

PERMODELAN 2D TANAH LIKUEFAKSI MENGGUNAKAN QUAKE/W

Maulana Arif^{1*}, Meilani Adriyati²

¹Program studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Bangka Belitung, Indonesia

²Department of Civil and Structural Engineering, Kyushu University, Japan

*email: maulana.arif@unmuhbabel.ac.id

Abstract

Liquefaction is an event where the consistency of the soil changes from solid to liquid due to the decreasing of the soil's effective stress. It can occur due to cyclic loads or earthquakes. Liquefaction events generally occur in soils with a distribution of fine sand grains and shallow groundwater levels. Liquefaction can cause failures in construction or soil such as sand boils, flow failures, lateral spreads, ground oscillations, loss of bearing capacity, and buildings sinking into the ground. This study aims to determine the potential for soil liquefaction by using 2-dimensional modeling using Quake/W software. The data used in this modeling are soil stratigraphic data from drilling and soil characteristic data including grain size distribution, percentage of fine grains, and soil plasticity index as a result of laboratory testing. In addition to soil condition data, earthquake data are also used in modeling. The earthquake data used is in the form of a time history curve of changes in acceleration with time. The modeling is carried out with scenarios of static conditions and dynamic conditions to provide an overview of how changes in soil conditions before and after the earthquake. The change in the effective soil stress is reviewed at a depth of 1m; 1.5m; 2m; and 2.5m. The modeling results show that there is a decrease in the effective soil stress up to 30% at each depth.

Keywords : Liquefaction, modelling, Quake/W

Abstrak

Likuefaksi merupakan kejadian dimana konsistensi tanah berubah dari padat menuju cair akibat berkurangnya tegangan efektif tanah. Hal ini dapat terjadi karena adanya beban siklik ataupun gempa bumi. Kejadian likuefaksi umumnya terjadi pada tanah dengan distribusi butiran pasir halus dan muka air tanah yang dangkal. Likuefaksi dapat menimbulkan kegagalan pada konstruksi maupun tanah seperti seperti *sand boils, flow failures, lateral spreads, ground oscillation*, kehilangan daya dukung, bangunan turun masuk ke dalam tanah, dan lain sebagainya. Penelitian ini bertujuan untuk dapat mengetahui potensi likuefaksi tanah dengan menggunakan permodelan 2 dimensi menggunakan perangkat lunak *Quake/W*. Data yang digunakan dalam permodelan ini yaitu data stratigrafi tanah yang berasal dari pemboran dan data karakteristik tanah meliputi distribusi ukuran butir, persentase butiran halus, dan indeks plastisitas tanah hasil dari pengujian laboratorium. Selain data kondisi tanah, data gempa juga digunakan dalam permodelan. Data gempa yang digunakan yaitu berupa kurva *time history* perubahan percepatan terhadap waktu. Permodelan dilakukan dengan skenario kondisi statis dan kondisi dinamis agar memberikan gambaran bagaimana perubahan kondisi tanah sebelum dan setelah gempa. Perubahan tegangan efektif tanah ditinjau pada kedalaman 1m; 1,5m; 2m; dan 2,5m. Hasil permodelan menunjukkan bahwa terjadi penurunan tegangan efektif tanah hingga 30% pada masing-masing kedalaman.

