

PERBANDINGAN HASIL ANALISIS *FINITE ELEMENT* UNTUK STABILITAS DAN PENURUNAN TIMBUNAN DENGAN BEBERAPA *SOIL MODEL* DI LOKASI RENCANA PEMBANGUNAN JALAN TOL SUBANG

Efran Kemala Hamonangan
BBPJJ DKI Jakarta-Jawa Barat
Direktorat Jenderal Bina Marga
efranitb.nasution@pu.go.id

Muhammad Yoke Syahputra
CV Sho-Labo Geo Teknik
muhammadyoke@gmail.com

Abstract

The challenge in designing the Subang Toll Road lies in the original soil conditions, with soil consistency between very soft and soft. This soft soil has low bearing capacity, high compressibility, and low permeability. Soil improvement using soil replacement has been common for soft soil conditions that are not thick, and this soil improvement can increase the bearing capacity of the soil and reduce the thickness of compressible soil. This study aims to perform embankment modeling using PLAXIS 2D software version 22, by comparing 3 soil models, namely the Mohr Coulomb, Hardening Soil, and Soft Soil models. Based on the modeling results, the Advanced Soil Model has a better approach compared to the Mohr Coulomb Model, which is a simple model. The results show that the Hardening Soil Model produces a settlement value that is closest to the results of 1-dimensional Terzaghi calculations. In addition, the Hardening Soil Model is the most conservative soil model, because it provides the highest settlement value, highest excess pore water pressure, and the lowest safety factor.

Keywords: toll road; soil consistency; soft soil; soil replacement; soil model

Abstrak

Tantangan dalam perancangan Jalan Tol Subang adalah pada kondisi tanah asli, dengan konsistensi tanah antara sangat lunak hingga lunak. Tanah lunak ini memiliki daya dukung yang rendah, kompresibilitas yang tinggi, dan permeabilitas yang rendah. Perbaikan tanah menggunakan *soil replacement* telah biasa dilakukan, untuk kondisi tanah lunak yang tidak tebal, dan perbaikan tanah ini dapat meningkatkan daya dukung tanah serta mengurangi tebal tanah kompresibel. Studi ini bertujuan untuk melakukan pemodelan timbunan dengan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D versi 22, dengan membandingkan 3 *soil model*, yaitu model-model *Mohr Coulomb*, *Hardening Soil*, dan *Soft Soil*. Berdasarkan hasil pemodelan yang dilakukan, *Advanced Soil Model* merupakan pendekatan yang lebih baik dibandingkan dengan *Mohr Coulomb Model*, yang merupakan model sederhana. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa *Hardening Soil Model* menghasilkan nilai penurunan yang paling mendekati hasil perhitungan 1 dimensi Terzaghi. Selain itu, *Hardening Soil Model* merupakan *soil model* yang paling konservatif, karena memberikan nilai penurunan yang terjadi dan angka air pori eksese yang paling tinggi serta nilai faktor keamanan yang paling rendah.

Kata-kata kunci: jalan tol; konsistensi tanah; tanah lunak; *soil replacement*; *soil model*

PENDAHULUAN

Untuk mewujudkan infrastruktur jalan yang andal, mandiri, dan berkelanjutan, dibutuhkan suatu analisis perencanaan yang baik. Dalam suatu konstruksi jalan dan jembatan, bidang geoteknik merupakan salah satu aspek yang sangat penting dan perlu diberi perhatian lebih dalam perencanaannya.

