

PEMODELAN PENURUNAN KONSOLIDASI TANAH LUNAK DENGAN *MODEL SOFT SOIL* MENGGUNAKAN PLAXIS 2D

FADYA DAMA YAAFI¹, INDRA NOER HAMDHAN²,

1. Mahasiswa, Institut Teknologi Nasional Bandung, Bandung

2. Dosen, Institut Teknologi Nasional Bandung, Bandung

Email : fadya.damyaa17@gmail.com

ABSTRAK

Tanah lunak dengan kompresibilitas tinggi dan permeabilitas rendah sering menjadi penyebab terjadinya penurunan tanah yang signifikan, khususnya pada wilayah pesisir seperti Jakarta Utara. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perilaku konsolidasi tanah lunak akibat pembebanan timbunan dengan pendekatan numerik menggunakan Soft Soil Model (SSM) pada perangkat lunak PLAXIS 2D. Data tanah diperoleh dari hasil penyelidikan geoteknik berupa bor log pada lokasi proyek jalan tol di Jakarta Utara. Pemodelan dilakukan pada kondisi eksisting dengan tahapan analisis meliputi initial phase, pemberian beban timbunan, hingga proses konsolidasi alami sesuai karakteristik tanah lunak. Hasil analisis menunjukkan bahwa penurunan vertikal (settlement) yang terjadi cukup besar dengan waktu konsolidasi yang panjang, hal ini disebabkan oleh rendahnya permeabilitas dan sifat kompresibilitas tanah. Temuan penelitian ini menegaskan bahwa pembangunan di atas tanah lunak memerlukan perhatian khusus karena berisiko terhadap kestabilan dan umur layan konstruksi yang direncanakan.

Kata kunci: tanah lunak, settlement plate, penurunan, Soft Soil Model, PLAXIS 2D.

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki banyak wilayah dengan tanah lunak yang berciri kompresibilitas tinggi dan permeabilitas rendah, sehingga berpotensi menimbulkan masalah serius pada pembangunan infrastruktur akibat penurunan besar dan konsolidasi yang berlangsung sangat lambat. Salah satunya terdapat di Jakarta Utara yang menjadi lokasi pengembangan infrastruktur berskala besar, seperti jalan tol, pelabuhan, dan kawasan industri, sehingga diperlukan kajian perilaku tanah lunak sebelum dilakukan pembangunan. Tanah lunak akan mengalami penurunan signifikan akibat pembebanan timbunan, yang dapat mengganggu kestabilan konstruksi, menimbulkan deformasi diferensial, serta mengurangi umur layan struktur. Oleh karena itu, analisis numerik sangat dibutuhkan untuk memprediksi besarnya penurunan dan lamanya waktu konsolidasi sebelum infrastruktur dibangun.

Dalam penelitian ini digunakan metode numerik berbasis elemen hingga dengan perangkat lunak PLAXIS 2D dan *Soft Soil Model* (SSM), yang secara khusus dirancang untuk menggambarkan perilaku konsolidasi primer tanah lempung lunak akibat beban timbunan. Parameter tanah diperoleh melalui hasil penyelidikan lapangan, uji laboratorium, serta korelasi nilai N-SPT, kemudian digunakan dalam simulasi preloading untuk meninjau pengaruh beban terhadap

penurunan tanah. Analisis ini difokuskan pada evaluasi besarnya penurunan, lamanya waktu konsolidasi, dan dampaknya terhadap kestabilan konstruksi di atas tanah lunak. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai risiko pembangunan infrastruktur pada tanah lunak serta menjadi dasar pertimbangan teknis dalam menentukan perlunya perbaikan tanah atau metode perkuatan yang tepat sebelum konstruksi dilaksanakan.

2. METODE PENELITIAN

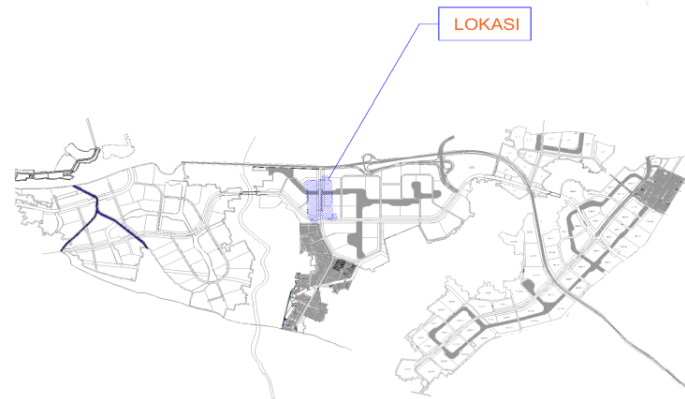
Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini difokuskan pada analisis perilaku tanah lunak tanpa perbaikan tanah menggunakan *Soft Soil Model* (SSM) pada perangkat lunak PLAXIS 2D. Tahapan penelitian dijelaskan sebagai berikut:

