

**ANALISIS LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA CPT
(STUDI KASUS: GEDUNG GEOLOGI UNPAD JATINANGOR)**

Vindy Elista Tiara¹, Raden Irvan Sophian¹, Nur Khoirullah¹

¹*Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Bandung*

Email Penulis: vindy18001@mail.unpad.ac.id

Naskah Diterima: Mei 2024 /Revisi: Mei 2024 /Disetujui: Desember 2024

ABSTRAK

Jatinangor yang merupakan salah satu kawasan pusat pendidikan di Jawa Barat, secara geologi menempati tepi timur laut Cekungan Bandung, sekitar 14 km dari segmen Sesar Lembang bagian timur yaitu Gunung Manglayang. Jatinangor tersusun atas litologi tuf lapuk berumur Plistosen Akhir – Holosen yang ditutupi oleh tanah campuran lanau lempungan dan lempung lanauan serta sedikit pasir lanauan. Likuifaksi yang merupakan bencana pencairan tanah nonkohesif lepas akibat gempa bumi bermagnitudo lebih dari Mw 5 dengan muka air tanah (MAT) dangkal, berpotensi terjadi pada Cekungan Bandung. Hasil analisis likuifaksi berdasarkan *simplified method* (Idriss & Boulanger, 2014) menggunakan data sondir dari 10 titik di dalam Kampus Unpad Jatinangor dengan bantuan *software Settle3* menunjukkan nilai faktor keamanan lebih dari 1 ($FS > 1$) yang berarti likuifaksi tidak terjadi ketika terkena gempa yang bermagnitudo Mw 6,5 dengan nilai percepatan tanah puncak (PGA) 0,15 g.

Kata kunci: Jatinangor; Likuifaksi; Tanah; CPT

ABSTRACT

Jatinangor, one of education center area in West Java, is geologically located in edge north east of Bandung Basin, about 14 km southeast from eastern Lembang Fault segment named Mount Manglayang. Jatinangor is consisted of weathered tuff aged Late Pleistocene – Holocene, covered by clayey silt-silty clay soil mixtures and a little amount of silty clay. Liquefaction, which is a soil liquefied disaster of loose noncohesive soil caused by more than Mw 5 earthquake with shallow water table, is potentially occurred in Bandung Basin. Result of liquefaction analysis from Cone Penetration Test (CPT) data of 10 locations in Unpad Jatinangor Campus using Settle3 Software based on simplified method (Idriss & Boulanger, 2014) shows that factor of safety values is higher than 1 ($FS > 1$) which means liquefaction does not occurred during Mw 6,5 earthquake with peak ground acceleration (PGA) values 0,15 g.

Keywords: Jatinangor; Liquefaction; Soil; CPT

**ANALISIS LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA CPT
(STUDI KASUS: GEDUNG GEOLOGI UNPAD JATINANGOR)**

PENDAHULUAN

Kecamatan Jatinangor merupakan salah satu kawasan pendidikan di Jawa Barat, dilihat dari adanya beberapa institusi pendidikan seperti Unpad, Ikopin, IPDN, dan ITB Jatinangor. Secara geologi, Kecamatan Jatinangor tersusun atas material endapan gunungapi tak teruraikan berumur Kuartar dan berada dekat dengan salah satu sesar aktif di Pulau Jawa, yaitu Sesar Lembang (Silitonga, 1973).

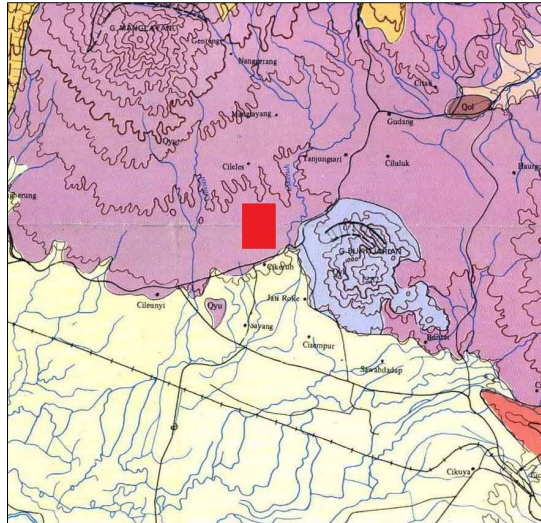
Tingginya angka kegempaan di Indonesia dengan magnitudo lebih dari Mw 5 menyebabkan likuifaksi telah terjadi beberapa kali dalam 20 tahun terakhir seperti pada tahun 2004 di Aceh (Mw 9,1), tahun 2005 di Pulau Nias (Mw 8,7), tahun 2006 di Bantul (Mw 6,3), tahun 2007 di Bengkulu (Mw 8,4), tahun 2009 di Padang (Mw 7,6), dan tahun 2018 di Balaroa Palu (Mw 7,4). Daerah-daerah tersebut dikategorikan ke dalam potensi likuifaksi sedang hingga tinggi berdasarkan peta zona kerentanan likuifaksi Indonesia (KESDM, 2019). Daerah-daerah tersebut merupakan wilayah pantai yang tersusun atas endapan aluvial yang dilalui oleh struktur geologi seperti Sesar Palu-Koro pada bencana likuifaksi Palu (Subakti & Renagustiari, 2022).



Gambar 1 Peta lokasi penelitian (Sumber: Google Earth, 2024)

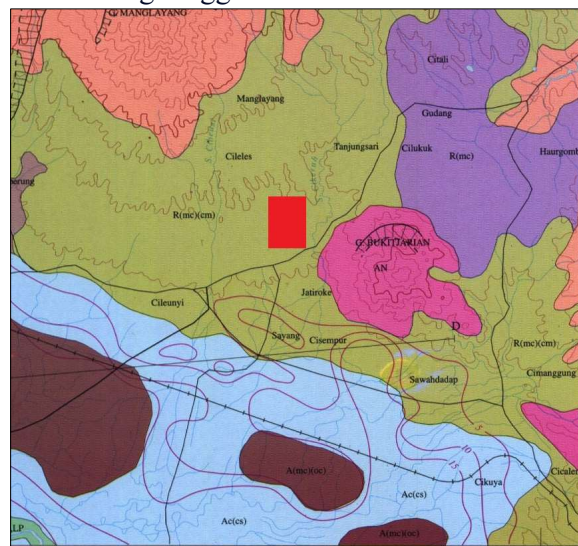
a. Geologi dan Geologi Teknik Regional

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Bandung berskala 1:100.000 (Silitonga, 1973 dalam Sophian et al., 2017), Kampus Unpad di Kecamatan Jatinangor terletak di Cekungan Bandung bagian tepi timur laut, sekitar 16 km di sebelah tenggara Gunung Manglayang yang merupakan segmen Sesar Lembang bagian timur. Daerah yang terletak di perbatasan Bandung dan Sumedang ini tersusun atas endapan gunungapi muda tak teruraikan berumur Kuartar (Qy). Satuan litologi tersebut tersusun atas pasir tufan, tuf, lapili, lava, breksi, dan aglomerat yang sebagian besar merupakan produk vulkanik dari Gunung Tangkubanparahu, Gunung Tampomas, dan Gunung Manglayang di antara Bandung dan Sumedang. Litologi tersebut membentuk area perbukitan rendah atau mendatar, dan tertutup oleh tanah residu berwarna abu kekuningan hingga abu kemerahan.



