

Penilaian Tanah Berpotensi Likuefaksi Mengacu pada Rasio Tegangan Air Pori

MAHARDIKA WIRAJATI¹, DESTI SANTI PRATIWI²

1. Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung
 2. Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung
- Email: mahardikawirajati@gmail.com

ABSTRAK

Likuefaksi merupakan perubahan kondisi tanah dari kondisi padat menjadi cair yang disebabkan oleh meningkatnya tegangan air pori sehingga nilainya sama besarnya dengan kekuatan tanah. Nilai rasio tegangan air pori berlebih (ru) yang memiliki batas sebesar 0,7. Tanah berpotensi likuefaksi memiliki nilai rasio tegangan air pori berlebih (ru) lebih dari 0,7. Tanah yang berpotensi likuefaksi akan dimodelkan pada aplikasi Plaxis 3D. Model material yang digunakan pada aplikasi Plaxis 3D yaitu UBC3D-PLM untuk menganalisis potensi likuefaksi. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada titik tinjau dengan kedalaman tanah yang berbeda-beda yaitu 2 m, 5 m dan 10 m. Likuefaksi terjadi pada titik tinjau kedalaman 2 m namun pada titik tinjau kedalaman 5 m dan 10 m tidak terjadi likuefaksi dikarenakan pada kedalaman tersebut memiliki nilai tegangan rasio air pori berlebih (ru) kurang dari 0,7.

Kata kunci: : Likuefaksi, Gempa Bumi, Plaxis 3D, UBC3D-PLM

1. PENDAHULUAN

Salah satu contoh permasalahan pada tanah adalah tanah berpotensi likuefaksi. Likuefaksi adalah kejadian berubahnya kondisi tanah dari keadaan padat menjadi cair. Peristiwa tersebut bisa terjadi karena meningkatnya tegangan air pori yang nilainya menjadi sama dengan tekanan total karena adanya beban dinamik, yang mengakibatkan tegangan efektif pada tanah menjadi nol. Ketika tegangan efektif pada tanah menjadi nol berakibat pada hilangnya kuat geser tanah dan hilangnya kemampuan untuk menahan beban yang berada di atasnya (Seed et al, 1975). Menurut Laera, A., & Brinkgrave, R. (2015) kondisi tanah yang berpotensi likuefaksi dapat dilihat melalui nilai rasio tekanan air pori berlebih (ru). Kondisi tanah yang berpotensi likuefaksi memiliki nilai rasio tekanan air pori berlebih (ru) di atas 0,7.

Setelah mengetahui permasalahan dari latar belakang, diperlukan sebuah analisis potensi likuefaksi untuk mengevaluasi kemungkinan kejadian tersebut pada lapisan tanah. Studi ini akan membahas analisis pemodelan kondisi tanah yang memiliki potensi likuefaksi.

2. LANDASAN TEORI

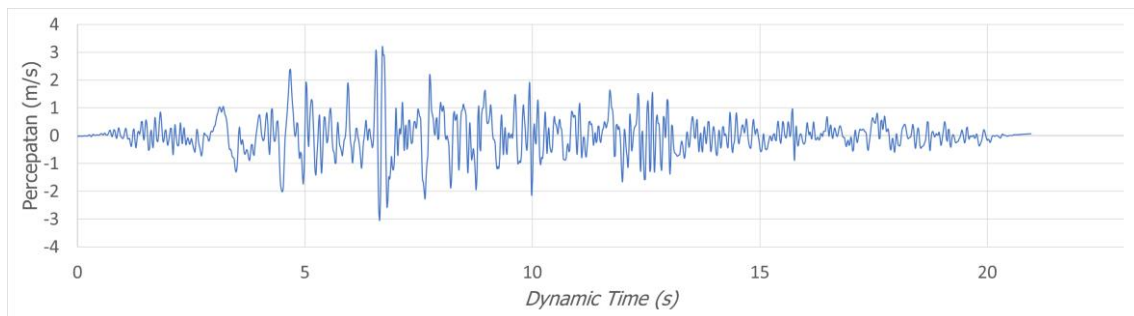
2.1 Tanah Berpotensi Likuefaksi

Likuefaksi terjadi pada tanah jenuh air, sehingga kedalaman muka air tanah sangat mempengaruhi potensi terhadap likuefaksi. Potensi likuefaksi akan menurun dengan bertambah dalamnya muka air tanah. Potensi likuefaksi akan berubah ketika level muka air tanah berubah. Likuefaksi juga terjadi sejalan dengan terjadinya gempa bumi. Peristiwa likuefaksi bisa dilihat langsung ditandai dengan munculnya lumpur pasir di permukaan tanah berupa semburan pasir, rembesan air melalui rekahan tanah, atau bisa juga dalam bentuk tenggelamnya struktur bangunan di atas permukaan. Ketika terjadi gempa bumi, gelombang gempa menjalar ke segala arah (Soebowo E., Tohari A. dan Sarah D., 2009).