Kata kunci : Likuefaksi, pemodelan 2D, Quake/W

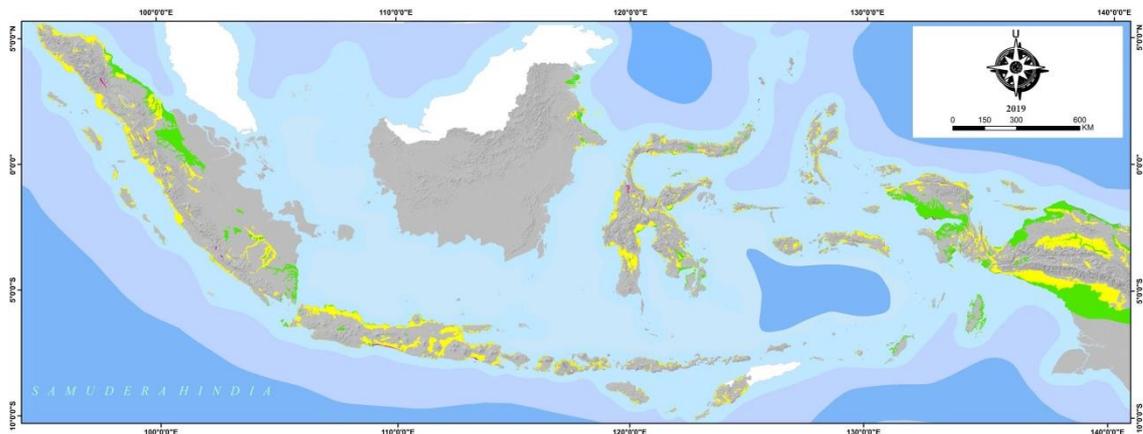
1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang berada di jalur *ring of fire* dan pertemuan 4 lempeng besar dunia. Hal ini menjadikan Indonesia menjadi salah satu negara dengan potensi kegempaan yang cukup besar. Kejadian gempa sudah merupakan suatu hal yang lumrah dan sering terjadi di Indonesia. Banyak dampak yang ditimbulkan dari adanya kejadian gempa ini salah satunya adalah fenomena likuefaksi.

Likuefaksi merupakan suatu kejadian dimana tanah mengalami perubahan konsistensi dari padat menuju cair akibat dari penurunan tegangan efektif tanah. Likuefaksi dapat terjadi jika dipicu oleh beban siklik yang cukup besar seperti gempa bumi. Kejadian gempa bumi

mengakibatkan adanya peningkatan air pori pada tanah yang berujung pada turunnya tegangan efektif pada tanah. Adapun pengertian likuefaksi secara menyeluruh yaitu merupakan suatu fenomena pada tanah berukuran butir pasir halus dan jenuh air yang mengalami beban siklik yang cukup besar berupa gempa dengan waktu tertentu yang mengakibatkan terjadinya peningkatan tekanan air pori yang membuat tegangan efektif pada tanah semakin menurun sehingga tanah menjadi kehilangan daya dukungnya [4].

Kejadian likuefaksi Palu 2018 mengingatkan kita bahwa potensi bencana likuefaksi di Indonesia cukup besar dan perlu adanya perhatian khusus. Badan Geologi Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan pada tahun 2019 merilis peta potensi likuefaksi seluruh Indonesia [2]. Terlihat pada Gambar 1.1 bahwa potensi likuefaksi terjadi pada daerah tepian pantai yang berada dekat dengan zona seismik. Warna ungu menandakan zona potensi likuefaksi tinggi, warna kuning menandakan zona potensi likuefaksi sedang, warna hijau menandakan zona potensi likuefaksi rendah, dan warna abu-abu menandakan zona tidak berpotensi likuefaksi.



Gambar 1.1 Peta Zona Potensi Likuefaksi di Indonesia

Sumber: Badan Geologi Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan, 2019

Dengan adanya potensi likuefaksi yang cukup besar di beberapa wilayah di Indonesia, maka penelitian terkait likuefaksi di Indonesia harus terus ditingkatkan. Permodelan tanah likuefaksi ini menjadi salah satu metode untuk mengetahui kecenderungan tanah yang berpotensi mengalami likuefaksi.

2. Tinjauan Pustaka

Likuefaksi secara sederhana dapat diartikan sebagai tanah yang mencair. Sedangkan pengertian likuefaksi secara menyeluruh yaitu merupakan suatu fenomena pada tanah berukuran butir pasir halus dan jenuh air yang mengalami beban siklik yang cukup besar berupa gempa dengan waktu tertentu mengakibatkan terjadinya peningkatan tekanan air pori yang membuat tegangan efektif pada tanah semakin menurun sehingga tanah menjadi kehilangan daya dukungnya [4]. Hal ini didasari pada Persamaan 2.1

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2.1)$$

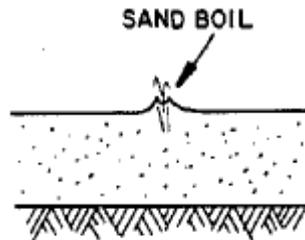
dimana σ' merupakan tegangan efektif tanah (kN/m^2), σ merupakan tegangan total tanah (kN/m^2) dan u merupakan tekanan air pori (kN/m^2).