Seringkali perencanaan infrastruktur jalan yang akan dibangun memiliki kendala, yang salah satunya adalah kondisi tanah yang kurang baik, yaitu tanah lunak. Tanah lunak banyak dijumpai di Indonesia. Tanah jenis ini memiliki daya dukung yang rendah, kompresibilitas yang tinggi, dan permeabilitas yang rendah. Diperlukan upaya khusus untuk menangani permasalahan tersebut agar pembangunan infrastruktur dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

Metode penanganan tanah lunak yang umum dilakukan adalah menggunakan *Vertical Drain* dengan *Preloading* (Das, 2007). Namun untuk kondisi tanah yang memiliki sensitivitas tinggi, seperti tanah ekspansif, metode ini tidak cocok untuk digunakan. Selain itu, untuk kondisi tanah yang memiliki lapisan kompresibel yang tidak terlalu tebal, metode *vertical drain* tidak efektif dilakukan. Perbaikan tanah menggunakan *soil replacement* telah umum dilakukan untuk kondisi tanah lunak yang tidak tebal. Jenis perbaikan tanah ini dapat meningkatkan daya dukung tanah dan mengurangi tebal tanah kompresibel, namun harus dengan melakukan analisis perancangan yang benar (Badan Standardisasi Nasional, 2017).

Pada studi ini dibahas perbandingan hasil analisis yang didapat dari beberapa pemodelan tanah. Tujuannya adalah membuka wawasan bahwa analisis yang umum digunakan bukan satu-satunya analisis dalam perancangan suatu kasus geoteknik, khususnya untuk timbunan pada tanah lunak. Pada studi ini, pemodelan timbunan yang ditinjau menggunakan Program Plaxis 2D, versi 22. Analisis yang dilakukan adalah membandingkan 3 jenis pemodelan tanah, yaitu *Mohr Coulomb*, *Hardening Soil*, dan *Soft Soil*.

Pemodelan tanah yang sangat umum dipakai dalam bidang geoteknik ialah *Mohr Coulomb Model* (MC Model). MC Model secara singkat menganggap bahwa saat kondisi plastis dan tegangan dihilangkan, regangan menjadi *irreversible* atau tidak dapat kembali ke kondisi semula. Sedangkan saat dalam kondisi elastik, regangan dapat kembali pada kondisi semula. Hal ini dikarenakan MC Model melakukan pembatasan nilai tegangan berdasarkan nilai sudut geser.

Hardening Soil Model (HS Model) menjelaskan jenis elastoplastis model hiperbolik. Jenis hubungan hiperbolik antara tegangan dan regangan ini dikembangkan untuk digunakan dalam analisis kenaikan *non-linear* deformasi tanah. Kasus yang banyak direkomendasikan menggunakan HS Model adalah kasus galian, namun model ini juga dapat dipakai dalam kasus timbunan (Çelik, 2017; Fathonah, 2017).

Soft Soil Model (SS Model) secara umum digunakan untuk memodelkan jenis tanah lunak dan tanah gambut yang terkonsolidasi secara normal. SS Model meliputi hubungan logaritmik antara regangan volumetrik ϵ_v dengan tegangan efektif p' (Apriyani et al., 2016). SS Model menggunakan parameter uji konsolidasi, yaitu nilai λ^* dan k^* , dengan λ^* adalah indeks pemampatan yang dimodifikasi dan dapat ditentukan berdasarkan pemampatan tanah yang terjadi saat pembebanan primer, dan k^* adalah indeks pemuaian yang dimodifikasi.

Analisis stabilitas timbunan dalam bidang geoteknik terdiri atas 2 aspek, yaitu besarnya penurunan dan waktu penurunan, yang sangat berkaitan dengan perhitungan kemampuan air pori di dalam tanah. Beberapa penelitian terdahulu menyatakan bahwa dalam pemodelan timbunan, terutama pada daerah tanah lunak, hasil pemodelan dengan MC Model

berbeda jika dibandingkan dengan hasil-hasil HC Model dan SS Model. Sedangkan hasil analisis dengan HC Model dan dengan SS Model memiliki kemiripan.