- a. Melakukan identifikasi masalah dan perumusan topik penelitian terkait potensi penurunan tanah lunak di Jakarta Utara, serta pentingnya evaluasi perilaku konsolidasi tanah tanpa adanya intervensi perbaikan.
- b. Melakukan studi literatur yang relevan mengenai teori konsolidasi tanah lunak, parameter kompresibilitas dan permeabilitas, serta pemodelan numerik dengan *Soft Soil Model* berdasarkan SNI 4153:2008 tentang Standard Penetration Test (SPT) dan SNI 03-6870-2002 tentang Cara Uji Kelulusan Air (Permeabilitas) di Laboratorium, yang dijadikan dasar teori dan acuan penelitian.
- c. Mengumpulkan data sekunder berupa hasil penyelidikan geoteknik dari proyek jalan tol di Jakarta Utara, meliputi data bor log BE-94, parameter tanah hasil laboratorium, serta hasil monitoring *Settlement Plate* sesuai acuan SNI 8460:2017 tentang Perencanaan Perbaikan Tanah dengan PVD, yang di dalamnya mengatur metode pengukuran penurunan tanah.
- d. Melakukan pemodelan numerik menggunakan PLAXIS 2D dengan pendekatan *Soft Soil Model* (SSM). Geometri tanah dimodelkan sesuai data *bor log* pada kondisi eksisting, dengan tahap analisis meliputi *initial phase*, pembebanan timbunan, dan konsolidasi alami tanpa perbaikan tanah.
- e. Melakukan interpretasi hasil pemodelan yang diperoleh dari PLAXIS 2D menggunakan *Soft Soil Model* (SSM), berupa penurunan tanah (*settlement*), deformasi, serta tekanan air pori berlebih akibat beban timbunan. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi besarnya penurunan, lamanya waktu konsolidasi, serta implikasinya terhadap kestabilan konstruksi yang direncanakan di atas tanah lunak.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di wilayah Jakarta Utara, yang secara geoteknik dikenal memiliki lapisan tanah lunak yang tebal dan jenuh air. Data yang digunakan berasal dari proyek pembangunan jalan tol yang melintasi kawasan pesisir utara Jakarta. Dapat dilihat pada **Gambar 1**.

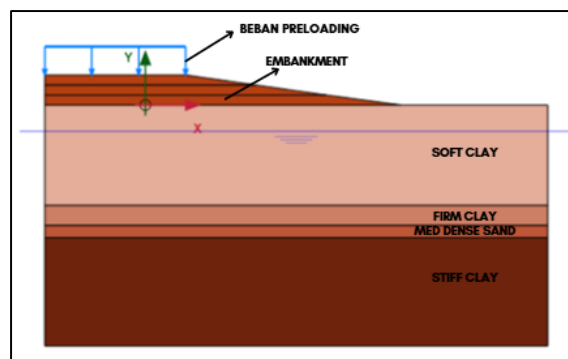


Gambar 1. Lokasi Proyek Jalan Tol

3.2 Data Tanah

Data tanah pada lokasi penelitian diperoleh dari hasil penyelidikan geoteknik berupa *bor log* BE-94 dan pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) sesuai acuan SNI 4153:2008. Hasil SPT menunjukkan bahwa lapisan tanah atas pada kedalaman 0–10 m memiliki nilai N-SPT rendah (2–8) yang mengindikasikan tanah berupa lempung sangat lunak hingga firm clay dengan daya dukung rendah dan sifat kompresibilitas tinggi. Pada lapisan berikutnya hingga kedalaman ± 24 m, nilai N-SPT meningkat (13–28) menandakan material lebih padat berupa pasir sedang dan lempung kaku, sedangkan pada lapisan paling bawah nilai N-SPT > 28 menunjukkan tanah lebih stabil berupa pasir padat. Keberadaan muka air tanah yang dangkal pada kedalaman sekitar 0,8–1,4 m membuat lapisan lempung bagian atas dalam kondisi jenuh, sehingga sangat rentan mengalami penurunan konsolidasi jangka panjang.

