

# POTENSI LIKUIFAKSI PADA PERENCANAAN PEMBANGUNAN GEDUNG DI DESA TRIHARJO, WATES, KULON PROGO, D.I. YOGYAKARTA

**Amalia Suciati, Dwi Fitri Yudiantoro, Purwanto Purwanto**  
Program Studi Teknik Geologi, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta  
Jalan Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, 55281  
Email: amalia@itny.ac.id

## Abstrak

Bahaya ikutan gempa salah satunya adalah likuifaksi. Menyadari kondisi geologi ini pemerintah D.I. Yogyakarta mempertimbangkan dan memperhitungkan risiko dengan melakukan upaya mitigasi, salah satunya dengan mengkaji potensi bahaya likuifaksi pada rencana pembangunan Embarkasi Haji Yogyakarta di Desa Triharjo, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik endapan aluvial terhadap potensi likuifaksi pada perencanaan pembangunan Gedung. Metode yang digunakan adalah metode deterministic dan probabilistic. Data yang digunakan adalah data geolistrik, muka air tanah, bor SPT, granulometri dan mekanika tanah. Hasil penelitian menunjukkan faktor keamanan terhadap likuifaksi lapisan 1 (0-1m) FS kritis di Mw 3.7, lapisan 2 (1-6m) FS kritis di Mw 4.5, lapisan 3 (6-9 m) FS kritis di Mw 3.8, lapisan 4 (9-13 m) FS kritis di Mw 3.5 dan lapisan 5 (13-20 m) FS kritis di Mw 3.0. Menginterpretasi likuifaksi daerah tersebut maka dalam pengembangan wilayah ini harus memperhatikan bahaya gempa dan bahaya likuifaksi.

**Kata kunci:** Likuifaksi, Geolistrik, SPT, Granulometri, Mekanika tanah

## Abstract

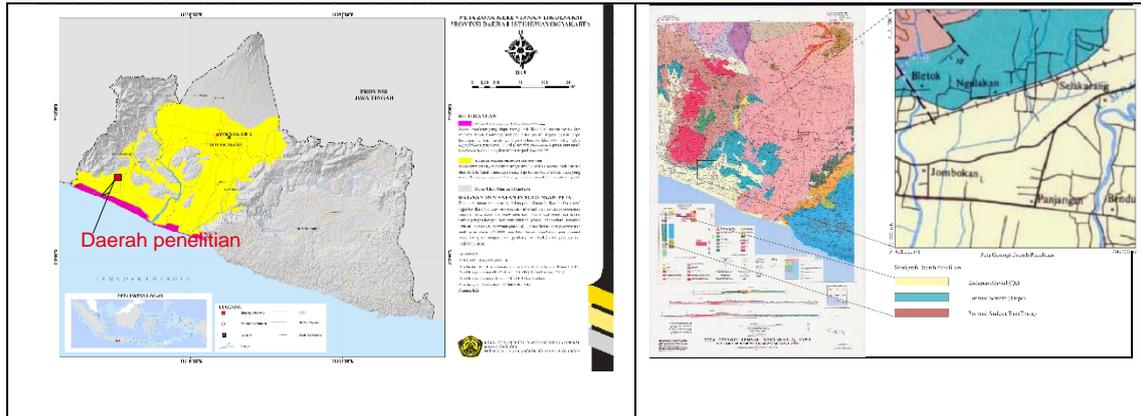
One of the dangers of following an earthquake is liquefaction. considering these geological conditions, the government of D.I. Yogyakarta consider and the risks by undertaking mitigation efforts, one of which is by assessing the potential for liquefaction hazards in the Yogyakarta Hajj Embarkation development plan in Triharjo Village, Wates District, Kulon Progo Regency. This study aims to determine the characteristics of alluvial deposits on the potential for liquefaction in the planning of building construction. The method used is a deterministic and probabilistic. Data used are geoelectric data, groundwater table, SPT drill results, Granulometry and soil mechanics tests. Based on research, it shows the safety factor against liquefaction of layer 1 (0-1m) critical FS at Mw 3.7, layer 2 (1-6m) critical FS at Mw 4.5, layer 3 (6-9 m) critical FS. at Mw 3.8, layer 4 (9-13 m) critical FS at Mw 3.5 and layer 5 (13-20 m) critical FS at Mw 3.0. Interpreting the liquefaction of the area, in the development of this area, it is necessary to pay attention to the earthquake hazard and the liquefaction hazard.

