

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk perkotaan dengan keterbatasan lahan mendorong desain bangunan yang dapat memanfaatkan lahan terbatas, solusi konstruksi tersebut adalah gedung bertingkat sekaligus pemanfaatan ruang di bawah permukaan tanah. Demi memaksimalkan penggunaan lahan, bangunan dirancang dengan jumlah lantai lebih banyak dan galian lebih dalam (Hsu dkk., 2024). Kebutuhan ini terasa nyata pada fasilitas kesehatan di kawasan padat, karena rumah sakit rujukan dituntut menambah kapasitas layanan dan ruang pendukung medis pada lahan yang sudah terbatas. Galian dalam untuk *basement* banyak ditemui pada proyek gedung di pusat kota yang berdekatan dengan bangunan eksisting (Huynh dkk., 2022). Tanpa perencanaan, pengendalian mutu, dan pemantauan yang ketat selama pelaksanaan, galian berpotensi memengaruhi bangunan di sekitarnya (Hsu dkk., 2024). Kondisi ini membuat galian dalam menjadi pekerjaan berisiko tinggi yang menuntut analisis geoteknik teliti sejak tahap perencanaan.

Sistem penahan tanah yang umum dipakai pada galian dalam adalah *diaphragm wall*, yaitu dinding beton bertulang yang berada di dalam tanah untuk menahan tekanan tanah lateral. Salah satu persoalan utama pada galian dalam adalah deformasi lateral, yaitu pergerakan dinding penahan ke arah galian akibat perubahan tegangan tanah saat digali. Penggalian dapat menimbulkan pergerakan dinding, penurunan tanah di belakang dinding, dan pengangkatan dasar galian (Nasir & Al-Ne'aimi, 2024). Besar deformasi lateral dapat dipengaruhi oleh tahapan dan kedalaman galian, kondisi tanah, muka air tanah, kekakuan *diaphragm wall*, dan waktu pengaktifan sistem perkuatan.

Deformasi lateral *diaphragm wall* dapat memicu penurunan permukaan tanah dan memengaruhi bangunan di sekitar galian. Semakin dekat posisi bangunan terhadap dinding penahan tanah, semakin besar potensi penurunan yang terjadi (Hsu dkk., 2024). Pada galian dalam yang tidak diperkuat dengan

benar, pergerakan dinding yang berlebih menimbulkan retak pada bangunan di sekitarnya (Malik dkk., 2019). Risiko ini menjadikan pengendalian deformasi lateral sebagai syarat keamanan yang tidak dapat diabaikan, terutama ketika galian berdekatan dengan bangunan yang tetap beroperasi selama pelaksanaan proyek.

Salah satu cara menahan deformasi lateral pada *diaphragm wall* adalah memasang *temporary ground anchor* sebagai perkuatan. *Ground anchor* menyalurkan gaya tarik dari dinding ke lapisan tanah, sehingga memberi tahanan aktif terhadap gaya lateral yang bekerja selama penggalian. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa konfigurasi angkur berpengaruh nyata terhadap pengendalian. Studi parametrik pada *diaphragm wall* berangkur menunjukkan jumlah dan sudut pemasangan angkur memengaruhi perpindahan dinding dan momen lentur (Al-Ne'aimi & Nasir, 2023). Hasil serupa muncul pada perencanaan ulang *diaphragm wall* di tanah lunak, di mana penambahan jumlah angkur menurunkan deformasi (Maharani dkk., 2021). Studi kasus lapangan juga menegaskan pemasangan angkur diperlukan untuk menjaga defleksi dinding tetap dalam batas izin (Malik dkk., 2019).

Perilaku galian dalam sulit dianalisis dengan pendekatan sederhana karena melibatkan interaksi antara tanah, dinding penahan, muka air tanah, tahapan galian, dan pemasangan angkur. Analisis numerik dengan metode elemen hingga dipakai karena mampu menggambarkan perubahan tegangan dan deformasi tanah secara bertahap sesuai urutan konstruksi. Pada galian *basement* yang dimodelkan dengan PLAXIS 2D, deformasi hasil analisis mendekati pembacaan *inclinometer* dengan selisih kecil (Kusuma dkk., 2019).