Likuefaksi terjadi ketika meningkatnya tekanan air pori berlebih (*excess pore water pressure*) akibat tegangan siklik (tegangan geser bolak-balik) pada getaran tanah. peristiwa ini terjadi karena struktur tanah menerima tegangan geser secara berturut-turut, struktur tanah akan mengecil volumenya atau memadat, namun karena peristiwa ini terjadi secara sangat cepat sehingga pengecilan volume dicegah karena air tidak sempat keluar dari pori-pori tanah sehingga terjadi perpindahan tegangan tersebut kepada air pori dan pengurangan tegangan kontak antar partikel tanah pasir (Seed et al, 1975).

2.2 Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan peristiwa alam dimana terjadi geraran pada muka bumi yang disebabkan oleh pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menghasilkan gelombang seismik. Gempa bumi yang terjadi bisa berupa gempa bumi tektonik dan gempa bumi vulkanik. Gempa bumi vulkanik terjadi karena keluarnya magma dari kulit bumi diiringi dengan letusan hingga getaran pada lapisan tanah. Gempa bumi mengakibatkan kegagalan struktur dengan hilangnya daya dukung tanah yang jenuh air (Ariandi E. S., Fabian J. Manoppo, dan Joseph E. R. Sumampouw, 2019). Informasi gempa bumi didapatkan dari *website Peer Ground Motion Databases* (2023). Pada penelitian ini, terdapat data gempa yang akan dijadikan rujukan, yang terjadi di Wilayah Iran pada tahun 1978 dengan magnitudo 7,35 Mw, durasi 20,98 detik dan percepatan maksimum mencapai 3,176 m/s.



Gambar 1. Grafik Korelasi Antara Waktu dan Percepatan di Wilayah Iran pada Tahun 1978

3. METODE PENELITIAN

3.1 Finite Element Method (FEM)

Metode yang dapat digunakan untuk mendekati permasalahan rekayasa dengan suatu cara perhitungan. Pendekatan ini dikenal sebagai metode elemen hingga, di mana permasalahan dipecahkan menjadi sejumlah elemen dengan jumlah yang terbatas (*finite*) untuk merepresentasikan permasalahan sebenarnya, meskipun sebenarnya jumlah elemennya tidak terhingga (Mayra Amanta Tsani, 2022).

3.2 UBC3D-PLM

Model UBC3D ini merupakan pengembangan dari model UBCSAND (Tsegaye, 2010), suatu model dua dimensi yang dirancang untuk mensimulasikan likuefaksi pada tanah berpasir. Formulasi yang digunakan dalam model ini didasarkan pada teori plastisitas dengan menerapkan aturan pengerasan regangan hiperbolik dan metode Duncang-Chang yang telah dimodifikasi. Model UBC3D ini memperhitungkan akumulasi tekanan air pori berlebih selama periode percepatan seismik yang telah ditentukan (Galavi & Petalas, 2013). Parameter-parameter yang digunakan dalam material model UBC3D-PLM dapat dilihat pada **Tabel 1.** (Tsegaye, 2010).