PEMBAHASAN

Contoh kasus yang dibahas pada penelitian ini adalah kondisi tanah lunak yang sensitif dan memiliki ketebalan sekitar 6 m di lokasi rencana pembangunan Jalan Tol Subang. Metode perbaikan tanah yang dilakukan adalah mengganti tanah kompresibel di permukaan setebal 2 m menggunakan material tanah yang telah diseleksi, yang mana tanah kompresibel dapat diganti sebagian atau seluruhnya. Hal tersebut dapat menyelesaikan masalah stabilitas dan penurunan, karena timbunan diletakan pada lapisan yang lebih keras sehingga sebagian besar penurunan dapat dihilangkan. Pada metode penggantian material sebagian, lapisan tanah yang tertinggal akan mengalami konsolidasi. Penambahan beban (*surchage load*) perlu diberikan untuk mempercepat proses penurunan, sehingga sebagian besar penurunan akan dapat dihilangkan.

Setelah parameter tanah diperoleh, selanjutnya pemodelan dilakukan menggunakan PLAXIS 2D versi 22. Hasil pemodelan yang akan ditinjau adalah besarnya penurunan, air pori eksese, dan nilai faktor keamanan setiap *soil model*. Parameter tanah untuk masing-masing *soil model* dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Parameter Timbunan dan *Material Replacement (Drained)*

Jenis Tanah	$\gamma_{sat} / \gamma_{unsat}$ kN/m ³	E'_{reff} kPa	U_{ur} -	c'_{ref} kN/m ²	ϕ' deg	$k_x = k_y$ m/hari
Timbunan	18/17	50000	0,25	10	25	0,02272
<i>Selected Borrow</i>	18/17	50000	0,28	5	30	1,063

Tabel 2 Parameter Tanah *Mohr Coulomb Model (Undrained A)*

Jenis Tanah	N_{SPT}	PI (%)	Ketebalan (m)	$\gamma_{sat} / \gamma_{unsat}$ kN/m ³	E'_{reff} kPa	U_{ur} -	c'_{ref} kN/m ²	ϕ' deg	$k_x = k_y$ m/hari
Lunak	3	73	3	16/15	1000	0,30	3	24	0,001232
Sedang	8	78	3	17/16	4000	0,30	8	24	0,001014
Kaku	13	65	14	17,5/16,5	8667	0,30	18	24	0,000830

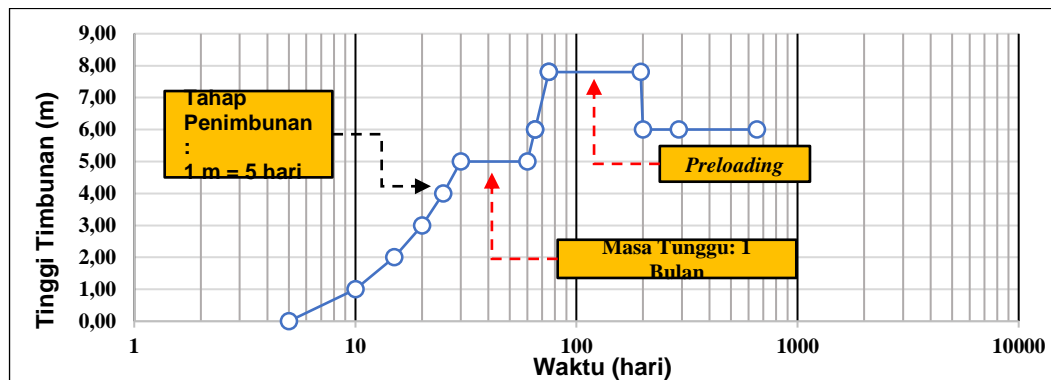
Tabel 3 Parameter Tanah *Hardening Soil Model (Undrained A)*

Jenis Tanah	N_{SPT}	PI (%)	Ketebalan m	$\gamma_{sat} / \gamma_{unsat}$ kN/m ³	E_{50}^{ref} kN/m ²	E_{oed}^{ref} kN/m ²	E_{ur}^{ref} kN/m ²	U_{ur} -	m	c'_{ref} kN/m ²	ϕ' deg	$k_x = k_y$ m/hari
Lunak	3	73	3	16/15	1000	800	3000	0,30	1	3	24	0,001232
Sedang	8	78	3	17/16	4000	3200	12000	0,30	1	8	24	0,001014
Kaku	13	65	14	17,5/16,5	8667	6933	26000	0,30	1	18	24	0,000830