Gambar 2 Geologi regional Jatinangor (Silitonga, 1973)

Berdasarkan Peta Geologi Teknik Lembar Bandung berskala 1:100.000 (Djaja & Hermawan, 1996 dalam Sophian et al., 2017), daerah Jatinangor tersusun atas satuan tanah lempung lanauan (*silty clay*) dan lanau pasir (*sandy silt*) dengan notasi R(mc)(cm). Jenis tanah tersebut merupakan tanah residu hasil pelapukan batupasir tufan, tufa, konglomerat, aglomerat, lapili dan breksi, dengan ketebalan 2 – 20 m. Pada satuan tanah tersebut, ditemukan kerakal dan bongkah batuan beku berwarna coklat kemerahan dengan plastisitas sedang hingga tinggi, permeabilitas rendah, konsistensi teguh hingga kaku, memiliki daya dukung tanah yang diizinkan rendah hingga sedang, dan kedalaman akuifer bebas sedang hingga dalam.



Gambar 3 Geologi teknik regional Jatinangor (Djaja & Hermawan, 1996)

Daerah Jatinangor termasuk ke dalam Cekungan air tanah Bandung yang memiliki luas sekitar 1.730 km², dibentuk oleh beberapa sistem akuifer yang mengandung air tanah potensial. Berdasarkan letak dan kondisinya, akuifer ini dapat dibagi menjadi tiga kelompok akuifer yang terdiri dari akuifer dangkal pada kedalaman 0 – 40 m, akuifer tengah pada kedalaman 40 – 150 m dan akuifer dalam yang terletak pada kedalaman >150 m (Ambarwati dkk., 2020).

b. Likuifaksi

Likuifaksi didefinisikan sebagai transformasi butiran material dari kondisi padat menjadi cair

**ANALISIS LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA CPT
(STUDI KASUS: GEDUNG GEOLOGI UNPAD JATINANGOR)**

(*liquefied*) sebagai akibat dari bertambahnya tekanan air pori dan berkurangnya tegangan efektif akibat beban siklik (Marcuson, 1978 dalam Idriss & Boulanger, 2008). Likuifaksi terjadi pada sedimen berumur muda dengan MAT dangkal. Menurut Idriss & Boulanger (2008), skema terjadinya likuifaksi dimulai dari hilangnya kekuatan tanah akibat pemberian beban siklik dari gempa secara tiba-tiba. Peristiwa tersebut kemudian menyebabkan tanah tidak mempunyai cukup waktu untuk meloloskan air (*permeability*), sehingga tekanan air pori (*pore water pressure*) pada butiran tanah mengalami kenaikan secara signifikan senilai dengan tegangan total yang menyebabkan tegangan efektif bernilai nol. Pada tahap inilah tanah akan berperilaku seperti cairan (*liquefied*) atau munculnya gejala-gejala likuifaksi seperti *sand boiling*. *Sand boiling* terjadi karena tanah dalam proses pemadatan setelah terguncang gempa sehingga air dalam pori-pori tanah akan berusaha untuk keluar ke permukaan.

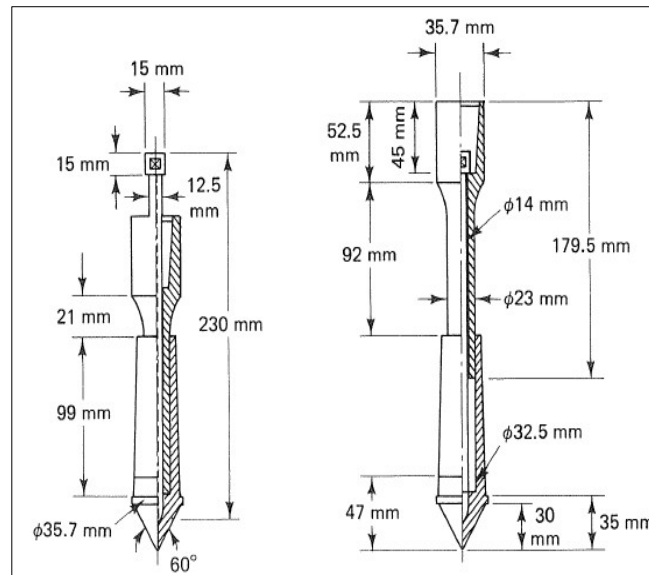
Umumnya, likuifaksi terjadi pada pasir *loose* seperti pada endapan aluvial dan dekat dengan daerah pantai, namun menurut Ambarwati dkk. (2020), daerah Cekungan Bandung yang merupakan endapan vulkanik juga menyimpan potensi likuifaksi, tepatnya pada lapisan tanah campuran lanau dan pasir pada kedalaman kurang dari 5 m. Hasil tersebut menjadi latar belakang dilakukannya penelitian ini.

Menurut Idriss & Boulanger (2008), likuifaksi dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya karakteristik tanah (kepadatan, gradasi, *finer content*, umur deposit, derajat kejenuhan, sementasi, koefisien tekanan), karakteristik gempabumi (magnitudo, durasi, frekuensi), stratigrafi dan topografi (sikuen dan ketebalan lapisan, kontinuitas zona lemah, ketinggian muka airtanah, konduktivitas hidrolis, kelerengan muka tanah, jarak *free face*), serta fenomena kompleks lainnya (efek tiga dimensi, rekahan tanah, pengaruh struktur fondasi).

Likuifaksi menyebabkan hilangnya kekuatan geser tanah yang dapat memicu ketidakstabilan lereng atau tanggul, *lateral spreading*, dan *settlement*. Ketiga dampak tersebut sangat berpengaruh terhadap konstruksi bangunan. Likuifaksi dapat mengakibatkan kerusakan yang membahayakan seperti runtuhnya (ambblas) tanah, longsoran lereng, rusaknya struktur bangunan dan kegagalan fondasi (Seed et al., 2003 dalam Idriss & Boulanger 2008). Jika terjadi dalam skala yang lebih besar, likuifaksi dapat menenggelamkan dan mengubur satu kawasan seperti yang terjadi di Petobo, Sulawesi Tengah.

c. Cone Penetration Test

Cone Penetration Test (CPT) atau dalam bahasa Indonesia biasa disebut dengan sondir adalah salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis potensi likuifaksi di suatu daerah dilihat dari karakteristik geoteknik tanah dan delineasi stratigrafi tanah daerah tersebut (Robertson & Campanella, 1985). Metode ini awalnya dikembangkan pada tahun 1950-an di *Dutch Laboratory for Soil Mechanics*, Delft, Belanda, untuk meneliti tanah lunak. Oleh karena itu, CPT disebut juga *Dutch Cone Test*. Uji CPT mampu mencapai kedalaman maksimum 30 m untuk spesifikasi 2,5ton (sondir ringan) dan maksimum 50 m untuk spesifikasi alat uji CPT 10 ton (sondir berat). Konus CPT tersedia dalam berbagai ukuran untuk berbagai macam tujuan pengujian, namun standar ukuran yang digunakan dalam industri adalah 10 cm² sesuai dengan Standar ASTM untuk Uji CPT.



Gambar 4 Alat CPT/sondir mekanik

Alat CPT dilengkapi dengan *Adhesion Jacket Cone type Bagemann* yang dapat mengukur nilai perlawanan pada ujung konus dan hambatan lekat pada selubung (*local friction*) yang diperoleh secara langsung di lapangan. Alat sondir dipasang pada titik sondir, kemudian pembacaan manometer dilakukan setiap interval 20 cm kedalaman sampai nilai perlawanan konus telah mencapai 250 kg/cm² atau jumlah hambatan lekat telah mencapai 2,5 ton (kapasitas alat) atau sampai kedalaman 30 m yang merupakan kedalaman maksimum alat sondir.