Berdasarkan hasil penelitian mengenai jenis tanah likuefaksi akibat gempa di Padang pada September 2009, jenis tanah berupa tanah dengan kandungan butiran pasir halus sebanyak 65 % [5]. Tanah yang dapat menyebabkan likuefaksi yaitu dengan 3 kriteria yaitu: (1) Jumlah butiran yang lolos saringan no.200 < 15 %, (2) nilai LL (*Liquid Limit*) tanah < 35, dan (3) kandungan air pada tanah (w_c) > 0,9 LL [6]. Berdasarkan pernyataan tersebut dapat diperkirakan bahwa tanah yang berpotensi likuefaksi berupa tanah lanau atau pasir halus. Saat

terjadinya likuefaksi dapat memicu beberapa kegagalan seperti *sand boils*, *flow failures*, *lateral spreads*, *ground oscillation*, kehilangan daya dukung, atau bangunan turun masuk ke dalam tanah[3].

3.1.1 Sand Boils

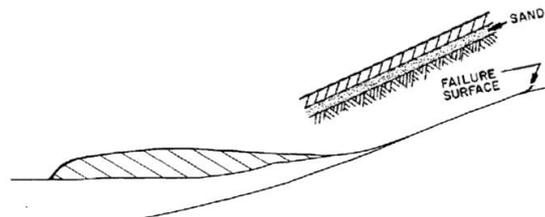
Fenomena sand boils merupakan pergerakan naiknya butiran pasir ke permukaan tanah yang disebabkan karena naiknya tekanan air pori di kedalaman tertentu (Gambar 2.1). Sand boils tidak menyebabkan kerusakan namun merupakan suatu pertanda terjadinya likuefaksi. Kehadiran sand boils umumnya diikuti oleh penurunan pada tanah di sekitarnya.



Gambar 2.1 Sand boils di permukaan tanah [3].

3.1.2 Flow Failures

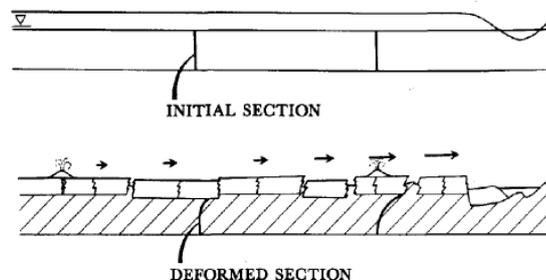
Flow Failures merupakan fenomena akibat adanya likuefaksi berupa adanya tanah yang bergerak mengalir. Pergerakan tanah mengalir ini dikarenakan adanya kemiringan (*slope*) pada permukaan tanah. Aliran tanah dapat bergerak sejauh puluhan hingga ratusan meter dengan kecepatan mencapai 10 km/jam. Flow failures dapat terjadi di daerah berlereng sekitar kaki bukit, lereng bendungan, dan daerah di sekitar pantai. Gambaran mengenai flow failure dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Flow failure [3]

3.1.3 Lateral spreads

Lateral spreads disebabkan adanya pergerakan lateral di permukaan tanah yang merupakan akibat dari likuefaksi pada lapisan bawah permukaan (Gambar 2.3).



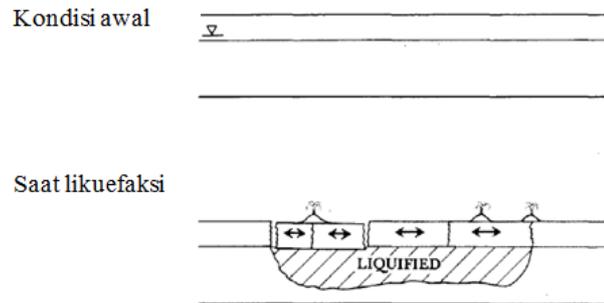
Gambar 2.3 Lateral spreads [2]

Lateral spreads umumnya terjadi pada kemiringan lereng yang sangat landai sekitar $0,3^{\circ}$ - 3° . Fenomena ini dapat mengakibatkan retakan di permukaan tanah dan umumnya berasosiasi

dengan sand boils. Adanya fenomena ini dapat mengakibatkan kerusakan struktur yang ada di atasnya baik itu jalan, jembatan, maupun gedung.