Tabel 4 Parameter Tanah *Soft Soil Model (Undrained A)*

Jenis Tanah	N_{SPT}	PI (%)	Ketebalan m	$\gamma_{sat} / \gamma_{unsat}$ kN/m ³	λ -	κ -	U_{ur} -	c'_{ref} kN/m ²	ϕ' deg	$k_x = k_y$ m/hari
Lunak	3	73	3	16/15	0,125	0,084	0,30	3	24	0,001232
Sedang	8	78	3	17/16	0,03124	0,021	0,30	8	24	0,001014
Kaku	13	65	14	17,5/16,5	0,01442	0,01	0,30	18	24	0,000830

Tahapan konstruksi timbunan perlu diperhatikan dan dikontrol dengan baik (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002). Peningkatan kekuatan geser diharapkan dapat meningkatkan kekuatan tanah dasar untuk memikul beban timbunan agar tetap stabil. Pada praktiknya, pekerjaan timbunan harus dilakukan lapis demi lapis dan dipadatkan. Pada penelitian ini, pekerjaan timbunan dilakukan secara bertahap per 20 cm, dengan skema tahapan penimbunan dapat dilihat pada Gambar 1 dan tahapan konstruksi untuk dimasukkan dalam pemodelan dapat dilihat pada Tabel 5.