**Keywords:** Liquefaction, geoelectric, SPT, Granulometry and soil mechanics tests

## 1. Pendahuluan

Daerah Istimewa Yogyakarta salah satu daerah yang rentan bencana geologi. Berdasarkan atlas zona kerentanan likuifaksi Indonesia [1]. Daerah penelitian termasuk pada Zona Kerentanan Likuifaksi Sedang (Gambar 1), maka dengan ini pemerintah mempertimbangkan dan memperhitungkan risiko dengan melakukan upaya mitigasi, salah satunya dengan mengkaji potensi bahaya likuifaksi pada rencana pembangunan Embarkasi Haji Yogyakarta di Desa Triharjo, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor pengontrol dan potensi likuifaksi pada perencanaan pembangunan gedung di Desa Triharjo, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, D.I. Yogyakarta.

Bencana likuifaksi merupakan gejala peluluan pasir lepas yang bercampur dengan air akibat guncangan gempa dimana gaya pemicunya melebihi gaya yang dimiliki litologi setempat dalam menahan guncangan. Bencana likuifaksi ini bisa merusak kondisi infrastruktur sehingga pengetahuan terhadap potensi dan kerawanan likuifaksi sangat penting terutama dalam merencanakan tata ruang untuk pengembangan wilayah. Bentuk likuifaksi dapat berupa kejadian seperti penurunan cepat (*quick settlement*), pondasi bangunan menjadi miring (*tilting*), atau penurunan sebagian (*differential settlement*) dan mengeringnya air sumur yang tergantikan oleh material non kohesif [2].