3.1.4 Ground Oscillation

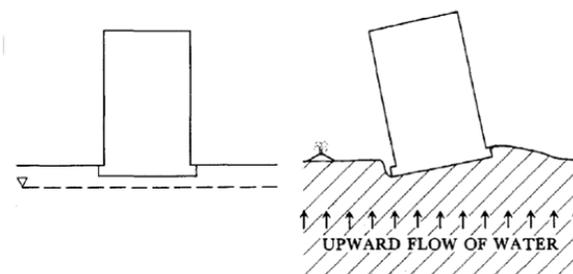
Fenomena *ground oscillation* umumnya terjadi pada permukaan tanah yang datar. Likuefaksi yang terjadi di bawah permukaan umumnya memisahkan blok-blok tanah yang berada di atasnya (Gambar 2.4). Blok-blok tanah saling berdesakan selama terjadinya gempa. Perilaku berdesakan dari blok-blok tanah ini menghasilkan gelombang permukaan yang bergerak naik dan turun.



Gambar 3.4 Ground oscillation akibat likuefaksi [1]

3.1.5 Kehilangan Daya Dukung Tanah

Likuefaksi dapat mengakibatkan struktur yang berada di atas tanah tenggelam masuk ke dalam tanah dan miring (Gambar 2.5). Hal ini terjadi akibat hilangnya daya dukung tanah akibat naiknya tekanan air pori. Kenaikan tekanan air pori dapat mengakibatkan tegangan efektif tanah menjadi berkurang. Berkurangnya tegangan efektif tanah inilah yang menjadi alasan tanah kehilangan daya dukungnya.



Gambar 2.5 Kehilangan daya dukung tanah akibat likuefaksi [1]

3.1.6 Permodelan likuefaksi

Salah satu perangkat lunak yang dapat digunakan sebagai media permodelan likuefaksi adalah *Geostudio 2012*. Dalam melakukan permodelan likuefaksi menggunakan *Geostudio 2012*, analisis yang dilakukan adalah menggunakan *Quake/W* dengan salah satu *output* yang dihasilkan berupa grafik atau gambar kontur perubahan tegangan efektif terhadap waktu dinamis. Selain itu, *Quake/W* juga menampilkan hasil berupa zona likuefaksi pada suatu lapisan tanah.

3. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan melalui dua tahapan yaitu tahap pengumpulan data dan tahap permodelan. Tahap pengumpulan data meliputi data profil bor tanah (Gambar 3.1) dan data hasil analisis laboratorium. Dalam tahap ini kondisi per lapisan tanah dan karakteristiknya dapat digambarkan untuk nantinya sebagai acuan dalam proses permodelan.

Sedangkan tahap permodelan terdiri atas tahap permodelan statis dan tahap permodelan dinamis. Permodelan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Geostudio 2012 – Quake/W*. Model dibuat berdasarkan kondisi per lapisan tanah serta parameter yang didapatkan berdasarkan karakteristik tanah digunakan sebagai input parameter model. Model

kondisi statis nantinya menggambarkan kondisi tanah sebelum terjadinya gempa, sedangkan model kondisi dinamis nantinya menggambarkan kondisi tanah saat terjadinya gempa. Model statis dan model dinamis tentu ada sedikit perbedaan dalam hal input parameter maupun kondisi batas modelnya. Hasil permodelan nantinya akan menggambarkan tanah yang berpotensi likuefaksi dilihat dari penurunan tegangan efektif tanahnya.

Depth (m)	Sample Type	USCS Classification	Graphic Log	Description
0				Fill Material
1				SAND, dark brown, wet, loose, soft to firm
2		SM		
3		SM		
4		SM		Fine to medium SAND w/ trace silt, poorly graded, dark brown, wet, loose
5		SM		Fine to medium SAND w/ trace silt, poorly graded, dark brown, wet, medium dense
6				
7				CLAY, dark brown, wet, high plasticity, stiff
8		CH		
9				CLAY, grey, wet, high plasticity, stiff to very stiff
10		CH		
11				
12				SILT, grey, wet, low plasticity very stiff
13		MH		
14				CLAY w/ few silt, greyish brown, wet, medium plasticity, stiff to hard
15		CH		
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				end of drilling at 20.00 m