METODOLOGI

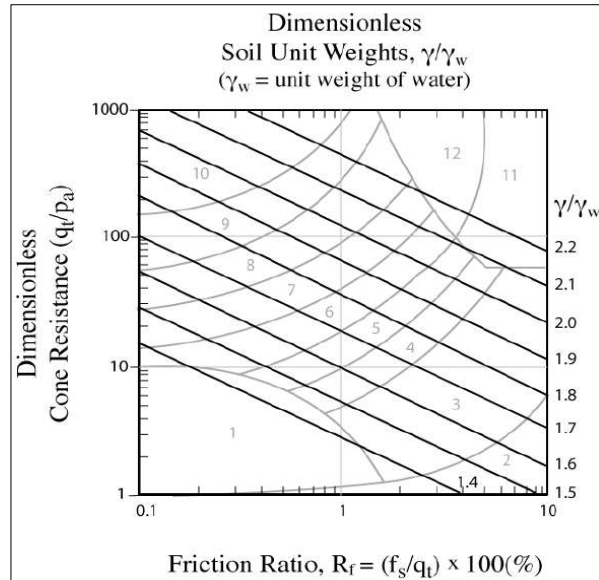
Penelitian ini menggunakan data *Cone Penetration Test* (CPT) atau sondir pada kedalaman yang bervariasi antara 7,8 m – 15,6 m dari 6 titik pengujian di area Kampus Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran Jatinangor, dan tidak ditemukan MAT pada semua titik pengujian karena diketahui kedalaman MAT berdasarkan sumur setempat adalah 80 m. Data gempa diketahui sebesar Mw 6,5 yang bersumber dari Sesar Lembang (Ambarwati dkk., 2020). Data CPT yang digunakan terdiri atas parameter perlawanan konus (q_c), perlawanan geser (f_s), dan *friction ratio* (R_f).

Analisis CPT menggunakan metode klasifikasi *Soil Behaviour Type* (Robertson, 1990) dan Perhitungan likuifaksi menggunakan *simplified method* (Idriss & Boulanger, 2014) dengan bantuan *software Settle3*. Perhitungan CPT akan menghasilkan parameter mekanik tanah berupa perlawanan konus terkoreksi (q_{cl}), berat satuan (γ), tegangan total (σ), tegangan efektif (σ'), indeks perilaku tanah (I_c) kecepatan gelombang geser (V_s), dan *finer content* (FC). Nilai perlawanan konus terkoreksi akan sama dengan perlawanan konus karena tidak adanya tekanan air pori ($q_{cl} = q_c$) akibat kondisi MAT yang dalam.

Berat satuan tanah didapatkan dari perhitungan yang melibatkan parameter berat satuan air (γ_w) senilai 9,81 kN/m³, *friction ratio* (R_f), perlawanan konus terkoreksi (q_t), dan tekanan atmosfer (P_a) senilai 101,235 kN/m². Perhitungan berat satuan dari data CPT (Robertson, 2010):

$$\frac{\gamma}{\gamma_w} = 0,27(\log R_f) + 0,36 \left[\log \left(\frac{q_t}{P_a} \right) \right] + 1,236 \quad (1)$$

ANALISIS LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA CPT
(STUDI KASUS: GEDUNG GEOLOGI UNPAD JATINANGOR)



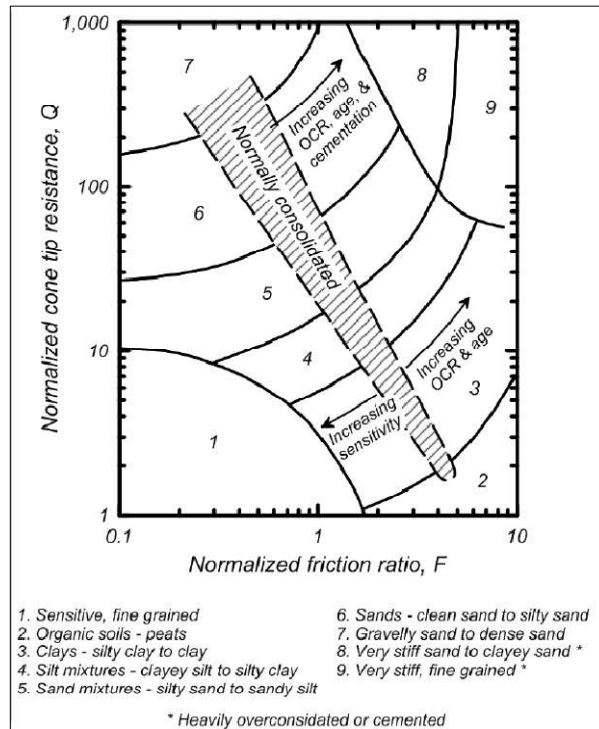
Gambar 5 Diagram estimasi berat satuan tanah (Robertson, 2010)

Tegangan total didapatkan dari perhitungan yang melibatkan parameter kedalaman (z) dan berat satuan (γ). Karena tekanan air pori bernilai nol, maka besar tegangan total sama dengan tegangan efektif ($\sigma = \sigma'$). Perhitungan tegangan total dari data CPT (Anonim, 2021):

$$\sigma = \sum(z_i \times \gamma_i) \quad (2)$$

Perhitungan indeks perilaku tanah (I_c) atau *soil behaviour type index (SBT index)* dari data CPT untuk mengetahui jenis tanah berdasarkan klasifikasi Robertson (1990):

$$I_c = [(3,47 - \log Q_t)^2 + (\log Fr + 1,22)^2]^{0,5} \quad (3)$$



Gambar 6 Diagram klasifikasi tanah (Robertson, 1990)

Perhitungan kecepatan gelombang geser dari data CPT (Mayne, 2006 dalam Anonim, 2021):

$$V_s = 51,6 \ln f_s + 18,5 \quad (4)$$

Tabel 1. Klasifikasi jenis tanah berdasarkan nilai V_s (NEHRP, 1994 dalam SNI 1726:2012)

Klasifikasi Jenis Tanah	V_s	N atau N_{ch}	S_u
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	$750 - 1500$	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	$350 - 750$	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	$175 - 350$	$15 - 50$	$50 - 100$
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:			
1. Indeks plastisitas $PI > 20$			
2. Kadar air $w \geq 40\%$ dan kuat geser $S_u < 25$ kPa			
Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:			
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik)	1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah		
	2. Lempung sangat organik dan/ atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		
	3. Lempung berplastisitas sangat tinggi ($H > 7,5$ m dengan $PI > 75$)		
	4. Lapisan lempung lunak medium kaku ($H > 35$ m dengan $S_u < 25$ kPa)		

Fines content (FC) merupakan butiran tanah yang lolos saringan nomor 200 (ASTM) atau setara dengan 0,075 mm (Yi, 2014). Nilai FC bergantung pada nilai indeks perilaku tanah.