Ketelitian hasil pemodelan bergantung pada pemilihan model konstitutif tanah. Model *Hardening Soil* dipilih karena dapat menggambarkan kekakuan tanah yang bergantung pada tingkat tegangan dan tahapan pembebanan secara lebih realistis dibandingkan model *Mohr-Coulomb* yang hanya memakai satu parameter kekakuan sehingga cenderung melebih-lebihkan perpindahan dinding. Pada galian tanah berlapis yang divalidasi dengan *inclinometer*, *Hardening Soil* menghasilkan profil deformasi dengan penyimpangan di bawah

12%, sementara *Mohr-Coulomb* melebih-lebihkan perpindahan (Hacini dkk., 2025). Kesesuaian model ini untuk lapisan pasir berkepadatan sedang juga terbukti pada galian di kawasan padat (Huynh dkk., 2022).

Kondisi tersebut dijumpai pada Proyek Pembangunan *Central Medical Unit* (CMU) RSUP Dr. Sardjito di Yogyakarta yang dikerjakan oleh KSO PT Utama Karya dan PT Wijaya Karya. Proyek ini berlangsung di dalam kompleks rumah sakit yang tetap beroperasi, sehingga pergerakan tanah akibat galian dapat memengaruhi kestabilan area galian sekaligus bangunan yang ada di sekitar proyek. Galian *basement* direncanakan mencapai kedalaman sekitar 7,90 m. Untuk mengamankan galian, proyek memakai *diaphragm wall* setebal 800 mm dan kedalaman 18 m yang diperkuat menggunakan *temporary ground anchor*. Rencana Kerja dan Syarat-syarat proyek mewajibkan sisi galian dilindungi menggunakan *diaphragm wall* dan *ground anchor*, sekaligus menuntut pemantauan galian. Dalam pelaksanaannya, pembacaan *inclinometer* dilakukan secara berkala untuk mengetahui perkembangan deformasi lateral selama pekerjaan galian.

Data pemantauan *inclinometer* selama periode 4 April sampai 3 Juli 2026 menjadi pembanding untuk menilai kesesuaian antara deformasi hasil pemodelan dengan pergerakan lateral yang sebenarnya. Evaluasi deformasi mengacu pada ketentuan SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik. Penerapan metode *finite element* untuk memeriksa deformasi galian berdasarkan SNI 8460:2017 juga telah dilakukan pada penelitian sebelumnya (Sabina dkk., 2020). Berdasarkan kondisi tersebut, kinerja *diaphragm wall* dengan perkuatan *temporary ground anchor* pada galian *basement* Proyek Konstruksi Fisik CMU RSUP Dr. Sardjito perlu dievaluasi menggunakan PLAXIS 2D dengan model *Hardening Soil* dan divalidasi terhadap data *inclinometer*. Atas dasar itu, tugas akhir ini mengambil judul “Analisis Deformasi Lateral *Diaphragm Wall* dengan *Temporary Ground Anchor* pada Galian *Basement* Menggunakan PLAXIS 2D pada Proyek Pembangunan Gedung CMU RSUP Dr. Sardjito”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, permasalahan yang dikaji dalam tugas akhir ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapa deformasi lateral *diaphragm wall* sisi selatan berdasarkan data *Inclinometer 5* panel DW44 dan hasil pemodelan PLAXIS 2D model *Hardening Soil*, serta berapa besar selisih antara keduanya?
2. Bagaimana pengaruh *lock-off temporary ground anchor* terhadap perubahan deformasi lateral *diaphragm wall* sisi selatan?
3. Apakah deformasi lateral *diaphragm wall* pada titik *Inclinometer 5* dan hasil pemodelan PLAXIS 2D masih memenuhi batas izin berdasarkan SNI 8460:2017?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis besar deformasi lateral *diaphragm wall* sisi selatan berdasarkan data *Inclinometer 5* panel DW44 dan hasil pemodelan PLAXIS 2D dengan model *Hardening Soil*, serta menentukan besar selisih antara keduanya;
2. Menganalisis pengaruh *stressing temporary ground anchor* setelah *lock-off* terhadap perubahan deformasi lateral *diaphragm wall* sisi selatan;
3. Mengevaluasi kesesuaian deformasi lateral *diaphragm wall* sisi selatan terhadap batas izin deformasi lateral menurut SNI 8460:2017.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan rumusan dan tujuan penelitian, penulis berharap penelitian ini dapat memberikan manfaat dan berdampak positif bagi berbagai pihak. Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi penulis

Menambah pemahaman dan kemampuan menganalisis deformasi lateral *diaphragm wall* berangkur menggunakan PLAXIS 2D, mulai dari

penurunan parameter tanah dari data *N-SPT*, penyusunan tahapan konstruksi, sampai validasi hasil terhadap data *inclinometer* di lapangan.