Gambar 3.1 Data perlapisan tanah hasil pemboran

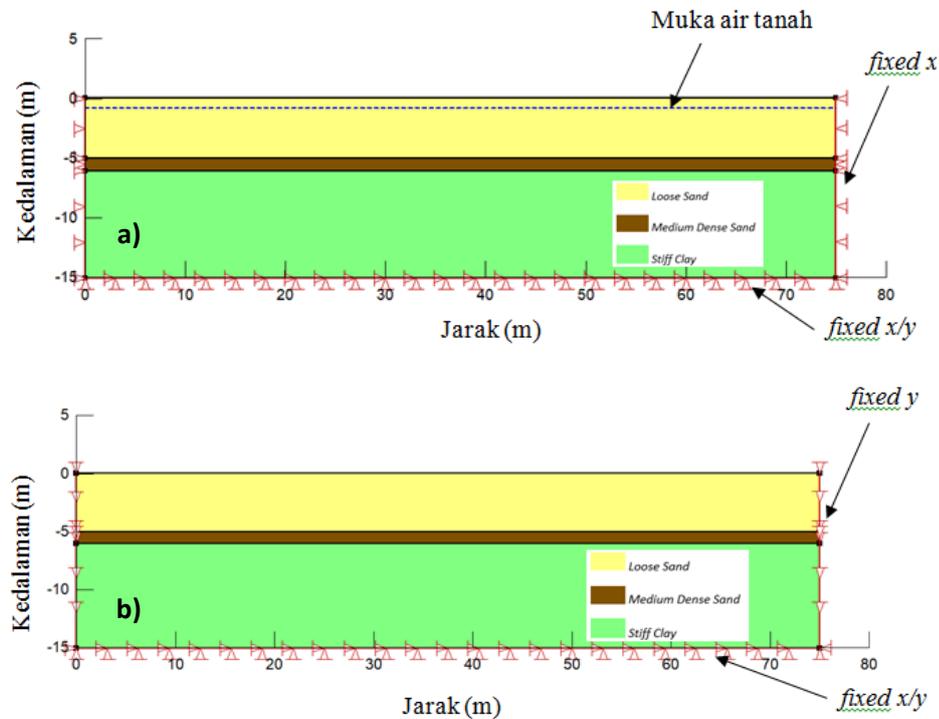
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Permodelan

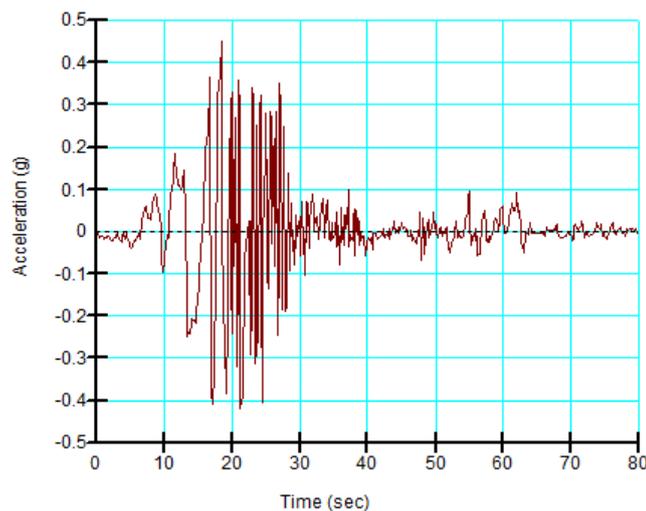
Berdasarkan model yang telah dibuat, kondisi awal dalam permodelan dibuat dengan asumsi kondisi statis. Permodelan kondisi statis terdiri atas kondisi perlapisan tanah, posisi muka air tanah, dan kondisi batas permodelan. Kondisi perlapisan tanah dan muka air tanah dibuat berdasarkan data pemboran. Lapisan tanah terdiri atas tiga lapisan yaitu dari yang paling atas lapisan tanah pasir lepas atau *loose sand* (kedalaman 0-5 m), lapisan tanah pasir agak padat atau *medium dense sand* (kedalaman 5-6 m) dan lapisan lempung kaku atau *stiff clay* pada kedalaman (6-15 m). Kondisi batas pada model berupa *fixed x* di bagian kiri dan kanan serta *fixed x/y* di bagian bawah (Gambar 4.1a).