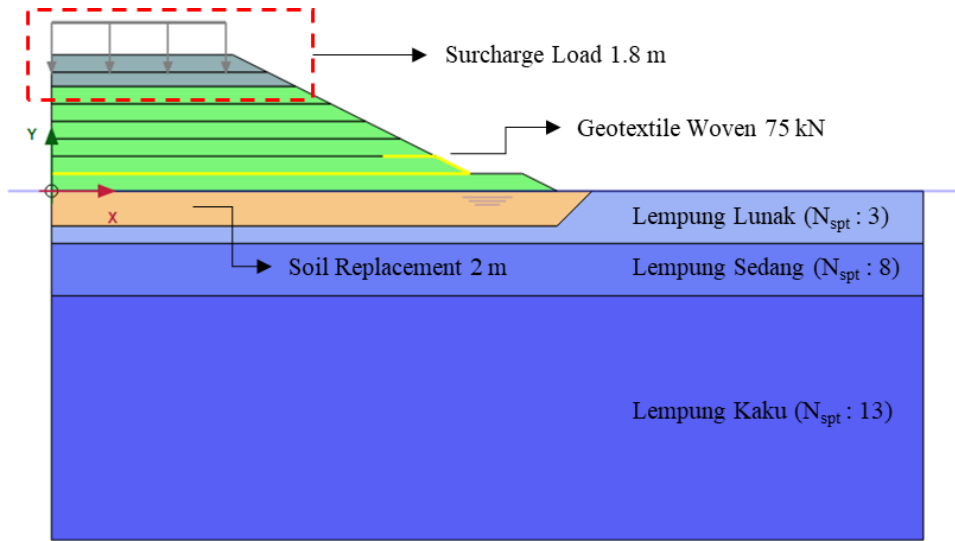
Gambar 1 Tahapan Pekerjaan Timbunan

Tabel 5 Tahapan Konstruksi pada Pemodelan Numerik

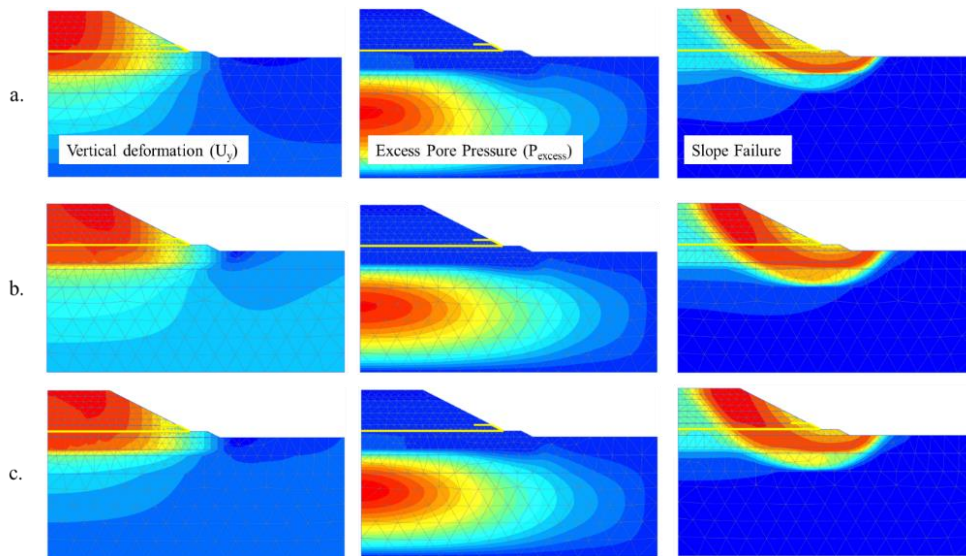
No.	Tahapan Konstruksi	Tipe Kalkulasi	Waktu Konstruksi Kumulatif (Hari)
1	Penggalian dan Pergantian Material Tanah Dasar	Plastic	5
2	Timbun 1 m	Consolidation	10
3	Timbun 2 m	Consolidation	15
4	Timbun 3 m	Consolidation	20
5	Timbun 4 m	Consolidation	25
6	Timbun 5 m	Consolidation	30
7	Masa Tunggu (30 Hari)	Consolidation	60
8	Timbun 6 m	Consolidation	65
9	Pemasangan <i>Surcharge Load</i> (1.8 m)	Consolidation	75
10	<i>Preloading</i> (4 Bulan)	Consolidation	195
11	<i>Unloading Surcharge</i>	Plastic	200
12	Pemasangan <i>Pavement</i>	Consolidation	290
13	Konsolidasi 1 Tahun	Consolidation	655
14	Konsolidasi 10 Tahun	Consolidation	3940

Gambar pemodelan tanah dasar dan timbunan pada program *finite element* Plaxis 2D dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan data hasil *running* pemodelan numerik menggunakan Plaxis 2D, terdapat beberapa keluaran yang akan ditinjau, yaitu besarnya penurunan (*settlement*), besarnya tekanan air pori eksese, dan nilai angka keamanan (*safety factor*). Keluaran hasil pemodelan Plaxis 2D, dengan perbandingan masing-masing *soil model* yang ditinjau, adalah pada tahapan konstruksi timbunan maksimum (*Surcharge Load*) dan pada tahapan jangka panjang (konsolidasi 10 Tahun) akhir konstruksi dapat dilihat pada Gambar 3. *Shading* yang terjadi di antara masing-masing Tahap Konstruksi dan *Soil Model* juga

ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Perbedaan besarnya penurunan yang terjadi dan besarnya angka air pori eksed dari masing-masing *Soil Model* dapat dilihat pada Gambar 5.

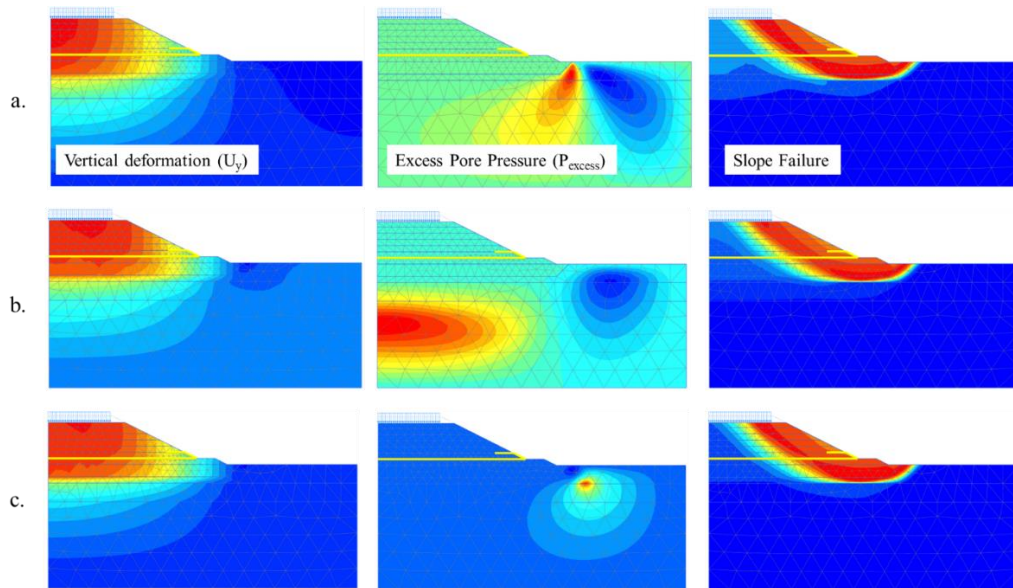


Gambar 2 Pemodelan Tanah Dasar dan Timbunan Plaxis 2D

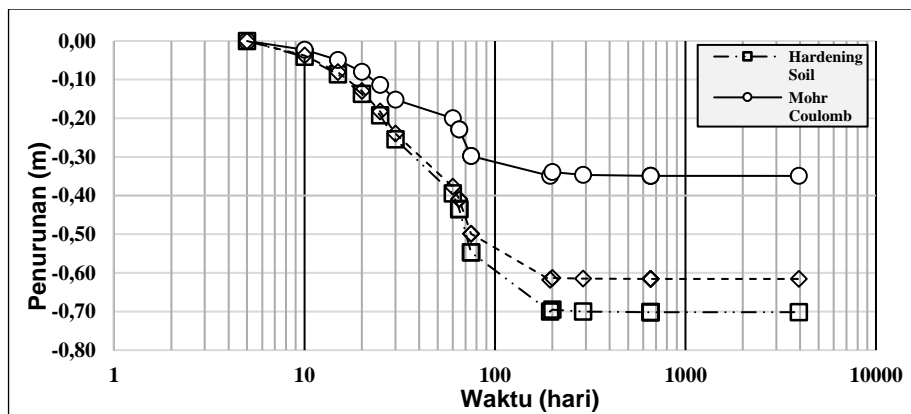


Gambar 3 Hasil Keluaran Pemodelan pada Tahap Konstruksi Timbunan Maksimum (*Short Term Analysis*)
 (a) *Mohr Coulomb Model* (b) *Hardening Soil Model* (c) *Soft Soil Model*

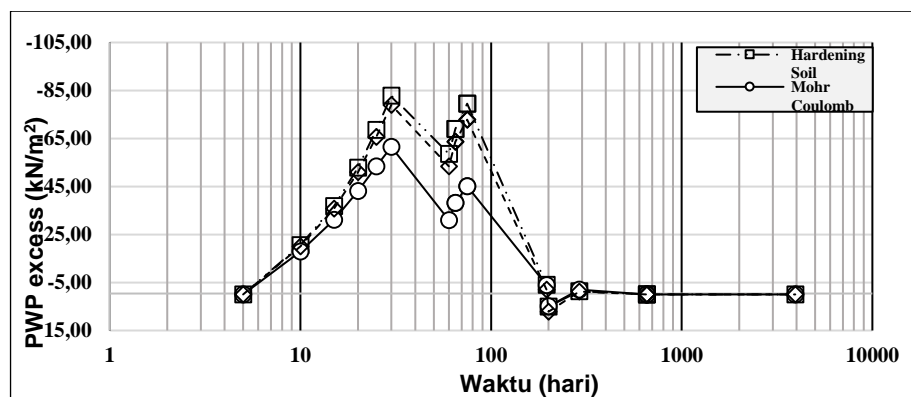
Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pemodelan, *Hardening Soil* menghasilkan penurunan yang paling besar. Selain itu *excess pore water pressure* terbesar juga terdapat pada *Hardening Soil Model*. Sebaliknya, besarnya penurunan dan *excess pore water pressure* yang paling kecil didapat dari model *Mohr Coulomb*. Sedangkan untuk hasil angka keamanan, besarnya tidak berbeda signifikan. Angka keamanan tertinggi didapat oleh *Mohr Coulomb* dan untuk yang terkecil didapat oleh *Hardening Soil Model*.



Gambar 4 Hasil Keluaran Pemodelan pada Tahap Jangka Panjang (*Long Term Analysis*)
 (a.) *Mohr Coulomb Model* (b) *Hardening Soil Model* (c) *Soft Soil Model*

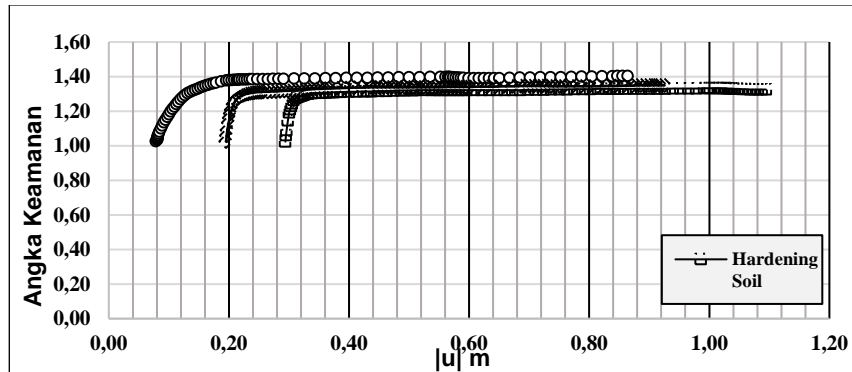


Gambar 5 Penurunan vs Waktu Setiap *Soil Model*

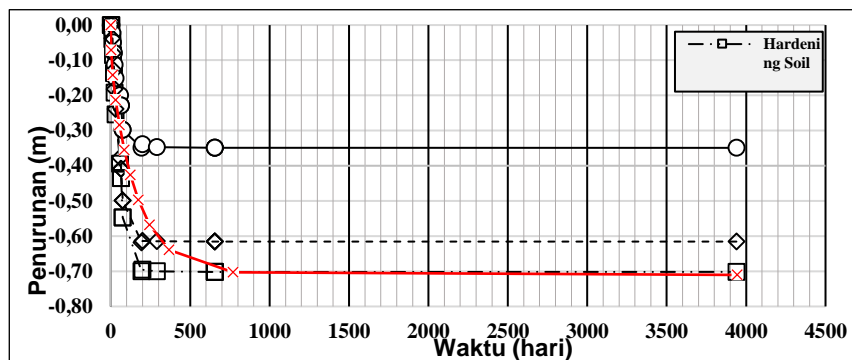


Gambar 6 *PWP excess* vs Waktu dari Setiap *Soil Model*

Jika dibandingkan dengan rumus 1 dimensi Terzaghi, besarnya penurunan yang mendekati adalah *Hardening Soil Model*. *Advanced Soil model* (HS Model dan SS Model) melakukan pendekatan lebih baik dibandingkan *Mohr Coulomb* yang merupakan model sederhana. Terlihat pada Gambar 8, *Hardening Soil* menghasilkan nilai penurunan yang paling mendekati perhitungan 1 dimensi Terzaghi. Rekapitulasi perbandingan hasil keluaran pemodelan numerik dapat dilihat pada Tabel 6.