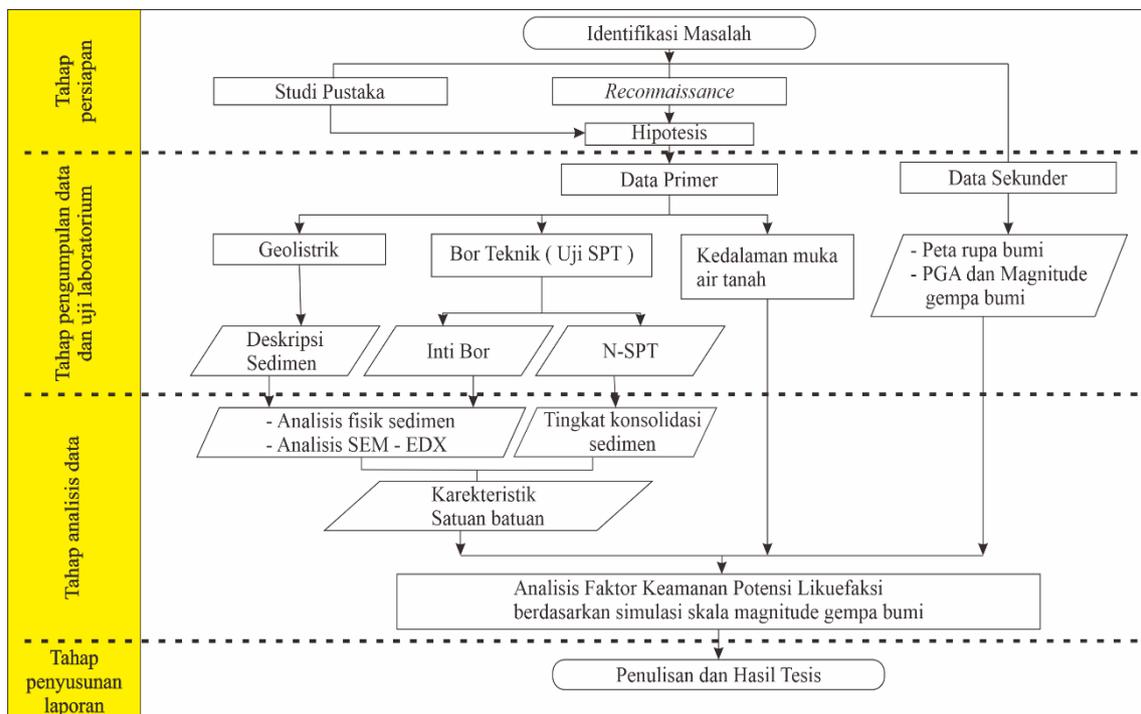


Gambar 1. (Kiri) Peta zona kerentanan likuifaksi, Kemendesdm dan (Kanan) Geologi Regional Lembar Yogyakarta [3], lokasi penelitian di tunjukan dengan blok merah.

**2. Metode Penelitian**

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode deterministik berupa metode pengukuran factor aman likuefasi dan metode probabilitas berupa kemungkinan angka yang tidak selamanya konstan, yang dilakukan dengan tahap diagram alir penelitian terdapat pada Gambar 2. Prosedur analisis pemicu likuifaksi mengikuti beberapa metode antara lain metode kualitatif dan metode kuantitatif.

Konsep deterministik dan probabilitas yang digunakan oleh Seed [4] dan konsensus NCEER/NSF tentang ketahanan tanah terhadap likuifaksi tahun 1998 mengenai analisis likuifaksi dan literatur buku yang dibuat oleh Idriss [5]. Metode dengan membandingkan nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) dengan nilai CSR (*Cyclic Stress Ratio*) untuk mendapatkan nilai faktor keamanan. Faktor keamanan yang digunakan tidak boleh kurang dari satu, karena jika kurang dari satu maka tanah akan mengalami likuifaksi.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

**3. Hasil dan Analisis**

**3.1. Pengamatan permukaan dan pengukuran muka air tanah**

Lintasan pengamatan dilakukan dengan melakukan pengamatan dan deskripsi megaskopis terhadap endapan di dalam lokasi penelitian. Selain pengamatan terhadap endapan, peneliti juga melakukan pengamatan kedalaman muka air sumur gali yang terdapat pada pemukiman warga. Pengamatan muka air

sumur dilakukan pada bulan Maret 2020 (Gambar 3 kiri), dan tertuang pada peta sebaran data sumur pada Gambar 3 kanan dan Tabel 1. Berdasarkan kompilasi data tersebut, kedalaman muka air tanah di daerah penelitian berkisar pada 0,11 hingga 4,5 m dari permukaan tanah. Dengan rata-rata kedalaman muka air tanah 0,94 m, maka lokasi penelitian termasuk pada daerah zona jenuh air.



Gambar 3. Pengambilan data kedalaman airtanah pada sumur di permukiman penduduk

Tabel 1. Data permukaan air (Maret 2020)

No	Lokasi	Koordinat X (mE)	Koordinat Y (mN)	Jenis Data	Dalam MAT (m)	Dasar Sumur (m)	Jenis Air
1	Triharjo	405280	9129426	Sumur Gali	4,25	6,22	Tawar
2	Triharjo	405291	9129616	Sumur Gali	0,94	4,11	Tawar
3	Triharjo	405025	9129423	Sumur Gali	1,48	5,21	Tawar
4	Triharjo	405073	9129218	Sumur Bor	0,27	0,95	Tawar
5	Triharjo	405276	9129131	Sumur Bor	0,75	0,95	Tawar
6	Triharjo	405252	9129014	Sumur Gali	0,11	3,74	Tawar
7	Triharjo	405228	9128910	Sumur Bor	0,44	1,25	Tawar
8	Triharjo	405014	9128909	Sumur Gali	0,62	4,25	Tawar
9	Triharjo	405016	9129128	Sumur Gali	0,15	4,27	Tawar
10	Triharjo	404904	9128838	Sumur Bor	1,00	1,25	Tawar
11	Triharjo	404713	9128820	Sumur Gali	0,37	5,11	Tawar
12	Triharjo	405410	9128761	Sumur Gali	0,86	4,82	Tawar
13	Triharjo	405266	9129299	Sumur Gali	1,61	5,52	Tawar
14	Triharjo	405012	9129354	Sumur Gali	1,21	5,95	Tawar
15	Triharjo	404654	9129252	Sumur Gali	0,63	5,86	Tawar
16	Triharjo	404552	9128888	Sumur Gali	0,55	3,88	Tawar
17	Triharjo	404478	9129151	Sumur Gali	0,60	5,80	Tawar
18	Triharjo	404658	9129091	Sumur Gali	0,50	4,66	Tawar
19	Triharjo	404593	9129458	Sumur Bor	0,75	1,05	Tawar
20	Triharjo	404800	9129536	Sumur Gali	0,50	6,38	Tawar
21	Triharjo	404586	9129685	Sumur Gali	1,25	6,25	Tawar
22	Triharjo	404822	9129281	Sumur Gali	1,28	6,40	Tawar
rata2					0,91		Tawar

Kondisi bawah permukaan Desa Triharjo Kecamatan Wates ini diperoleh melalui data geolistrik dengan dikompilasikan data bor dangkal dengan uji SPT sampai kedalaman 20 meter. Peta lintasan jalur pengambilan data geolistrik di daerah penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.



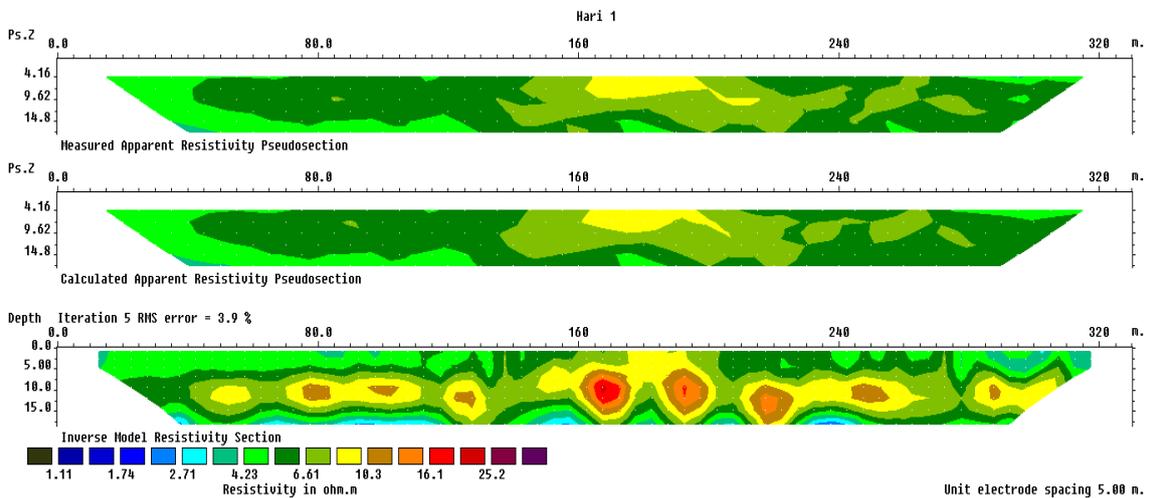
Gambar 4. Peta lintasan jalur pengambilan data geolistrik daerah penelitian

**3.2. Hasil analisis geolistrik**

Hasil interpretasi keadaan bawah permukaan daerah penelitian yang didasarkan pada kontras tahanan jenis batuan dapat diterangkan sebagai berikut:

a. Penampang A-A'

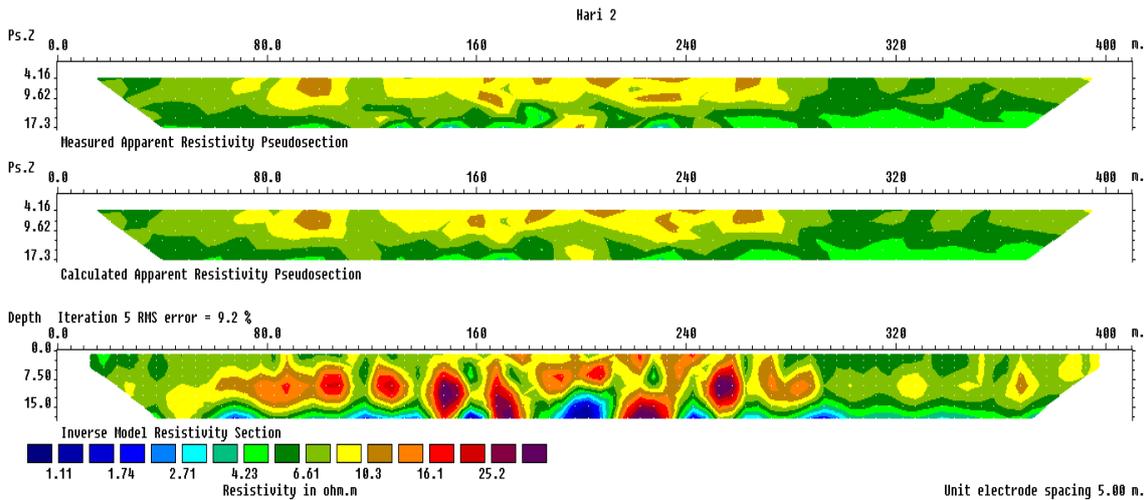
Penampang ini dimulai dari koordinat 7°52'37"LS–110°08'14.9"BT ke koordinat 7°52'45.3"LS–110°08'22.9"BT sejauh 350 m. Mempunyai nilai tahanan jenis 2,17 – 21,32 ohmm, terlihat hasil pengukurannya pada Gambar 5. Pengambilan data sampai kedalaman 17 meter, dari hasil analisis diinterpretasikan bermaterial aluvium, clay dan marls.



Gambar 5. Penampang lintasan geolistrik A – A'

b. Penampang B-B'

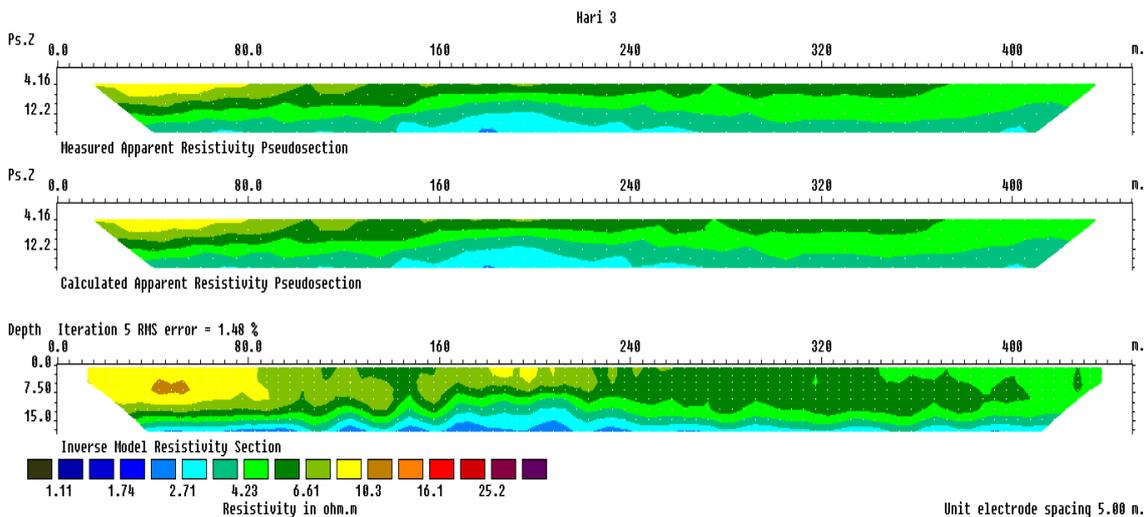
Penampang ini dimulai dari koordinat 7°52'40.1"LS-110°08'17.8"BT ke koordinat 7°52'53.3"LS-110°08'14.3"BT sejauh 400 meter. Mempunyai nilai tahanan jenis 0,99 – 44,02 ohmm, terlihat pada Gambar 6. Pengambilan data sampai kedalaman 17,88 meter, dari hasil analisis diinterpretasikan bermaterial aluvium, clay dan marls.



Gambar 6. Penampang lintasan geolistrik B – B’

c. Penampang C-C’

Penampang ini dimulai dari koordinat 7°52'53.3"LS-110°08'14.3"BT ke koordinat 7°52'51.7"LS-110°07'59.5"BT sejauh 450 meter. Mempunyai nilai tahanan jenis 2,15 – 10,83 ohmm, terlihat pada Gambar 7. Pengambilan data sampai kedalaman 17,88 meter, dari hasil analisis diinterpretasikan bermaterial aluvium, clay dan marls.



Gambar 7. Penampang lintasan geolistrik C – C’

3.3. Pengamatan bor inti dan uji SPT

Pemboran inti dan uji SPT dilakukan pada satu (1) titik dengan kedalaman maksimal 20 meter. Aktivitas pemboran inti dilakukan pada 17 Maret 2020, di Lapangan Desa Triharjo, kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi DIY. pada koordinat X = 110°08'14.6"BT dan Y = 7°52'37.6"LS.

Pemboran ini dilakukan untuk mendapatkan data stratigrafi endapan bawah permukaan dan untuk mendapatkan sampel batuan daerah penelitian. Proses pemboran termuat pada Tabel 2. Uji SPT merupakan in-situ test untuk mendapatkan indeks parameter dan pengambilan sampel terganggu pada tiap interval 1,5 meter bersamaan dengan aktivitas pemboran inti.

Prosedur dengan interval tersebut mengikuti saran uji lapangan SPT untuk analisis likuifaksi [5]. Perhitungan dan prosedur lapangan untuk mendapatkan nilai N mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI SPT-4153-2008) untuk uji SPT yang dipublikasi oleh Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia [6]. Dalam analisis potensi likuifaksi, nilai N60 selanjutnya dinormalisasi menjadi (N1)60 karena hubungan korelasi perubahan tekanan efektif vertikal (overburden) yang terjadi oleh perubahan kedalaman.

Normalisasi tersebut memperhitungkan sejumlah faktor koreksi (Skempton, 1986), antara lain: rasio energi (CE), diameter lobang bor inti (CB), panjang batang SPT (CR), tabung sampel (CS).

Pengamatan dan investigasi geologi pada log bor (Tabel 2) memberikan informasi deskriptif tentang dinamika sedimentasi, dimana sejarah geologi endapan 20 meter dibawah permukaan dimulai dengan diendapkannya asosiasi fasies sedimen pantai ini dicirikan oleh kehadiran fasies pasir kasar dengan warna abu-abu gelap, belum terkompaksi, grain-supported (*clast-supported*): sortasi sedang, bentuk butir menyudut tanggung - membulat tanggung, komposisi litik, pecahan cangkang. Pada fasies ini fosil bentik tidak berkembang, namun pecahan cangkang *mollusca* umum dijumpai. Sukses fasies pantai ini sempat mengalami jeda dengan hadirnya fasies fluvial dan sisipan fasies lagoon lalu kemudian berkembang hingga kondisi resen.