Model untuk analisis kondisi dinamis (gempa) mengalami sedikit perubahan pada kondisi batas bagian kiri dan kanan. Jika sebelumnya pada analisis kondisi statis, batas kiri dan kanan model merupakan kondisi batas dimana arah-*x* dikunci agar tidak mengalami *displacement*

(fixed x). Pada analisis dinamis, batas kiri dan kanan merupakan kondisi batas dimana arah- y yang dikunci (fixed y) dengan asumsi bahwa ketika gempa terjadi maka kondisi tanah yang dominan bergerak adalah pada arah horizontal (Gambar 4.1b). Untuk batas bagian bawah, kondisi batas tetap sama dengan model kondisi statis yaitu fixed x/y . Dalam permodelan kondisi saat gempa, analisis yang dilakukan sedikit berbeda dengan adanya input parameter gempa. Data gempa yang digunakan berupa data kurva *time history* hubungan antara percepatan gempa dengan waktu (Gambar 4.2).

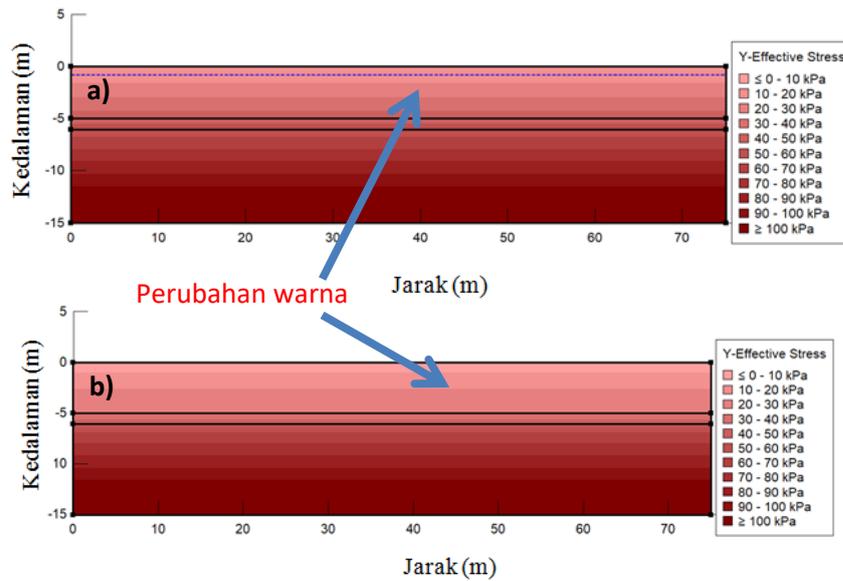


Gambar 4.1 Model pelapisan tanah a) kondisi awal dan b) kondisi gempa



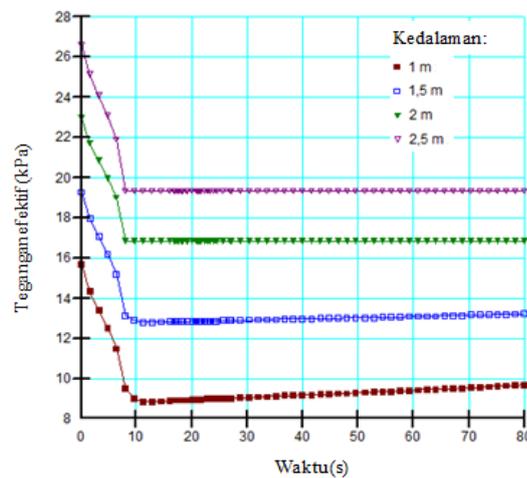
Gambar 4.2 Data input percepatan gempa

Dari hasil permodelan maka dapat diketahui kondisi tegangan efektif awal dari model tersebut. Gambar 4.3 merupakan kondisi tegangan efektif awal tanah dan kondisi tegangan efektif tanah setelah gempa. Kondisi tegangan efektif mengikuti kedalaman pelapisan tanah. Besarnya tegangan efektif tanah semakin meningkat dengan bertambahnya kedalaman. Hal ini ditandai dengan warna merah muda hingga merah tua.