Tabel 1. Parameter UBC3D-PLM

<i>Name</i>	<i>Symbol</i>	<i>Unit</i>	<i>Method</i>	<i>Default</i>	
<i>Elastic Bulk Modulus</i>	K_B^e	[-]	<i>Curve Fit</i>	$K_B^e = 0,7 \times K_G^e$	Petalas & Galavi (2013)
<i>Elastic Shear Modulus</i>	K_G^e	[-]	<i>Curve Fit</i>	$K_G^e = 21,7 \times 20 \times (N_1)_{60}$	Petalas & Galavi (2013)
<i>Plastic Shear Modulus</i>	K_G^p	[-]	<i>Curve Fit</i>	$K_G^p = K_G^e \times (N_1)_{60} \times 0,003 + 100$	Petalas & Galavi (2013)
<i>Elastic Bulk Modulus Index</i>	me	[-]	<i>Curve Fit</i>	0,5	Plaxis 3D-Reference Manual (2020)
<i>Shear Elastic Modulus Index</i>	ne	[-]	<i>Curve Fit</i>	0,5	Plaxis 3D-Reference Manual (2020)
<i>Shear Plastic Modulus Index</i>	np	[-]	<i>Curve Fit</i>	0,5	Plaxis 3D-Reference Manual (2020)
<i>Failure Ratio</i>	R_f	[-]	<i>Curve Fit</i>	0,9	Plaxis 3D-Reference Manual (2020)
<i>Atmospheric Pressure</i>	P_A	[kPa]	<i>Standard Value</i>	100	Plaxis 3D-Reference Manual (2020)
<i>Tension Cut Off</i>	σ_t	[kN/m ²]	-	0	Plaxis 3D-Reference Manual (2020)
<i>Constant Volume Friction Angle</i>	ϕ_{cv}	[°]	<i>CD TxC or DSS</i>	$\phi_p = \phi_{cv} - \frac{(N_1)_{60}}{10} + \max(0; \frac{(N_1)_{60} - 15}{5})$	Petalas & Galavi (2013)
<i>Peak Friction Angle</i>	ϕ_p	[°]	<i>CD TxC or DSS</i>	$\phi_p = 29 \times (N_1)_{60}^{0,10}$	Petalas & Galavi (2013)
<i>Cohesion</i>	c	[kPa]	<i>CD TxC or DSS</i>	0	Petalas & Galavi (2013)
<i>Failure Ratio</i>	R_f	[-]	<i>Curve Fit</i>	0,9	Plaxis 3D-Reference Manual (2020)
<i>Corrected SPT Value</i>	$(N_1)_{60}$	[-]	<i>In-Situ</i>	$(N_1)_{60} = C_N \times C_{ER} \times N$	Look (2007)
<i>Densification Factor</i>	fac_{hard}	[-]	<i>Curve Fitting</i>	1	Plaxis 3D-Reference Manual (2020)
<i>Post-liquefaction Factor</i>	fac_{post}	[-]	<i>Curve Fitting</i>	1	Plaxis 3D-Reference Manual (2020)

(Sumber: Plaxis 3D-Reference Manual, 2020)

Likuifikasi dapat didefinisikan sebagai tegangan air pori berlebih (ru), yaitu perbandingan antara tekanan pori berlebih dengan tegangan vertikal efektif pada kedalaman tertentu sebelum terjadinya beban dinamik. Pada aplikasi Plaxis 3D, hal ini diaplikasikan dengan menggunakan model material UBC3D-PLM. **Persamaan 1** menunjukkan cara mendapatkan nilai ru (Galavi & Petalas, 2013)

$$ru = 1 - \frac{\sigma'v}{\sigma'v_0} \quad (1)$$

Keterangan:

$\sigma'v$ = Tegangan Vertikal Efektif Ketika Terjadi Beban Dinamik

$\sigma'v_0$ = Tegangan vertikal efektif awal sebelum terjadi beban dinamik

Tanah akan berpotensi likuefaksi jika nilai r_u melebihi 0,7 (Beatty, M. H., Perlea, V. G., 2011).

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data Parameter Tanah

Hasil pengujian SPT digunakan untuk mengolah data parameter tanah. Pada **Gambar 2**, dapat dilihat kedalaman tanah sedalam 14 m. Tanah diklasifikasikan menjadi tiga lapisan yang dibedakan menurut kepadatan tanah. Pada lapis pertama dengan kepadatan tanah *loose sand*, pada lapis ke dua dengan kepadatan tanah *dense sand* dan pada lapis ke tiga dengan kepadatan *dense sand*.

Tabel 2. Klasifikasi Tanah

Kedalaman [m]	N-SPT	N-SPT Rata-Rata	Jenis Lapisan
2	5	6	<i>Loose Sand</i>
4	7		
6	38	38	<i>Dense Sand</i>
8	50	50	<i>Dense Sand</i>
10	50		
12	50		
14	50		