Tabel 2 Nilai *fines content* berdasarkan indeks perilaku tanah (Robertson, 1990 dalam Yi, 2014)

I_c	Zona	Klasifikasi USCS	FC (%)
$I_c < 1,31$	7	<i>Gravelly sand to dense sand</i>	0
$1,31 \leq I_c < 1,59$	6c	<i>Clean sand</i>	0 ~ 5,0
$1,59 \leq I_c < 1,83$	6b	<i>Sand with silt</i>	5,0 ~ 12,0
$1,83 \leq I_c < 2,276$	6a – 5c	<i>Silty sand</i>	12,0 ~ 35,0
$2,276 \leq I_c < 2,50$	5b	<i>Silty sand to sandy silt</i>	35,0 ~ 50,0
$2,50 \leq I_c < 2,68$	5a – 4b	<i>Sandy silt to silty sand</i>	50,0 ~ 65,0
$2,68 \leq I_c < 2,95$	4a	<i>Silt mixture: clayey silt to silty clay</i>	65,0 ~ 87,4
$2,95 \leq I_c < 3,10$	3b	<i>Silty clay</i>	87,4 ~ 100
$3,10 \leq I_c < 3,60$	3a	<i>Clay</i>	100
$I_c \geq 3,60$	2	<i>Organic soils: peat</i>	100

Selain parameter mekanik tanah, perhitungan likuifaksi juga membutuhkan data *peak ground acceleration* (PGA atau a_{max}) yang dapat dihitung menggunakan persamaan Fungsi Atenuasi (Boore et al., 1997 dalam Sa'adah dkk., 2015) untuk gempa yang bersumber dari struktur sesar aktif. Perhitungan ini melibatkan parameter magnitudo gempa (M) sebesar M_w 6,5, jarak daerah penelitian ke episentrum gempa (r) sejauh 25 km, dan kecepatan gelombang geser (V_s) sebesar 172,3 m/s.

$$\ln Y = -0,313 + 0,527(M - 6) - 0,778 \ln r - 0,371 \ln \frac{V_s}{1396} \quad (5)$$

**ANALISIS LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA CPT
(STUDI KASUS: GEDUNG GEOLOGI UNPAD JATINANGOR)**

Dalam *software Settle3*, analisis likuifaksi dilakukan dalam dua tahap, yaitu *liquefaction triggering* dan *post liquefaction*. *Liquefaction triggering* meliputi parameter-parameter yang menentukan apakah likuifaksi akan terjadi, yaitu tahanan tanah terhadap beban gempa atau *cyclic resistance ratio* (CRR), tegangan yang diberikan oleh gempa terhadap tanah atau *cyclic stress ratio* (CSR), dan faktor keamanan atau *factor of safety* (FS). Inti dari analisis *liquefaction triggering* adalah menentukan nilai faktor keamanan dengan membandingkan nilai CRR terhadap CSR. Sedangkan *post liquefaction* meliputi parameter-parameter yang didapatkan setelah likuifaksi terjadi, yaitu gaya regangan geser maksimum (*maximum shear strength*), pergeseran lateral (*lateral displacement*), dan penurunan (*settlement*).

Nilai CSR didapatkan dari perhitungan yang melibatkan parameter PGA (a_{max}) senilai 0,15 g, percepatan gravitasi (g) senilai 9,8 m/s², tegangan total (σ), tegangan efektif (σ'), dan faktor reduksi (r_d) senilai <1 dan akan berkurang seiring bertambahnya kedalaman. Perhitungan nilai CSR (Seed & Idriss, 1971 dalam NCEER, 1997):

$$CSR = 0,65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma}{\sigma'} \right) r_d \quad (6)$$

Nilai CRR didapatkan dari perhitungan yang melibatkan parameter normalisasi perlawanan konus ekuivalen dengan *clean sand* (q_{c1Ncs}) dalam bentuk eksponensial. Perhitungan nilai CRR (Idriss & Boulanger, 2014):

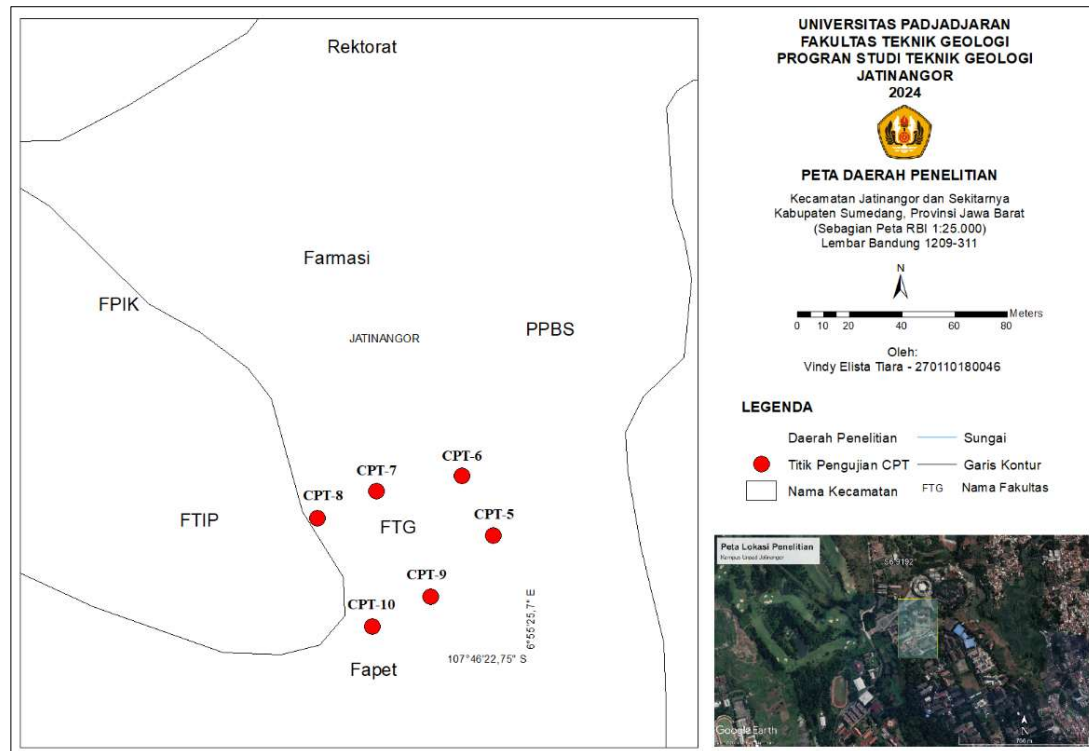
$$CRR_{M=7,5, \sigma'_v=1 atm} = \exp \left(\frac{q_{c1Ncs}}{113} + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{1000} \right)^2 - \left(\frac{q_{c1Ncs}}{140} \right)^3 + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{137} \right)^4 - 2,80 \right) \quad (7)$$

Nilai FS dapat diperoleh dengan membandingkan nilai CRR dan CSR. Perhitungan nilai FS (Idriss & Boulanger, 2014):

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (8)$$

Terdapat tiga kondisi faktor keamanan likuifaksi (Kramer et al., 2008 dalam Farichah, 2019):

1. Nilai $FS > 1$ menunjukkan bahwa tahanan yang dimiliki tanah (CRR) cukup dan lebih besar untuk menahan tegangan yang diberikan oleh beban siklik gempa (CSR) sehingga likuifaksi tidak terjadi ($CSR < CRR$).
2. Nilai $FS < 1$ menunjukkan bahwa tahanan yang dimiliki tanah (CRR) tidak cukup dan kurang mampu untuk menahan tegangan yang diberikan oleh beban siklik gempa (CSR) sehingga likuifaksi terjadi ($CSR > CRR$).
3. Nilai $FS = 1$ menunjukkan bahwa tahanan yang dimiliki tanah (CRR) cukup untuk menahan tegangan yang diberikan oleh beban siklik gempa (CSR) tetapi berada dalam kondisi kritis atau belum aman ($CSR = CRR$).



Gambar 7 Peta lokasi pengujian sondir

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Geologi dan Geologi Teknik Daerah Penelitian

Daerah penelitian termasuk ke dalam satuan tuf yang terdiri atas tuf dan tuf lapili (Frini, 2015 dalam Setia dkk., 2020). Litologi tuf lapili yang berwarna lapuk coklat cerah dan warna segar abu-abu, memiliki ukuran butir tuf kasar, bentuk butir menyudut, kemas tertutup, pemilahan sedang, struktur masif, kekerasan batuan agak keras, dan terdapat fragmen gelas. Di daerah penelitian tidak ditemukan struktur geologi seperti kekar dan sesar, hanya saja terdapat Sesar Lembang berorientasi barat-timur yang terletak di sebelah barat laut dekat daerah penelitian. Daerah penelitian merupakan perbukitan tinggi yang terletak pada elevasi 772 m di atas permukaan laut (Van Zuidam, 1985).

Daerah penelitian terletak di sebelah tenggara kaki Gunung Manglayang pada bagian selatan, dengan relief yang landai hingga datar (kemiringan lereng $<10^\circ$) karena dikontrol oleh material vulkanik yang lebih rentan terhadap pelapukan dan erosi (Sophian, 2020). Karena terletak di wilayah relatif datar inilah yang menjadi salah satu pertimbangan dibangunnya banyak institusi pendidikan di daerah penelitian. Secara genetis, daerah penelitian merupakan perbukitan yang terbentuk oleh aktivitas vulkanik yang menghasilkan material produk vulkanik penyusun daerah penelitian, yaitu tuf (Sophian, 2020). Terdapat sedikit pengaruh dari aktivitas tektonik terhadap daerah penelitian. Berdasarkan peta kelurusan lembahan dan punggungan, ditemukan adanya bidang-bidang kekar yang merupakan dampak dari aktivitas tektonik Sesar Lembang di sebelah barat laut daerah penelitian.

Menurut Rukmana (2020), jenis tanah yang menyusun wilayah Jatininggor berdasarkan klasifikasi USCS terdiri atas lanau dengan plastisitas rendah (ML), lanau dengan plastisitas tinggi (MH), dan

**ANALISIS LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA CPT
(STUDI KASUS: GEDUNG GEOLOGI UNPAD JATINANGOR)**

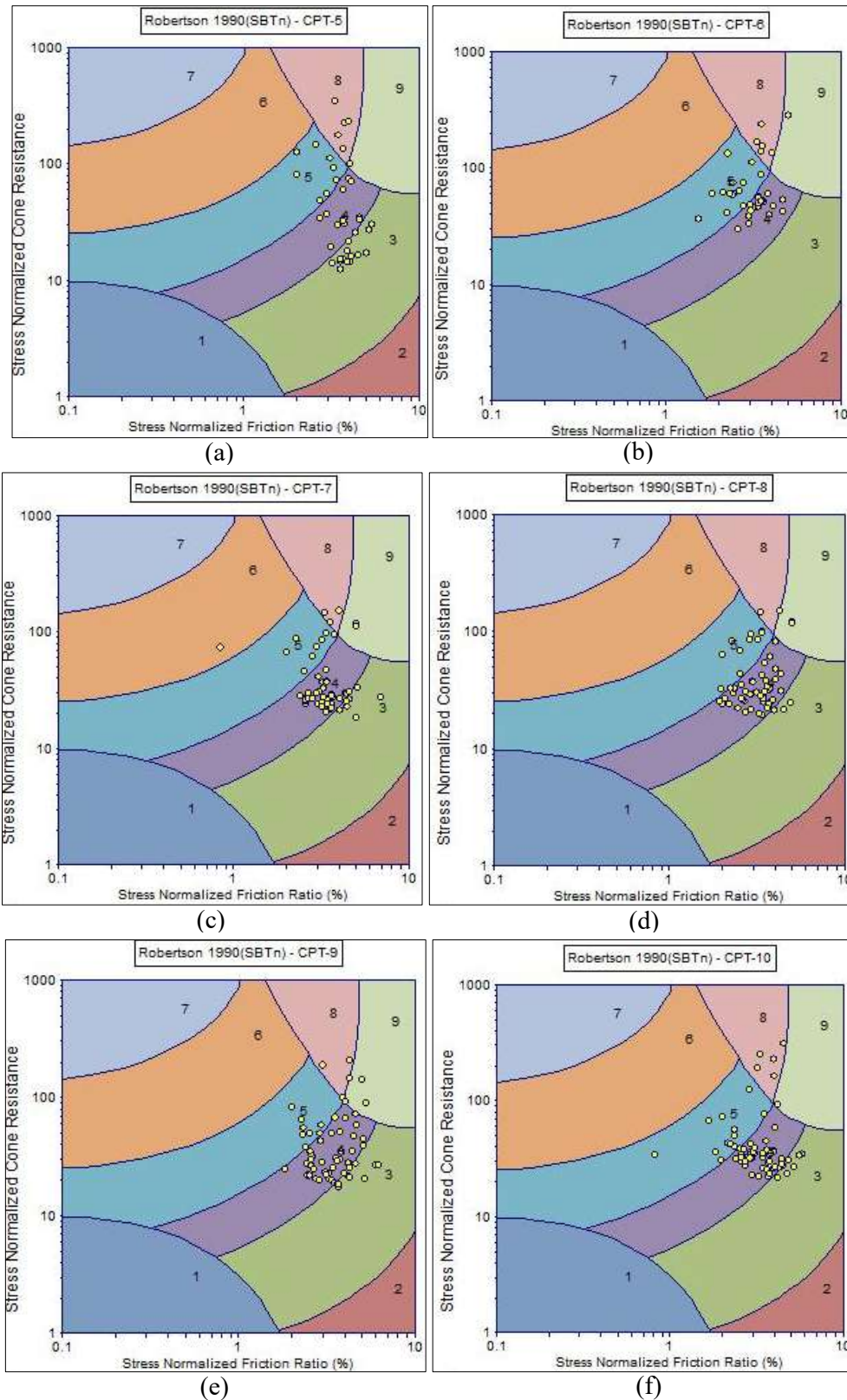
lempung dengan plastisitas tinggi (CH) yang berasal dari lapukan material vulkanik berupa breksi laharik dan tuf. Lapukan material vulkanik membentuk tanah yang didominasi oleh butiran halus sehingga memiliki sifat kohesif dan mempunyai nilai plastisitas (Khoirullah & Sophian, 2019). Berdasarkan hasil analisis CPT yang menghasilkan klasifikasi tanah SBT (Robertson, 1990), daerah penelitian tersusun atas empat jenis tanah, yaitu tanah pasir lempungan sangat padat (*very dense sand to clayey sand*), tanah pasir campuran lanau (*sand mixtures - silty sand to sandy silt*), tanah lanau campuran lempung (*silt mixtures - clayey silty to silty clay*), dan tanah lempung (*clay - silty clay to clay*). Jenis tanah yang menyusun daerah penelitian didominasi oleh lanau campuran lempung. Hasil tersebut cukup sesuai dengan kondisi geologi teknik regional (Djaja & Hermawan, 1996) yang memetakan daerah Jatinangor termasuk ke dalam satuan tanah lempung lanauan dan lanau pasiran.

b. Hasil Perhitungan CPT

Hasil perhitungan CPT menghasilkan nilai parameter mekanik tanah yang cukup seragam pada CPT-5 – CPT-10. Sedangkan untuk nilai PGA berdasarkan jarak daerah penelitian ke episentrum gempa sejauh 25 km adalah sebesar 0,15 g.

Beberapa karakteristik tanah di daerah penelitian berdasarkan perhitungan parameter tanah dari data CPT adalah sebagai berikut:

1. Berat satuan tanah di daerah penelitian berada pada rentang 16 – 21 kN/m³ dan cukup stabil pada nilai 18 – 19 kN/m³ dikarenakan daerah penelitian didominasi oleh tanah lanau campuran lempung.
2. Tegangan efektif di daerah penelitian berada pada rentang 14 – 240 kPa yang nilainya sama besar dengan tegangan total karena tekanan air pori bernilai nol yang disebabkan oleh kedalaman muka air tanah sebesar 80 m, cukup berpengaruh terhadap faktor keamanan likuifaksi yang sebagian besar berada pada angka 2.
3. Kecepatan gelombang geser di daerah penelitian berada pada rentang 172 – 332 m/s dengan rata-rata sebesar 252,3 m/s yang menandakan daerah penelitian tersusun atas tanah sedang (SD) berdasarkan klasifikasi NEHRP (1994), sebanding dengan besarnya nilai faktor keamanan likuifaksi pada lapisan tanah dengan nilai kecepatan gelombang geser yang besar.
4. Kepadatan relatif tanah di daerah penelitian berada pada rentang 8,4 – 70,6% dengan rata-rata sebesar 38,3%. Sebaran nilai kepadatan relatif yang kurang dari 50% terutama pada lapisan atas dan masih berada pada kategori *medium dense* (Lambe & Whitman, 1979) ditandai dengan nilai faktor keamanan likuifaksi yang belum mencapai 2 di sebagian kecil lapisan tanah dengan kepadatan relatif yang kurang dari rata-rata sebesar 38,3%. Hal tersebut cukup berkaitan dengan laju pelapukan di daerah penelitian yang cukup tinggi sehingga tanah lapisan atas belum mengalami pemadatan secara optimal dalam kurun waktu yang singkat.
5. Kandungan material halus berukuran kurang dari 0,075 mm (*finer content*) pada tanah di daerah penelitian berkisar antara 72,4% – 100% yang berkorelasi dengan tingginya nilai faktor keamanan likuifaksi.



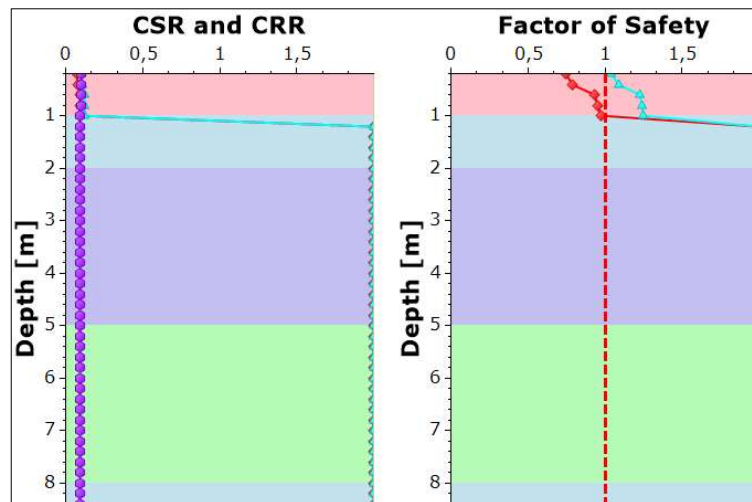
Gambar 8 Sebaran nilai indeks perilaku tanah pada diagram SBTn (Robertson, 1990):
 (a) CPT-5, (b) CPT-6, (c) CPT-7, (d) CPT-8, (e) CPT-9, (f) CPT-10

ANALISIS LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA CPT
(STUDI KASUS: GEDUNG GEOLOGI UNPAD JATINANGOR)

c. Hasil Perhitungan Likuifaksi (Liquefaction Triggering)

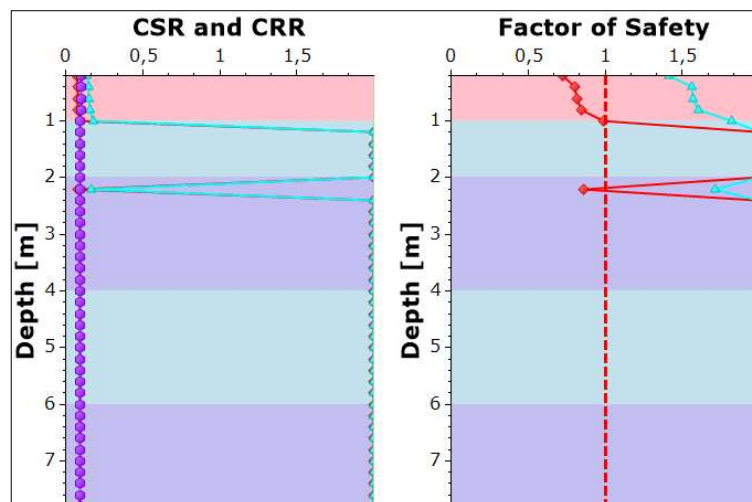
Hasil perhitungan parameter *liquefaction triggering* akan dijelaskan berdasarkan grafik perhitungan yang diperoleh pada masing-masing titik CPT. Pada semua CPT, nilai FS sudah masuk ke dalam kategori aman terhadap likuifaksi, namun grafik ini dibuat untuk mengetahui sebaran nilai faktor keamanan berdasarkan jenis tanah.

Nilai CRR lebih besar dari CSR ($CRR > CSR$) pada CPT-5 yang mengindikasikan $FS > 1$ (tidak terjadi likuifaksi). Hampir semua CRR di CPT-5 bernilai 2, yang juga menghasilkan FS bernilai 2 (kondisi sangat aman) pada kedalaman 1 – 8,4 m (pasir campuran lanau, lanau campuran lempung, lempung). Pada titik CPT-5 ditemukan lapisan tanah lempung dengan ketebalan 3 m di kedalaman 5 – 8 m yang merupakan jumlah tanah lempung terbanyak apabila dibandingkan dengan titik CPT lainnya.



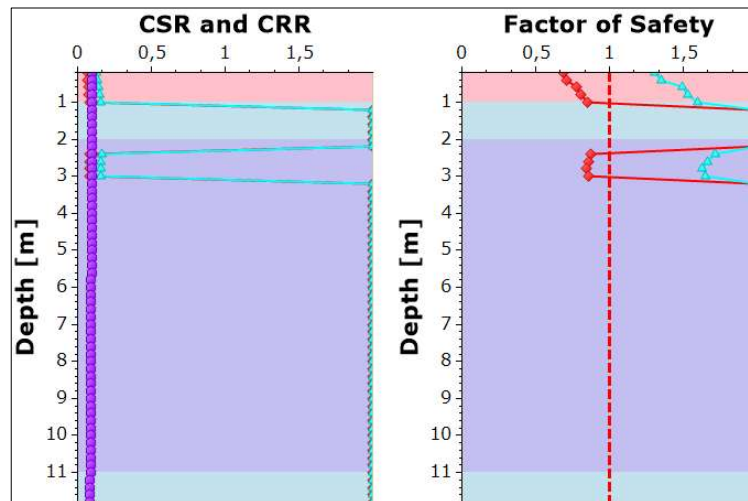
Gambar 8 Grafik CSR, CRR, dan FS pada CPT-5

Nilai CRR lebih besar dari CSR ($CRR > CSR$) pada CPT-6 yang mengindikasikan $FS > 1$ (tidak terjadi likuifaksi). Hampir semua CRR di CPT-6 bernilai 2, yang juga menghasilkan FS bernilai 2 (kondisi sangat aman) pada kedalaman 1 – 2 m (pasir campuran lanau) dan 2,2 – 8 m (pasir campuran lanau, lanau campuran lempung).



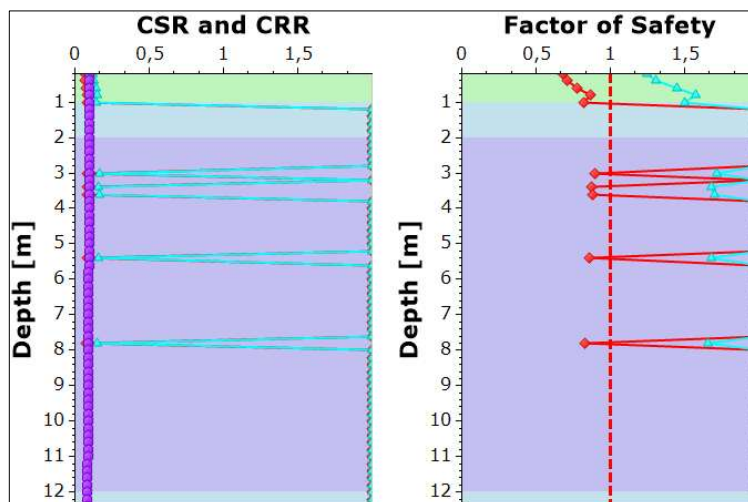
Gambar 9 Grafik CSR, CRR, dan FS pada CPT-6

Nilai CRR lebih besar dari CSR ($CRR > CSR$) pada CPT-7 yang mengindikasikan $FS > 1$ (tidak terjadi likuifaksi). Hampir semua CRR di CPT-7 bernilai 2, yang juga menghasilkan FS bernilai 2 (kondisi sangat aman) pada kedalaman 1 – 2 m (pasir campuran lanau) dan 3 – 12 m (lanau campuran lempung, pasir campuran lanau).



Gambar 10 Grafik CSR, CRR, dan FS pada CPT-7

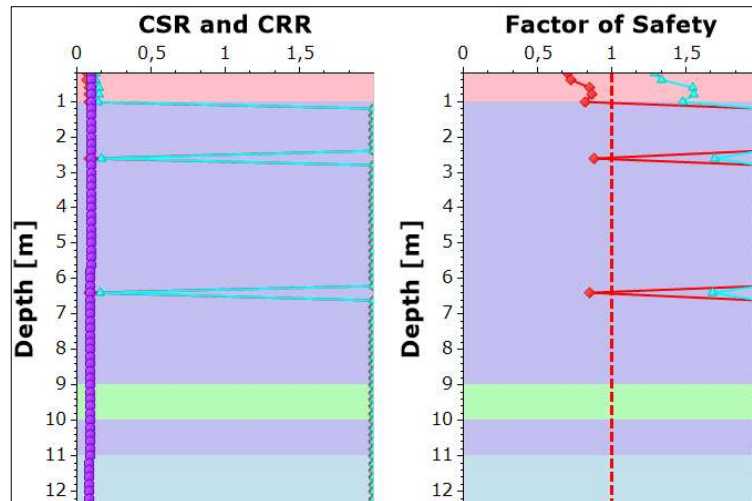
Nilai CRR lebih besar dari CSR ($CRR > CSR$) pada CPT-8 yang mengindikasikan $FS > 1$ (tidak terjadi likuifaksi). Hampir semua CRR di CPT-8 bernilai 2, yang juga menghasilkan FS bernilai 2 (kondisi sangat aman) pada kedalaman 1 – 3 m (pasir campuran lanau, lanau campuran lempung) dan 4 – 12 m (lanau campuran lempung, pasir campuran lanau). Pada titik CPT-8 tidak ditemukan tanah pasir lempungan di lapisan teratas sebagaimana yang ditemukan pada titik CPT lainnya, namun terdapat jenis tanah lain yaitu tanah berbutir halus sangat kaku dengan ketebalan 1 m yang memiliki nilai FS sekitar 1,5 (paling rendah di antara lapisan-lapisan tanah lainnya).



Gambar 11 Grafik CSR, CRR, dan FS pada CPT-8

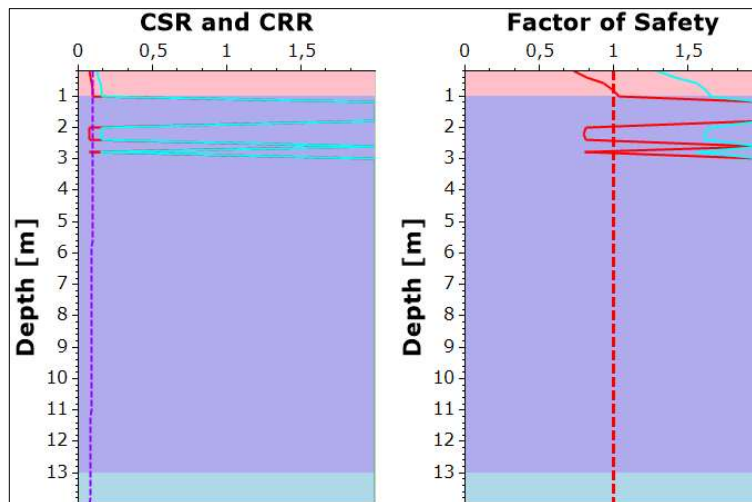
Nilai CRR lebih besar dari CSR ($CRR > CSR$) pada CPT-9 yang mengindikasikan $FS > 1$ (tidak terjadi likuifaksi). Hampir semua CRR di CPT-9 bernilai 2, yang juga menghasilkan FS bernilai 2 (kondisi sangat aman) pada kedalaman 1 – 12 m (lanau campuran lempung, lempung, pasir campuran lanau). Pada titik CPT-9 ditemukan lapisan tanah lempung setebal 1 m di kedalaman 9 – 10 m.

**ANALISIS LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA CPT
(STUDI KASUS: GEDUNG GEOLOGI UNPAD JATINANGOR)**



Gambar 12. Grafik CSR, CRR, dan FS pada CPT-9

Nilai CRR lebih besar dari CSR ($CRR > CSR$) pada CPT-10 yang mengindikasikan $FS > 1$ (tidak terjadi likuifaksi). Hampir semua CRR di CPT-10 bernilai 2, yang juga menghasilkan FS bernilai 2 (kondisi sangat aman) pada kedalaman 3 – 14 m (lanau campuran lempung, pasir campuran lanau).



Gambar 13. Grafik CSR, CRR, dan FS pada CPT-10

Berdasarkan hasil perhitungan nilai faktor keamanan (FS) dari nilai CSR dan CRR, area Fakultas Teknik Geologi Unpad Jatinangor yang didominasi oleh tanah lanau campuran lempung (*silt mixtures - clayey silty to silty clay*) hasil pelapukan endapan vulkanik berumur Kuartar dengan kedalaman muka air tanah 80 m (berdasarkan kedalaman sumur setempat) serta kepadatan relatif rata-rata sebesar 38,3% untuk tanah campuran pasir-lanau dan 73,4% untuk tanah campuran lanau-lempung, tidak mengalami likuifaksi karena nilai $FS > 1$ pada semua lapisan tanah, bahkan sebagian besar sudah berada pada angka 2 yang berarti di daerah penelitian tidak berpotensi terjadi likuifaksi (Idriss & Boulanger, 2014) dan (Kramer et al., 2008).

Kedalaman MAT yang cukup besar ini disebabkan oleh perbedaan elevasi. Daerah penelitian yang merupakan bagian tepi timur laut Cekungan Bandung, memiliki elevasi yang lebih besar (720 m) dibandingkan dengan daerah Cekungan Bandung yang memiliki potensi likuifaksi pada tanah pasir lanauan (705 – 720 m) berdasarkan penelitian sebelumnya Ambarwati dkk., 2020). Dengan jenis tanah yang lebih didominasi oleh lanau lempungan daripada pasir lanauan

dan kondisi MAT yang dalam, daerah penelitian lebih aman terhadap kemungkinan terjadinya likuifaksi. Kandungan material halus berukuran kurang dari 0,075 mm (*finer content*) pada tanah di daerah penelitian berkisar antara 72,4% – 100% yang berkorelasi dengan tingginya nilai faktor keamanan likuifaksi.

d. Hasil Perhitungan Likuifaksi (Post-Liquefaction)

Hasil perhitungan FS pada daerah penelitian yang mengindikasikan tidak adanya potensi likuifaksi juga akan memengaruhi parameter *post liquefaction*. Berdasarkan perhitungan yang melibatkan nilai FS (Yoshimine et al., 2006), *maximum shear strain* dan *settlement* juga tidak terjadi ($\gamma_{max} = 0\%$ dan $\epsilon_v = 0$ cm). Hal ini dapat dilihat pada struktur bangunan gedung di atas tanah daerah penelitian (gedung FTG dan Farmasi) yang tidak mengalami indikasi terjadinya *failure* sejak dibangun, karena fondasi yang digunakan sesuai dengan jenis tanahnya. Apabila analisis *liquefaction triggering* menunjukkan tidak terjadi likuifaksi, maka *post liquefaction* juga sudah mutlak tidak akan terjadi.

Berdasarkan jenis tanah yang didominasi oleh campuran lanau dan lempung, apabila disimpulkan secara sekilas memang hampir tidak mungkin untuk terjadi likuifaksi, karena jenis tanah tersebut memiliki kecenderungan sifat lebih ke arah kohesif daripada *loose*. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan melihat langsung kondisi bangunan yang berada di sekitar Fakultas Teknik Geologi dan Fakultas Farmasi yang tidak mengalami kerusakan konstruksi atau permasalahan geoteknik sejak dibangun karena penggunaan fondasi yang sudah sesuai dengan kondisi mekanik tanahnya.

KESIMPULAN

Area Fakultas Teknik Geologi Unpad Jatinangor tersusun atas litologi tuf dan tuf lapili berumur Plistosen Akhir – Holosen, yang ditutupi oleh tanah residu lanau lempungan dan lempung lanauan dengan sedikit campuran pasir lanauan dan lanau pasiran berdasarkan pengujian CPT pada 6 titik. Jenis tanah inilah yang menyebabkan tingginya nilai *finer content* yang mengindikasikan tanah di daerah penelitian terbentuk dari lapukan batuan yang juga berbutir halus kurang dari 0,075 mm yaitu tuf halus (Fisher, 1966). Nilai kepadatan relatif pada sebagian besar lapisan tanah yang didominasi oleh campuran lanau dan lempung lebih dari 50% karena butiran-butirannya memiliki kecenderungan sifat kohesif dibandingkan dengan lapisan tanah yang merupakan campuran pasir dan lanau yang memiliki nilai kepadatan relatif rata-rata sebesar 38%, sehingga sebagian besar lapisan tanah termasuk ke dalam kategori *medium dense* (Lambe & Whitman, 1979 dalam NCEER, 1997). Dengan demikian, area Fakultas Teknik Geologi Unpad Jatinangor merupakan wilayah yang tidak memiliki potensi likuifaksi.

SARAN

Karena tidak adanya potensi likuifaksi, rencana mitigasi yang berkaitan dengan pencegahan likuifaksi dapat dialihkan ke potensi bahaya lainnya yang lebih mungkin terjadi, seperti analisis kestabilan lereng yang terdapat pada sebagian besar fakultas di Unpad. Selain itu, untuk penelitian yang berkaitan dengan likuifaksi di daerah vulkanik sebaiknya mencari daerah penelitian yang secara teori terdapat kemungkinan cukup besar akan terjadinya likuifaksi, misalnya pada area dengan elevasi lebih rendah dan dekat dengan muka air tanah serta tanah lanau ataupun campuran dengan pasir yang lebih dominan dari lempung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih saya sampaikan kepada Bapak Dr. Raden Irvan Sophian., S.T., M.T. yang telah memberikan sebagian data penelitiannya untuk penulisan karya ilmiah ini dan Bapak Nur Khoirullah, S.T., M.T. yang telah memberikan bimbingan dan arahan pada penelitian ini serta rekan-rekan dan pihak-pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarwati, I. W., Feranie, S., & Tohari, A. (2020). Analisis Potensi Likuifaksi di Cekungan Bandung dengan Menggunakan Metode Uji Penetrasi Konus. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, 30(1), 21-37. doi:10.14203/risetgeotam2020.v30.1038
- Anonim. (2021). *CPT Data Interpretation Theory Manual*. Rocscience Inc.
- Idriss, I. M., & Boulanger, R. W. (2008). *Soil Liquefaction During Earthquake*. Earthquake Engineering Research institute.
- Idriss, I. M., & Boulanger, R. W. (2014). *CPT and SPT Based Liquefaction Triggering Procedures*. California: Department of Civil and Environmental Engineering University of California.
- Khoirullah, N., & Sophian, I. (2019). Erodibility Factor in Weathered Volcanic Rock in Jatinangor, West Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (pp. 248-252). IOP Publishing Ltd. doi:10.1088/1755-1315/248/1/012055
- Robertson, P. K., & Cabal, K. L. (2010). Estimating soil unit weight from CPT. *2nd International Symposium on Cone Penetration Testing*. California.
- Rukmana, Y. Y., Zakaria, Z., Muslim, D., & Seraphine, N. (2020). Korosifitas Pada Tanah Lapukan Vulkanik Berdasarkan Nilai Tahanan Jenis Tanah di Kawasan Unpad Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. *Jurnal Geosaintek*, 6(2), 77-86. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.12962/j25023659.v6i2.6581>
- Setia, S. O., Sophian, R. I., & Zakaria, Z. (2020). Penurunan Muka Tanah Akibat Beban Fondasi Pada Tempat Calon Pembangunan Embung UNPAD, Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 4(6), 550-563.
- Silitonga, P. H. (1973). *Peta Geologi Regional Bersistem Lembar Bandung 9/XIII-F Skala 1:100.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sophian, I., Abdurrokhim, Haryanto, I., & Hendarmawan. (2017). The Volcanic Deposit Weathered Product in Jatinangor Area, West Java. *Bulletin of Scientific Contribution*, 15(2), 161-166.
- Subakti, H., & Renagustiarini, W. (2022). Analisis Potensi Likuifaksi menggunakan Data Kecepatan Gelombang Geser (Vs). *Jurnal Geofisika*, 1(1), 1-22. Retrieved from <https://stmkg.balai2bmkg.id/index.php/pjg/article/view/19>