Pemodelan pada lapisan tanah dilakukan dengan metode korelasi nilai N-SPT berdasarkan data penyelidikan tanah di lokasi penelitian. Sebelum dilakukan analisis utama, pemodelan terlebih dahulu divalidasi menggunakan data monitoring *Settlement Plate* pada kondisi tanpa perbaikan tanah, sehingga parameter tanah yang diperoleh dapat dikalibrasi sesuai hasil penurunan lapangan. Setelah parameter tanah tervalidasi, nilai tersebut kemudian digunakan dalam pemodelan konsolidasi dengan *Soft Soil Model* (SSM) pada PLAXIS 2D untuk mengevaluasi besarnya penurunan tanah lunak akibat beban timbunan pada kondisi eksisting. Untuk pemodelannya dapat dilihat pada **Gambar 2** dan untuk keterangan konsistensi tanah daerah penelitian dapat dilihat pada **Tabel 1**.



Gambar 2. Geometri Pemodelan Plaxis 2D Menggunakan *Soft Soil Model*

Tabel 1. Konsistensi Tanah Daerah Penelitian

Data <i>Borlog</i> BE-94			
Kedalaman (m)	N-SPT		Deskripsi Tanah
-2	2	2	Lempung Lunak
-4	0		
-6	1		
-8	2		
-10	3		
-13,2	8	8	Lempung Sedang
-15	28	28	Pasir Sedang
-16	12	13	Lempung Kaku
-18	15		
-20	10		
-22	11		
-24	15		

3.3 Data Parameter Tanah

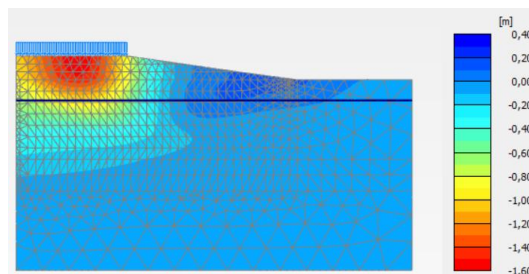
Parameter tanah yang digunakan dalam pemodelan PLAXIS 2D diperoleh melalui pendekatan persamaan dan hasil korelasi yang merujuk pada literatur seperti Braja M. Das (2004), Burt Look (2007), serta AS 4678-2002, disesuaikan dengan jenis tanah dan nilai N-SPT pada lokasi penelitian. Data hasil korelasi tersebut kemudian ditampilkan pada **Tabel 2** sebagai acuan dalam analisis.

Tabel 2. Parameter *Soft Soil Model*

Parameter Tanah	Lapis 1	Lapis 2	Lapis 3	Lapis 4	Timbunan	Satuan
	<i>Soft Clay</i>	<i>Firm Clay</i>	<i>Med Dense Sand</i>	<i>Stiff Clay</i>	<i>Sand</i>	
<i>Soil Model</i>	<i>Soft Soil</i>	<i>Soft Soil</i>	<i>Hardening Soil</i>	<i>Hardening Soil</i>	<i>Hardening Soil</i>	
<i>Type</i>	<i>Undrained A</i>	<i>Undrained A</i>	<i>Drained</i>	<i>Undrained A</i>	<i>Drained</i>	
Kedalaman	0-10	10-12	12-13,2	13,2-24	3-0	meter
NSPT	2	8	28	13	-	-
yunsat	14	16	19	19	16	kN/m ³
ysat	14	16	19	19	16	kN/m ³
k _x	0,001	0,04752	7,128	0,006	0,0864	m/day
k _y	0,000615	0,04752	7,128	0,006	0,0864	m/day
c'	5	15	1	25	30	kN/m ²
φ'	20	20	30	25	35	°
E50	960	4800	12000	12000	20000	kN/m ²
Eoed	768	3840	9600	9600	16000	kN/m ²
Eur	2880	14400	36000	36000	60000	kN/m ²
Cc	0,6280	0,1139	-	0,03838	-	
Cs	0,2291	0,04156	-	0,01595	-	
e _{init}	1,4	0,9	0,4	0,6	0,3	-
m	1	1	0,5	1	1	-

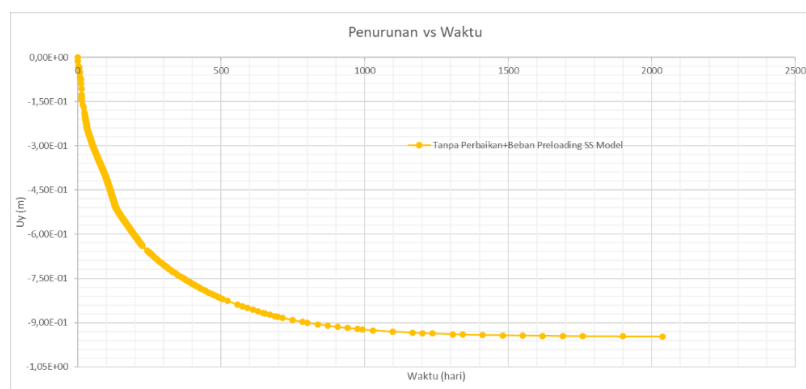
3.4 Hasil Analisis Tanpa Perbaikan Tanah

Analisis pemodelan pada kondisi timbunan dilakukan untuk mengetahui besarnya penurunan, deformasi, durasi konsolidasi tanah, serta tekanan air pori berlebih dengan menggunakan pendekatan numerik melalui *Soft Soil Model* (SSM) pada perangkat lunak PLAXIS 2D. Parameter yang diperoleh dari hasil pemodelan tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar evaluasi perilaku konsolidasi tanah lunak akibat pembebanan timbunan. Hasil pemodelan ini memberikan gambaran mengenai kemampuan tanah dalam menahan beban, karakteristik laju konsolidasi, serta risiko yang dapat muncul selama umur layan konstruksi. Dengan demikian, analisis ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam memahami kondisi tanah lunak di lapangan serta pertimbangan teknis dalam perencanaan pembangunan infrastruktur pada wilayah dengan kondisi tanah serupa. Berikut merupakan **Gambar 3** yang menampilkan hasil pemodelan Plaxis 2D menggunakan *Soft Soil Model*.



Gambar 3. Hasil Pemodelan Plaxis 2D Menggunakan *Soft Soil Model*

Pada grafik ditunjukkan hasil pemodelan menggunakan *Soft Soil Model* (SSM) pada kondisi tanah lunak, di mana diperoleh penurunan sebesar 0,955 m dengan waktu konsolidasi sekitar 2038 hari. Parameter hasil pemodelan ini kemudian digunakan sebagai dasar analisis untuk mengevaluasi perilaku konsolidasi tanah akibat beban timbunan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tanah lunak memiliki sifat kompresibilitas yang tinggi dan permeabilitas rendah sehingga proses konsolidasi berlangsung sangat lambat. Kondisi ini menegaskan bahwa meskipun besarnya penurunan dapat diprediksi melalui analisis numerik, durasi konsolidasi yang panjang berpotensi menimbulkan risiko terhadap kestabilan konstruksi dan umur layan infrastruktur yang dibangun di atasnya. Untuk grafik Dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Grafik Pemodelan Tanpa Perbaikan Tanah Menggunakan *Soft Soil Model*

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah lunak di Jakarta Utara memiliki sifat kompresibilitas tinggi dengan nilai N-SPT rendah (2–8) pada kedalaman dangkal sehingga sangat rentan mengalami penurunan. Pemodelan menggunakan *Soft Soil Model* (SSM) pada PLAXIS 2D menunjukkan penurunan sebesar 0,955 m dengan waktu konsolidasi sekitar 2038 hari. Hasil ini mengindikasikan bahwa pembangunan di atas tanah lunak tanpa perbaikan akan mengalami penurunan yang signifikan dan membutuhkan waktu konsolidasi sangat lama, sehingga kondisi ini tidak aman bagi konstruksi dan diperlukan pertimbangan perbaikan tanah untuk menjamin kestabilan serta umur layan struktur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan dan dukungan selama proses penelitian hingga penyusunan jurnal ini. Ucapan khusus ditujukan kepada Bapak Dr. techn. Indra Noer Hamdhan, S.T., M.T. atas segala bentuk bantuan, dukungan, serta arahan yang diberikan selama proses penelitian, serta kepada *National Geotechnic Center*, Institut Teknologi Nasional Bandung atas fasilitas berupa akses lisensi akademik perangkat lunak PLAXIS.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-6870:2002 – Cara uji kelulusan air di laboratorium untuk tanah berbutir halus dengan tinggi tekan menurun*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). Cara uji penetrasi lapangan dengan SPT, SNI 4153. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). Persyaratan Perancangan Geoteknik, SNI 8460. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- Das, Braja M. 2004. *Principles of Geotechnical Engineering*. 5th ed. Stamford, CT: Thomson Learning.
- Look, Burt G. 2007. *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. London: Taylor & Francis.
- Standards Australia. (2002). *AS 4678–2002: Earth-retaining structures*. Sydney: Standards Australia International Ltd.