Gambar 4.2 Distribusi tegangan efektif tanah a) kondisi awal dan b) kondisi gempa

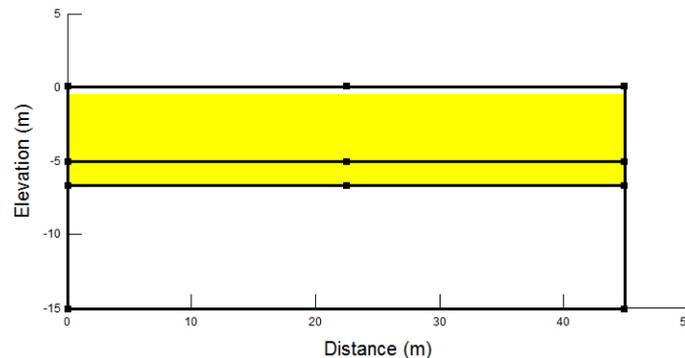
Berdasarkan Gambar 4.2 terlihat bahwa terjadi penurunan tegangan efektif tanah (σ') lapisan tanah pasir lepas (*loose sand*) pada kedalaman 0-5 m. Warna merah pada lapisan tersebut mengalami perubahan warna menjadi semakin muda setelah terjadinya gempa. Perubahan warna merah menjadi semakin muda ini menunjukkan bahwa nilai tegangan efektif yang menurun. Hal ini mengindikasikan bahwa tanah pasir pada lapisan 0-5 m berpotensi mengalami likuefaksi.



Gambar 4.3 Kurva penurunan tegangan efektif tanah

Selain itu, indikasi terjadinya likuefaksi juga terlihat dari kurva penurunan tegangan efektif tanah (Gambar 4.3). Terlihat pada kurva, masing-masing warna menunjukkan perbedaan kedalaman titik tinjau mulai dari kedalaman 1 m; 1,5 m; 2 m; dan 2,5 m. Pada kedalaman 1 m, tegangan efektif tanah berkurang dari 16 kPa menjadi sekitar 9 kPa, pada kedalaman 1,5 m, tegangan efektif tanah berkurang dari 19 kPa menjadi sekitar 13 kPa, pada kedalaman 2 m, tegangan efektif tanah berkurang dari 23 kPa menjadi sekitar 17 kPa, dan pada kedalaman 2,5 m, tegangan efektif tanah berkurang dari 27 kPa menjadi sekitar 19 kPa. Besarnya penurunan nilai tegangan efektif terjadi cukup seragam di masing-masing kedalaman yaitu sekitar 30% dari tegangan efektif awal. Hal ini menjadi indikasi bahwa

terjadi likuefaksi pada kedalaman 1 m hingga 2,5 m. Zona likuefaksi terjadi pada lapisan tanah pasir yang ditunjukkan oleh warna kuning pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Lapisan potensi likuefaksi ditunjukkan oleh warna kuning

5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian berupa permodelan menggunakan *Quake/W* untuk tanah likuefaksi, terlihat bahwa lapisan tanah pasir lepas kedalaman 0-5m berpotensi mengalami likuefaksi. Hal ini terlihat dari adanya penurunan nilai tegangan efektif tanah hingga 30% ketika terjadinya gempa. Permodelan ini hanya sebagai gambaran saja, tentu lebih baik lagi bila untuk penelitian selanjutnya dilakukan permodelan eksperimental untuk mengetahui lebih dalam bagaimana mekanisme likuefaksi tanah yang terjadi di lapangan.

Daftar Pustaka

- [1] Bennett, M.J., Mc Laughlin, P.V., Sarmiento, J.S., and Youd, T.L. 1984. *Geotechnical Investigation of Liquefaction Sites*. California: U.S. Geological Survey
- [2] Buana, T.W., Hermawan, W., Rahdiana, R.N., Wahyudin, R.W., Hasibuan, G., Wiyono, and Sollu, W.P. 2019. *Atlas Zona Kerentanan Likuefaksi Indonesia*. Bandung: Badan Geologi
- [3] Committee on Earthquake Engineering. 1985. *Liquefaction of Soil During Earthquakes*. Washington D.C : National Academy Press
- [4] Das, Braja M and Ramana, G.V. 2011. *Principles of Soil Dynamics second edition*. Stamford: Cengage Learning
- [5] Hakam, A., Suhelmidawati, E. 2013. *Liquefaction Due to September 30th 2009 Earthquake in Padang*. Elsevier
- [6] Wang, W.S. 1979. *Some Findings in Soil Liquefaction*. Beijing: Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute