan Riza Setiabudi	Evaluasi Penurunan Gedung dan Metode Perbaikannya (Studi Kasus: Kantor Pos Balikpapan)	Pondasi Bore Pile	Analisis Struktur Kondisi Eksisting
Rudianto	Prediksi Penurunan Konsolidasi Tanah Lunak Dengan Metode Analitis Dan Metode Element Hingga	<i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD)	Analisis Penurunan
I Wayan Giatmajaya	Analisa Setlemen Cara Analitis Dan Metode Finite Element Pada Tanah Lunak Dengan Software Sebagai Alat Bantu	-	Analisis Penurunan
Hadianti Muhdinar	Analisis Deformasi Dan Penurunan Tanah Pada Galian Dalam Dengan Metode Elemen Hingga Melalui Studi Evaluasi Model Tanah	-	Analisis Deformasi Dan Penurunan
Pasaribu dan Bigman MARIHAT HUTAPEA			
Rudianto	Analisis Penurunan Tanah Dengan Plaxis 2d Dan 3d Pada Proyek Reklamasi Belawan	<i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD)	Analisis Penurunan
Heny Susiazti , Masayu Widiastuti,	Analisis Penurunan Konsolidasi Metode <i>Preloading</i> Dan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD)	<i>Preloading</i> Dan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD)	Analisis Penurunan
Rusfina Widayati			
I.P. Latief, I.M. Patuti dan F. Achmad	Analisis Penurunan Tanah Timbunan Menggunakan Metode Elemen Hingga pada Ruas Jalan Tolango-Bulontio STA 47+600	Geotekstil	Analisis Penurunan
Fedriawan, Athaya Zhafirah	Penurunan Tanah Berdasarkan Hasil Uji Konsolidasi di Laboratorium	-	Analisis Penurunan

**Tabel 4.** Referensi Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode	Teknik
		Perbaikan	Analisis Data
Dyah Rahmawati,	Alternatif Perencanaan	Pondasi	Analisis
Musta'in Arif dan Trihanyndio Rendy Satrya	Perbaikan Struktur Pondasi Pada Gudang No.3 Pt.Akr Corporindo Tbk Di Margomulyo	Tiang Pancang	Penurunan dan Estimasi Biaya
Fuad Mujarofik, Diah	Analisa Settlement Pada	-	Analisis
Sarasanty, dan Erna Tri Asmorowati	Pembangunan Gudang Pt. Hansa Pratama Balongbendo Sidoarjo Berbasis Plaxis		Penurunan

Perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang yaitu penelitian terdahulu menganalisa penurunan tanah menggunakan plaxis 2d dan juga ada yang menggunakan plaxis 3d, metode analisa yang digunakan berbeda-beda, dan sebagian besar penelitian terdahulu hanya menganalisa penurunan tanah saja tanpa merencanakan metode dan estimasi biaya perbaikan penurunannya. Sedangkan pada penelitian yang akan saya lakukan yaitu menganalisa penurunan tanah dengan menggunakan metode elemen hingga (plaxis 2D) dan juga merencanakan metode serta estimasi biaya perbaikannya.

### III.METODE PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi Penelitian

Objek penelitian atau data-data yang digunakan pada skripsi ini berasal dari Gudang PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2 yang berlokasi di Jalan Yos Sudarso, Kelurahan Pidada, Kota Bandar Lampung.



**Gambar 9.** Lokasi Penelitian  
(Sumber : Google Earth Pro)



**Gambar 10.** Tampak Atas Gudang Biru  
(Sumber: Survei Penelitian, 2023)



**Gambar 11.** Tampak Depan Gudang Biru  
(Sumber: Survei Penelitian, 2023)



**Gambar 12.** Tampak Belakang Gudang Biru  
(Sumber: Survei Penelitian, 2023)

### 3.2 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan penelitian yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- Plaxis 2D

Program ini digunakan dalam memodelkan dimensi pekerjaan yang mana dalam hal ini diperlukan data-data sebagai penunjang. Adapun data-data yang diperlukan untuk proses analisis yaitu data diperoleh dari hasil laboratorium dan pengujian lapangan yang dilakukan pada proyek tersebut.

- *Autocad*  
Program ini digunakan untuk mendesain perencanaan pondasi sumuran yang tepat untuk perbaikan tanah tersebut.
- *Microsoft Excel*  
Program ini digunakan untuk mengolah dan menghitung data penurunan tanah serta analisis perbaikannya. Selain itu, program ini juga digunakan untuk menghitung rencana anggaran biaya yang diperlukan dalam mengatasi permasalahan yang terjadi.

### **3.3 Prosedur Penelitian**

Prosedur pengerjaan tugas akhir disusun secara sistematis dan terarah yang digunakan sebagai suatu kerangka dalam tugas akhir ini. Adapun prosedur pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

#### **3.3.1 Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan berbagai informasi yang diperlukan dalam pelaksanaan penelitian. Literatur yang digunakan berupa buku, jurnal, tesis, proceeding, tugas akhir yang memiliki konsep yang sesuai dengan penelitian, serta literatur lain yang berhubungan dengan pokok bahasan.

#### **3.3.2 Pengumpulan Data**

Data-data yang digunakan untuk pengolahan data dalam tugas akhir ini terdiri dari:

##### **1. Data primer**

Data primer adalah data yang didapatkan dari hasil survei dan pengamatan mengenai kondisi yang ada di lapangan. Pada penelitian ini, data primer didapatkan dari hasil survei dan investigasi secara langsung di lapangan dengan pengamatan visual dan pengujian material dengan *Standard Penetrasi Test* (SPT).

##### **2. Data sekunder**

Data sekunder adalah data pendukung yang didapatkan dari beberapa sumber atau instansi-instansi tertentu. Pada penelitian ini, data sekunder yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

- a. Data perencanaan bangunan gudang
- b. Data uji laboratorium (kadar air, berat isi, dll)
- c. Data topografi
- d. Data Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) tahun 2023
- e. Data harga satuan upah dan bahan untuk Kota Bandar Lampung tahun 2023.

### **3.3.3 Prosedur Penelitian**

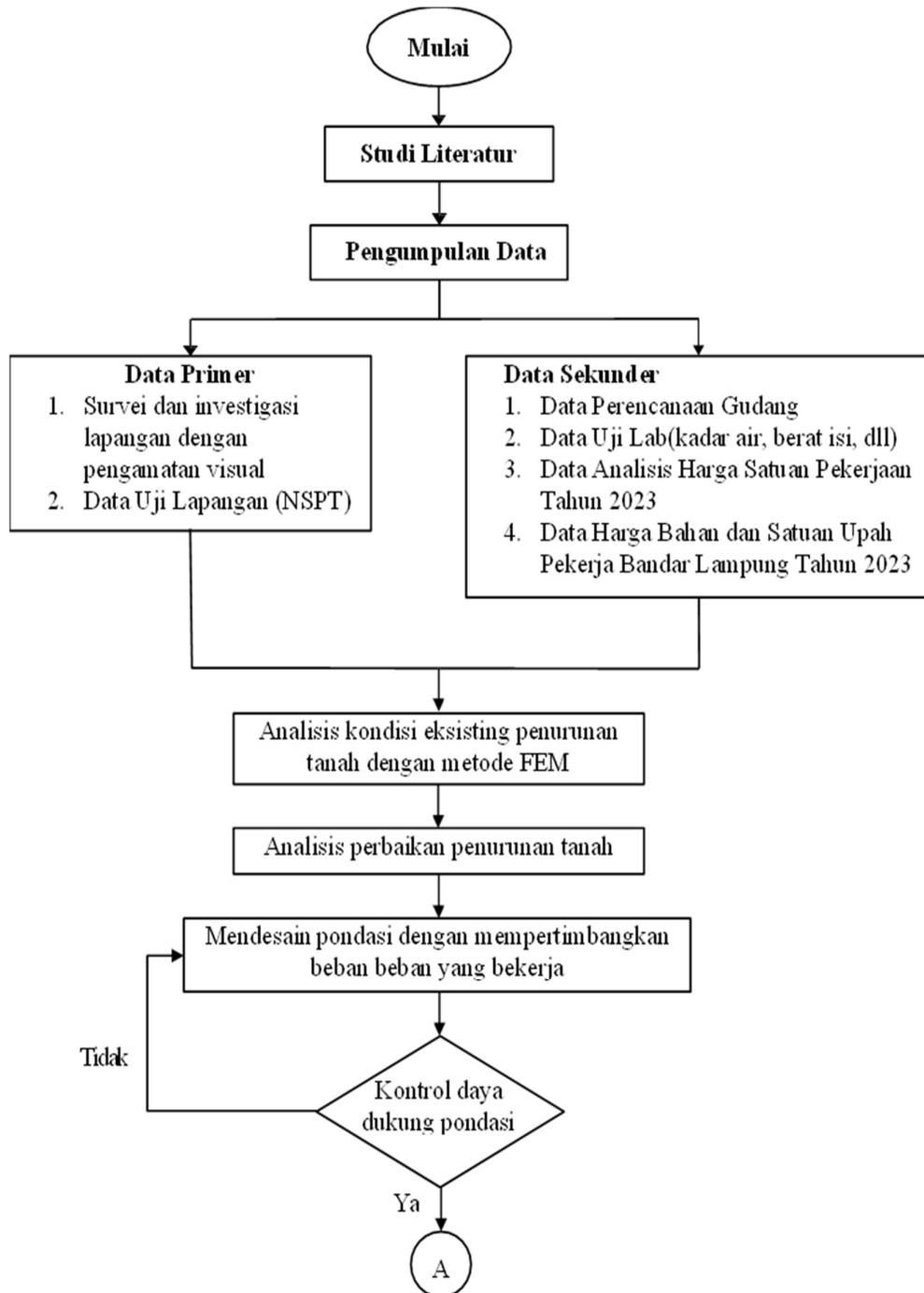
Prosedur penelitian yang dilakukan dalam evaluasi ini berupa meninjau pengujian lapangan, analisis penurunan dan serta perkuatan dengan menggunakan software plaxis 2D. Beberapa tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

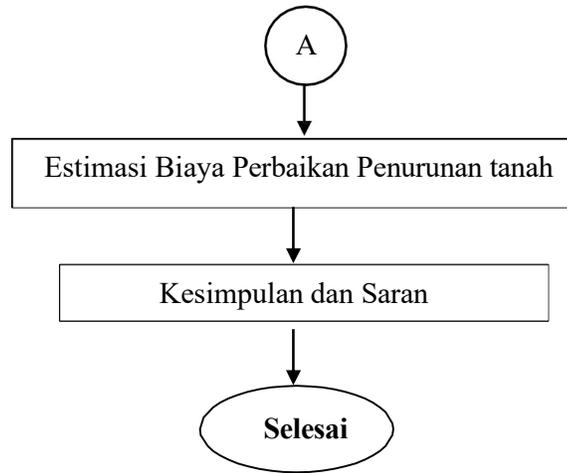
1. Melakukan pengamatan secara langsung untuk mengetahui kondisi penurunan tanah yang terjadi di lokasi Penelitian.
2. Meninjau pengujian material tanah dengan metode *Standard Penetrasi Test* (SPT).
3. Mengkorelasi hasil uji N-SPT dan uji laboratorium dengan sifat fisik dan mekanis tanah menggunakan *Microsoft Excel*.
4. Menganalisis penurunan tanah yang terjadi menggunakan *software plaxis 2D* guna mengevaluasi dan mendapatkan metode perbaikan yang tepat untuk mengatasi penurunan tersebut.
5. Menentukan desain perencanaan perbaikan tanah berdasarkan hasil evaluasi kondisi eksisting tanah.
6. Melakukan analisis perencanaan dengan metode perbaikan tanah yang dipilih. Mengontrol stabilitas gudang dengan membandingkan besar penurunan sesudah diberi perbaikan dengan batas penurunan yang diizinkan.
7. Menghitung jumlah seluruh material yang digunakan serta mengestimasi biaya perbaikannya.

### **3.3.4 Kesimpulan dan Saran**

Membuat kesimpulan yang didapatkan dari analisis tugas akhir ini. Kemudian diberikan saran yang berguna sebagai referensi untuk pembahasan yang akan dilakukan selanjutnya.

### 3.4 Diagram Alir Penelitian





**Gambar 13.** Gambar Alir Penelitian

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kondisi eksisting tanah pada gudang ini diketahui telah terjadi penurunan tanah yang menyebabkan berbagai kerusakan struktural, seperti perbedaan elevasi lantai, retak dan pengelupasan beton pada kolom pedestal, korosi pada rangka baja, cat terkelupas, serta kerusakan penutup atap. Berdasarkan analisis menggunakan *software* PLAXIS 2D dan pengukuran topografi, penurunan tanah telah melampaui batas aman yang diizinkan, dengan hasil pengukuran menunjukkan penurunan sebesar 677,9 mm menggunakan Plaxis 2D, 890 mm di Segmen A, dan 1440 mm di Segmen B, sementara batas yang diizinkan hanya 180 mm. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan segera untuk mencegah kerusakan lebih lanjut pada struktur.
2. Rencana perbaikan tanah akibat penurunan akan dilakukan dengan menambahkan pondasi sumuran (beton cyclop) sebanyak 304 titik di area tengah gudang. Pondasi sumuran tersebut memiliki diameter 120 cm dan kedalaman 200 cm, sedangkan balok tanah (*ground beam*) memiliki dimensi lebar 40 cm, tinggi 70 cm, dan panjang bervariasi, yaitu 600 cm, 500 cm, dan 400 cm. Beban yang diteruskan ke pondasi sebesar 351,3432 kN tidak melebihi daya dukung tanah, yaitu 358,2924 kN. Artinya, beban yang diteruskan oleh pondasi masih berada dalam kapasitas yang dapat ditahan oleh tanah, sehingga pondasi dianggap aman dan tidak berisiko menyebabkan kegagalan. Selain itu, penurunan keseluruhan bangunan setelah penambahan pondasi sumuran tercatat sebesar 85,76 mm, yang masih di bawah batas

penurunan yang diizinkan sebesar 180 mm. Dengan demikian, perencanaan pondasi ini dinyatakan aman dan stabil terhadap beban yang diterima.

3. Besarnya estimasi biaya yang dibutuhkan dalam perbaikan tanah pada Gudang Biru PT. Pelabuhan Indonesia Regional II ini adalah sebesar Rp8.170.324.275. Biaya ini dihitung berdasarkan volume pekerjaan dan AHSP yang diterapkan berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 8 Tahun 2023 dan mengacu pada Harga Satuan Upah dan Bahan Kota Bandar Lampung Tahun 2023.

## **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Diharapkan penelitian selanjutnya dilakukan perhitungan penurunan tanah manual guna membandingkan hasil penurunan tanah tersebut.
2. Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh keadaan lingkungan sekitar terhadap perbaikan penurunan tanah menggunakan pondasi sumuran
3. Diharapkan penelitian selanjutnya bisa membandingkan metode perbaikan sumuran dengan metode lain serta melakukan perbandingan estimasi biaya yang lebih efisien.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*.
- Bambang Surendro. (2015). *Rekayasa Fondasi Teori dan Penyelesaian Soal*. Graha Ilmu.
- Bowles, J. E. (1997). *Foundation Analysis and Design*. McGraw-Hill.
- Braja M. Das. (1995). *Mekanika Tanah*. Penerbit Erlangga.
- Clough, R. W., & Woodward, R. J. (1967). Finite Element Methods in Soil Engineering. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, 93(SM3), 1–29.
- Craig, R. F. (1991). *Mekanika Tanah*. Penerbit Erlangga.
- Giatmajaya, W. (2017). *Analisa Setlemen Cara Analitis dan Metode Finite Element Pada Tanah Lunak dengan Software Sebagai Alat Bantu*.
- Hardiyatmo. (2006). *Teknik Pondasi 2*. Penerbit Beta Offset.
- Hardiyatmo, H. C. (2014). *Analisis dan Perancangan Fondasi*. Gadjah Mada University Press.
- Kulhawy, F. H., Mayne, P. W., Withiam, J. L., & Trautmann, C. H. (1983). *Foundation Engineering Handbook* (2nd ed.). Van Nostrand Reinhold.
- Latief, I. P., Patuti, I. M., & Achmad, D. F. (2023). *Analisis Penurunan Tanah Timbunan Menggunakan Metode Elemen Hingga pada Ruas Jalan Tolango-Bulontio STA 47+600*. 4(1), 41–48. <https://new.jurnal.untad.ac.id/index.php>
- Mujarofik, F., Sarasanty, D., & Asmorowati, E. T. (2020). *Analisa Settlement Pada Pembangunan Gudang PT. Hansa Pratama Balongbendo Sidoarjo Berbasis Plaxis*.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete* (5th ed.). Pearson Education Limited.

- Oosaki, H. (1973). *Soil Mechanics*. University of Tokyo Press.
- Pasaribu, H. M., & Hutapea, B. M. (2017). *Analisis Deformasi dan Penurunan Tanah Pada Galian Dalam dengan Metode Elemen Hingga Melalui Studi Evaluasi Model Tanah*.
- Pranoto, Y., & Setiabudi, R. (2017). Evaluasi Penurunan Gedung dan Metode Perbaikannya (Studi Kasus: Kantor Pos Balikpapan). In *Jurnal Teknik Mesin (JTM)* (Vol. 06, Issue 2).
- Rahmawati, D., Arif, M., & Satria, T. R. (2018). Alternatif Perencanaan Pondasi Dalam. *Jurnal Teknik ITS*.
- RSA Ciptakarya. (2021). *Pedoman Perencanaan Infrastruktur Prasarana dan Sarana*.
- Rucker, D. W., Hille, D.-I. F., & Rohrman, D.-I. R. (2006). *Guideline for the Assessment of Existing Structures*.
- Sardjono, H. S. (1991). *Fondasi Tiang Pancang* (Jilid 1 Cetakan ke 2). Sinar Wijaya.
- Sjafei Amri. (2006). *Teknologi Audit Forensik Repair dan Retrofit untuk Rumah & Bangunan Gedung*. Yayasan John HI-Tech.
- Surbakti, R. (2021). Analisis Penurunan Tanah dengan Plaxis 2D dan 3D Pada Proyek Reklamasi Belawan. *Syntax Literate ; Jurnal Ilmiah Indonesia*, 6(7), 3511. <https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v6i7.1532>
- Surbakti, R., Kunci, K., Elemen Hingga, M., & Tanah, P. (2021). Prediksi Penurunan Konsolidasi Tanah Lunak dengan Metode Analitis dan. *JCEBT*, 5(2). <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jcebt>
- Surendro, K. (2015). *Analisis dan Desain Pondasi*. Andi Offset.
- Susiazti, H., Widiastuti, M., Widyati, R., & Widayati, R. (2020). *Analisis Penurunan Konsolidasi Metode Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain (Pvd)*.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Waluyo, R., Puspasari, V. H., Ningrum, D. S. A., Devina, P. I., & Pihawiano, A. T. (2021). Analisis Estimasi Biaya Perawatan Bangunan Gedung Fakultas

Teknik Universitas Palangka Raya. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(3), 210–217.  
<https://doi.org/10.24002/jts.v16i3.5393>

Zhafirah, A. (2022). *Penurunan Tanah Berdasarkan Hasil Uji Konsolidasi di Laboratorium*. <https://jurnal.itg.ac.id/>