2. Bagi proyek

Memberikan gambaran besar deformasi lateral *diaphragm wall* pada tahapan galian, sehingga dapat menjadi bahan pertimbangan dalam mengevaluasi keamanan dinding penahan tanah selama pelaksanaan galian *basement* di proyek sejenis.

3. Bagi institusi pendidikan

Menjadi referensi studi kasus geoteknik berbasis proyek nyata, khususnya pada analisis *diaphragm wall* berangkur menggunakan PLAXIS 2D dan data *inclinometer*.

4. Bagi praktisi konstruksi

Memberikan gambaran pentingnya analisis bertahap pada pekerjaan galian *basement* sebagai masukan dalam mempertimbangkan tahapan galian, aktivasi angkur, dan *monitoring* deformasi pada pekerjaan galian dalam.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah sebagai ruang lingkup pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian dibatasi pada sistem penahan tanah *basement* Gedung CMU RSUP Dr. Sardjito, yaitu *diaphragm wall* dengan perkuatan *temporary ground anchor*.
2. Analisis dibatasi pada deformasi lateral *diaphragm wall*, perancangan struktur dinding seperti penulangan dan kapasitas lentur, serta penurunan bangunan eksisting di sekitar galian tidak dibahas.
3. Pemodelan menggunakan program PLAXIS 2D dengan asumsi regangan bidang pada satu potongan melintang dinding. Pengaruh sudut galian dan interaksi tiga dimensi tidak diperhitungkan.
4. Model konstitutif tanah utama yang digunakan adalah *Hardening Soil*. Penelitian ini tidak membandingkannya dengan model tanah lain.

5. Analisis dilakukan pada satu penampang yang mewakili lokasi *inclinometer 5* pada panel DW44 di sisi selatan galian, yaitu *inclinometer* yang tertanam di dalam struktur *diaphragm wall*.
6. Hasil analisis terbatas pada sisi selatan *diaphragm wall* yang direpresentasikan oleh *Inclinometer 5*. Hasil tersebut tidak dapat langsung diterapkan pada lokasi lain karena konfigurasi susunan angkur, kondisi pembebanan, dan tahapan konstruksi yang berbeda.
7. Data tanah bersumber dari data sekunder penyelidikan BH-1, meliputi *bor log*, uji *direct shear*, dan *N-SPT*. Parameter kekakuan tanah diturunkan dari korelasi empiris nilai *N-SPT* pada titik bor BH-1 karena data uji triaksial dan *oedometer test* (uji konsolidasi) tidak tersedia.
8. Analisis dilakukan pada kondisi *drained* tanpa analisis konsolidasi jangka panjang, karena muka air tanah berada di bawah dasar galian dan pengendalian air menggunakan *open sump*.
9. Beban yang diperhitungkan terbatas pada berat sendiri tanah, tekanan tanah lateral, dan beban tambahan sesuai gambar rencana. Beban gempa, analisis *dewatering*, rembesan, penurunan bangunan eksisting, serta rencana anggaran biaya dan penjadwalan proyek tidak termasuk dalam lingkup penelitian.
10. Validasi model dilakukan terhadap data *inclinometer* pada rentang *baseline reading* 04 April 2026 sampai pembacaan ke-24 tanggal 03 Juli 2026.
11. Spesifikasi sistem *inclinometer* mencantumkan akurasi ± 2 mm per 25 m. Nilai tersebut digunakan sebagai konteks ketidakpastian pengukuran dan tidak menggantikan kriteria kerja kesesuaian model sebesar 10%.
12. Tahapan yang dianalisis dibatasi pada dua kondisi, yaitu galian sebelum *stressing temporary ground anchor* dan galian setelah angkur diaktifkan melalui *stressing dan lock-off*, pada elevasi galian yang sama.
13. Pemodelan dibatasi pada *diaphragm wall* dari elevasi $-2,050$ m sampai elevasi $-18,000$ m. Dinding penahan tanah setinggi 2,00 m merupakan struktur terpisah dan berada di luar model. Perbandingan PLAXIS 2D dan *inclinometer* menggunakan kedalaman 2,50 sampai 17,00 m, dengan

kedalaman 17,00 m sebagai datum normalisasi. Evaluasi statistik menggunakan 29 pasangan data pada kedalaman 2,50 sampai 16,50 m.