Gambar 7 Angka Kemanan (pada Tahap Konstruksi) Setiap *Soil Model*



Gambar 8 Perbandingan Penurunan Pemodelan Numerik dengan Perhitungan Rumus Terzaghi

Tabel 6 Rekapitulasi Hasil Pemodelan

Rekapitulasi	Soil Model		
	MC	HS	SS
Penurunan maksimum (m)	0,349	0,701	0,615
Air Pori Ekses maksimum (kN/m ²)	61,19	82,86	78,96
Angka Keamanan (Tahap Konstruksi)	1,404	1,326	1,349
Angka Keamanan (Jangka Panjang)	1,592	1,716	1,697

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan yang dilakukan pada kasus analisis stabilitas timbunan di lokasi rencana Pembangunan Jalan Tol Subang, ketiga model menunjukkan hasil yang berbeda, walaupun secara kriteria masih memenuhi aspek teknis. *Advanced Soil Model* menggunakan pendekatan yang lebih baik dibandingkan *Mohr Coulomb Model*, yang

merupakan model sederhana. *Hardening Soil* menghasilkan nilai penurunan yang paling mendekati perhitungan 1 dimensi Terzaghi. Selain itu, *Hardening Soil* merupakan *soil model* yang paling konservatif dalam penelitian ini, yang terlihat pada paling besarnya nilai penurunan yang terjadi, angka air pori eksese yang paling tinggi, dan nilai faktor keamanan stabilitas yang paling rendah.

Hasil studi ini merekomendasikan bahwa dalam *soil model* perlu memperhatikan jenis kasus yang ditangani dan kondisi tanah dengan akurat. Hasil penelitian ini juga menyarankan untuk menggunakan *Advanced Soil Model* dalam melakukan analisis timbunan dalam kasus tanah lunak, sehingga hasil perancangannya dapat mendekati keadaan sesungguhnya yang akan terjadi di lapangan. Selain itu, karena MC Model banyak sekali digunakan untuk menghadapi berbagai jenis kasus geoteknik, diharapkan penelitian ini dapat membuka wawasan bahwa terdapat *soil model* lain yang lebih akurat dalam menganalisis kasus-kasus geoteknik.

Penelitian ini dapat dilanjutkan jika ada pengukuran aktual di lapangan nanti saat konstruksi berlangsung. Karena itu, perbandingan antara hasil *soil model* dengan kondisi aktual yang terjadi di lapangan akan terlihat dan dapat disimpulkan lebih lanjut model mana yang paling cocok.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyani, K.D., Ikhyia, I., dan Hamdhan, I.N. 2016. *Analisis Konsolidasi dengan Prefabricated Vertical Drain untuk Beberapa Soil Model Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Rekacarana: Jurnal Teknik Sipil, 2 (3): 17–28.
- Badan Standardisasi Nasional. 2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. SNI 8460: 2017. Jakarta.
- Çelik, S. 2017. Comparison of Mohr-Coulomb and Hardening Soil Models' Numerical Estimation of Ground Surface Settlement Caused by Tunneling. Research Article. Journal of the Institute of Science and Technology, 7(4): 95–102.
- Das, B.M. 2007. *Principles of Foundation Engineering*. Seventh Edition. Stamford, CT: Cengage Learning.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. Pt T-10-2002-B. 2022. *Panduan Geoteknik Indonesia: Timbunan Jalan pada Tanah Lunak*. Pedoman Kimpraswil No: Pt T-10-2002-B. Panduan Geoteknik 4: Desain dan Konstruksi. Jakarta.
- Fathonah, W. 2017. *Analisis Parameter Model Tanah Nonlinear Elastoplastic Menggunakan Plaxis 2D untuk Studi Kasus Galian Dalam*. Jurnal Fondasi, 6 (1): 78–88.