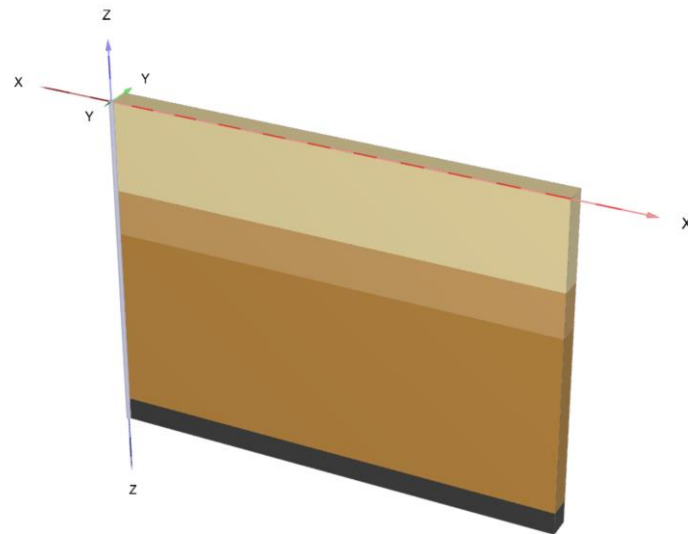
Parameter tanah yang digunakan dalam pemodelan berasal dari hasil korelasi dengan nilai N-SPT pada lokasi pengeboran. Detail parameter tanah yang akan diaplikasikan dalam model material UBC3D-PLM dapat dilihat seperti pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Parameter Model Material UBC3D-PLM

PARAMETER UBC3D-PLM				
	Satuan	Loose	Dense	Dense
Kedalaman	m	0 - 4	4-6	4 - 14
γ_{unsat}	[kN/m ³]	16	20	20
γ_{sat}	[kN/m ³]	17	21	21
K_G^e	[-]	681,962	1144,925	1059,388
K_G^e	[-]	974,232	1635,608	1513,411
K_G^p	[-]	475,775	14270,906	8325,060
me	[-]	0,5	0,5	0,5
ne	[-]	0,5	0,5	0,5
np	[-]	0,5	0,5	0,5
ϕ_{cv}	[°]	35,837	30,072	32,430
ϕ_p	[°]	36,970	43,194	42,199
c	kN/m ²	1	1	1
σ_t	kN/m ²	0	0	0
$(N_1)_{60}$	[-]	11	54	43
f_{dens}	[-]	1	1	1
f_{Epost}	[-]	1	1	1
R_f	[-]	0,9	0,9	0,9

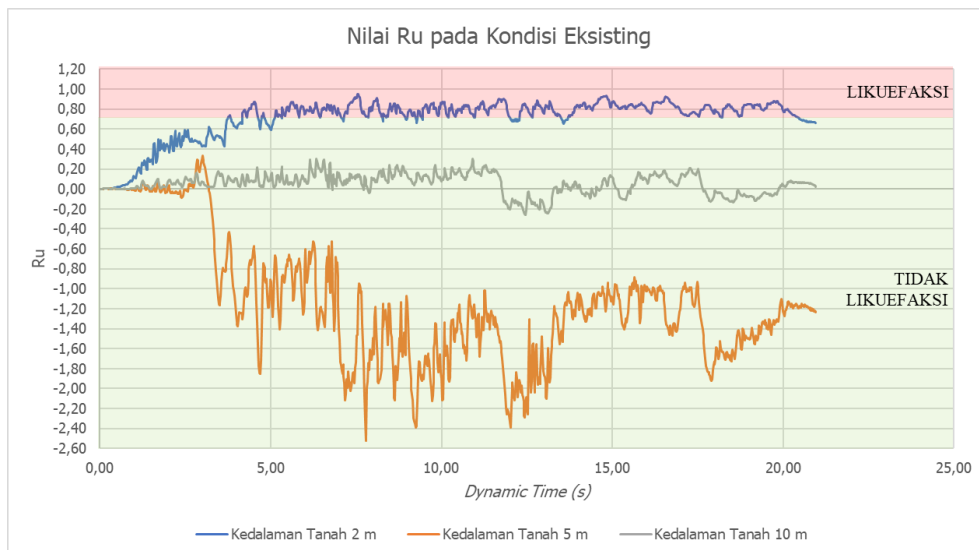
4.2 Evaluasi Kondisi Eksisting

Evaluasi potensi likuefaksi pada kondisi eksisting dimodelkan untuk mengetahui potensi likuefaksi yang terjadi. Geometri kondisi eksisting dapat dilihat pada **Gambar 3**.



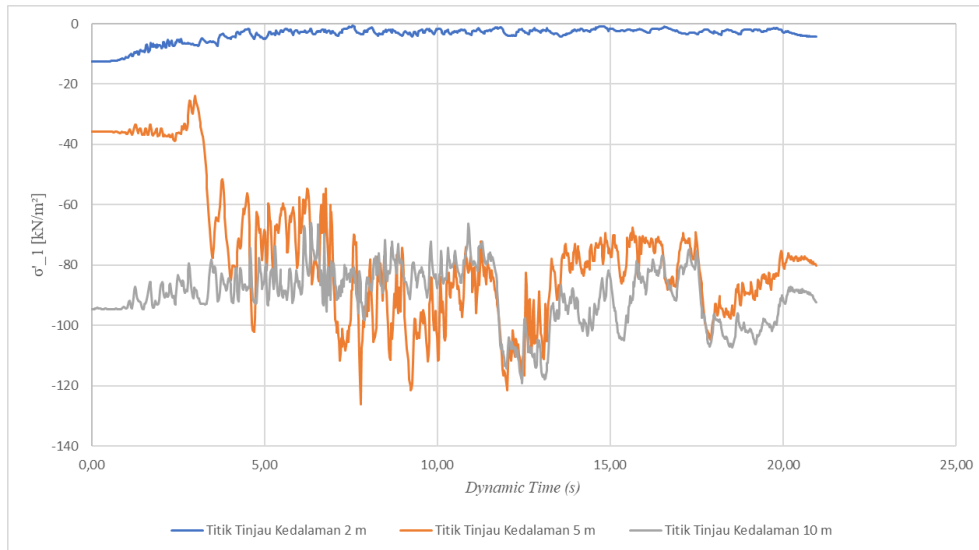
Gambar 3. Geometri Kondisi Eksisting

Berdasarkan **Gambar 4.** lapisan tanah yang berpotensi likuefaksi terjadi pada lapisan satu karena pada lapisan tersebut memiliki tingkat kepadatan pasir lepas serta memiliki N-SPT dibawah 10, sedangkan untuk lapisan dua dan tiga tidak terjadi likuefaksi dikarenakan pada lapisan tersebut sudah memiliki N-SPT lebih dari 30 karena jika suatu lapisan tanah yang memiliki nilai SPT di atas 30 sudah dianggap terlalu padat untuk terjadinya likuefaksi.



Gambar 4. Nilai ru pada Kondisi Eksisting

Hasil pemodelan pada **Gambar 5.** mengindikasikan bahwa ketika grafik mendekati nol, kekuatan tanah semakin berkurang, menunjukkan potensi likuefaksi pada lapisan tersebut.



Gambar 5. Grafik Tegangan Berbanding *Dynamic Time*

5. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis potensi likuefaksi berdasarkan data SPT dalam aplikasi Plaxis 3D, dapat ditarik kesimpulan bahwa Potensi peninjauan likuefaksi dilakukan pada kedalaman tanah yang berbeda-beda yaitu 2 m, 5 m dan 10 m. Likuefaksi terjadi pada kedalaman 2 m namun pada kedalaman 5 m dan 10 m tidak terjadi likuefaksi dikarenakan pada kedalaman tersebut memiliki N-SPT lebih dari 30.

DAFTAR RUJUKAN

- Ariandi E. S., Fabian J. Manoppo, dan Joseph E. R. Sumampouw (2019). Kajian Potensi Likuefaksi Pada Sekitar Pondasi Jembatan Prategang Di Sawangan.
- Beatty, M. H., Perlea, V. G. (2011). *Several observations on advanced analyses with liquefiable materials. Thirty first annual USSD conference on 21st century dam design-advances and adaptations.*
- Laera, A., & Brinkgrave, R. (2015). *Site Response Analysis and Liquefaction Evaluation.* Netherlands: Delf University of Technology & Plaxis bv.
- Mayra Amanta Tsani (2022). Pemodelan 3D Geotextile-Encased Stone Column (GESC) dalam Perbaikan Tanah Lunak pada Pembangunan Jalan Tol Cibitung-Cilincing. Bandung: Institut Teknologi Nasional
- Petalas, A., Galavi, V. (2013). *Finite Element Modelling of Seismic Liquefaction in Soils. Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA Vol.44 No.3*
- PLAXIS 3D-Reference Manual. (2020). CONNECT Edition V20.02. Bentley.
- Seed et al. (1975). *Summary Report on Influence of Seismic History of The Liquefaction Characteristic of Sands, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California.*
- Soebowo E., Tohari A. dan Sarah D. (2009). Potensi Likuefaksi Akibat Gempa Bumi Berdasarkan Data CPT dan N-SPT Di Daerah Patalan Bantul, Yogyakarta.
- Tsegaye & A. (2010). Plaxis Liquefaction Model (UBC3D). Technical Report. Plaxis B.V, Delf, Netherlands