14. Kondisi setelah galian selesai, meliputi pemasangan *pile cap*, terbentuknya sebagian pelat *basement*, penggunaan sisi timur sebagai *stockyard besi*, serta akses aktivitas proyek di sisi barat, tidak dijadikan dasar validasi dan hanya diperlakukan sebagai informasi lapangan.
15. Batas deformasi lateral izin mengacu pada Tabel 51 SNI 8460:2017 sesuai kedalaman galian dan zona bangunan eksisting terdekat.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun untuk memberikan gambaran mengenai urutan dan ruang lingkup pembahasan dalam Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir dibagi menjadi lima bab yang saling berkaitan. Sistematika penulisan tersebut diuraikan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan kondisi pekerjaan galian *basement* Gedung CMU RSUP Dr. Sardjito yang dilaksanakan di lingkungan rumah sakit aktif, beserta persoalan deformasi lateral *diaphragm wall* yang berkembang selama penggalian bertahap. Uraian tersebut menghasilkan tiga rumusan masalah, yaitu besar deformasi lateral sebelum *stressing temporary ground anchor* dan selisihnya terhadap pembacaan *inclinometer*, besar pengaruh *stressing* terhadap deformasi lateral *diaphragm wall*, serta kesesuaian deformasi terhadap batas izin SNI 8460:2017.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dasar teori yang dipakai untuk menyusun model dan menafsirkan hasilnya disajikan pada bab ini. Pembahasan bergerak dari perilaku galian dalam, *diaphragm wall*, dan *temporary ground anchor*, menuju mekanisme deformasi lateral dinding serta prinsip kerja *inclinometer* sebagai alat verifikasinya. Bagian berikutnya menguraikan metode elemen hingga pada PLAXIS 2D, model konstitutif *Hardening Soil*, dan cara menurunkan parameter kekakuannya ketika uji *triaxial CD* dan *oedometer* tidak tersedia. Kriteria batas deformasi lateral menurut SNI 8460:2017 diuraikan sebagai

tolak ukur penilaian kinerja sistem penahan. Bab ini ditutup dengan kajian penelitian terdahulu dan posisi penelitian yang menunjukkan celah yang diisi oleh Tugas Akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan penelitian yang digunakan untuk menjawab rumusan masalah. Pembahasan meliputi lokasi dan objek penelitian, jenis penelitian, sumber data, teknik pengumpulan data, serta tahapan pengolahan dan analisis data. Data yang digunakan mencakup gambar kerja *diaphragm wall* dan *temporary ground anchor*, data tanah, tahapan galian, beban *stressing*, serta hasil pembacaan *inclinometer*. Bab ini juga menjelaskan penentuan parameter *Hardening Soil*, penyusunan geometri model PLAXIS 2D, pemodelan tahapan konstruksi, serta metode perbandingan hasil deformasi numerik dengan data *monitoring inclinometer*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Keluaran analisis beserta pembahasannya disajikan pada bab ini, mencakup rekapitulasi parameter tanah yang dipakai, deformasi lateral *diaphragm wall* pada tiap tahap galian, dan perbandingan deformasi hasil PLAXIS 2D terhadap pembacaan *inclinometer* pada tahap konstruksi yang setara. Perubahan deformasi antara kondisi sebelum dan sesudah *stressing temporary ground anchor* dibahas pada elevasi galian yang sama untuk menilai pengaruh aktivasi angkur. Deformasi hasil pemodelan dan pembacaan lapangan diperiksa terhadap batas izin SNI 8460:2017.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan dan saran berdasarkan hasil penelitian. Kesimpulan disusun untuk menjawab rumusan masalah mengenai perbedaan deformasi hasil PLAXIS 2D dan *inclinometer*, perubahan deformasi setelah *temporary ground anchor* diaktifkan, serta kesesuaian deformasi lateral terhadap SNI 8460:2017. Saran diberikan sebagai bahan pertimbangan dalam pemodelan geoteknik, pelaksanaan *stressing*, *monitoring diaphragm wall*, pelaksanaan proyek sejenis serta untuk penelitian lanjutan yang ingin mengembangkan lingkup di luar batasan penelitian ini.