Tabel 2. Kolom lithologi dan NSPT Ds. Triharjo, Kec. Wates, Kab. Kulon Progo

Depth (m)	Graph Log		Material Description (field observations)	Thick (m)	Sample Number	Sample Number SEM - EDX	SPT Value
	MUD	SAND GRAVEL					
1	0	100	Endapan pasir kasar organik : Warna abu-abu, grain-supported, sortasi sedang, bentuk butir menyudut tanggung - membulat tanggung, ukuran pasir kasar - halus, bahan lepas, komposisi : litik, silika, montmorillonite dan terdapat banyak sisa akar tumbuhan.	1	T1	SE 1	1
2	0	100	Endapan lempung : Warna coklat gelap, sortasi baik, bentuk butir membulat tanggung, ukuran pasir sangat halus - lempung, bahan lepas - padu, komposisi : litik, campuran silika, dan montmorillonite	5	T2	SE 2	2
3	0	100			T3		3
4	0	100			T4		4
5	0	100			T5		5
6	0	100			T6	SE 3	6
7	0	100	Endapan pasir sedang : Warna abu-abu, grain-supported, sortasi sedang, bentuk butir menyudut tanggung - membulat tanggung, ukuran pasir sedang - halus, bahan lepas - padu, komposisi : litik, campuran silika dan montmorillonite	3	T7	SE 4	7
8	0	100	T8		SE 5	8	
9	0	100	T9			9	
10	0	100	Endapan pasir halus : Warna abu-abu, grain-supported, sortasi sedang, bentuk butir menyudut tanggung - membulat tanggung, ukuran pasir sedang - lempung, bahan lepas - padu, komposisi : litik, campuran silika dan montmorillonite	4	T10	SE 6	10
11	0	100			T11		11
12	0	100			T12	SE 7	12
13	0	100			T13	SE 8	13
14	0	100	Endapan pasir kasar mollusca : Warna abu-abu, grain-supported, sortasi buruk, bentuk butir menyudut tanggung - membulat tanggung, ukuran pasir kasar - lempung, bahan lepas - padu, komposisi : litik, campuran silika, montmorillonite dan terdapat banyak cangkang.	7	T14	SE 9	14
15	0	100			T15		15
16	0	100			T16		16
17	0	100			T17	SE 10	17
18	0	100			T18		18
19	0	100			T19		19
20	0	100			T20	SE 11	20

Pengambilan data menggunakan bor SPT (*Standar Penetration Test*) yang merupakan pengujian tanah yang paling ekonomis dan populer untuk mendapatkan informasi di bawah permukaan tanah. Hasil data nilai N-SPT ini juga memberi informasi muka air tanah (MAT) berada pada 1,5 meter di bawah permukaan dengan tren nilai N-SPT berkisar antara 6 hingga 12. Pada pemboran ini juga mengambil sampel-sampel batuan yang diperlukan untuk analisis geologi teknik selanjutnya.

**3.4. Analisis Laboratorium Mekanika Tanah**

Analisis ukuran butir di laboratorium mekanika tanah menggunakan metode penyaringan butiran. Media penyaringan berupa saringan (*mess*) dengan variasi ukuran diameter (Tabel 3), dan hasil uji mekanika tanah

pada Tabel 3 sampai Tabel 8 dan Gambar 8.

Tabel 3. Hasil analisis kadar air dan berat isi

Lapisan	Kedalaman (m)	Tebal (m)	Jenis Material	% Butir				
				Kerikil	Pasir Kasar	Pasir Sedang	Pasir Halus	Lempung
1	0-1	1	Pasir kasar	0,00	64,59	02,48	24,76	08,17
2	1-6	5	Lanau-lempung	0,00	08,10	13,84	33,25	44,81
3	6-9	3	Pasir Sedang-halus	0,00	19,13	38,50	36,80	05,57
4	9-13	4	Pasir halus	0,00	14,66	11,06	52,14	22,14
5	13-20	7	Psir kasar	0,00	58,63	17,60	17,60	04,14

Tabel 4. Hasil analisis kadar air dan berat isi

Parameter	Hasil Analisis
Volume Wadah (Cm <sup>3</sup> )	207,63
Berat Wadah (Gr)	14,66
Berat Wadah+Tanah Basah (Gr)	112,85
Berat Wadah+Tanah Kering (Gr)	86,12
Berat Air (Gr)	26,72
Berat Tanah Kering (Gr)	71,46
Berat Tanah Basah (Gr)	98,18
Berat Isi Tanah (Y)	0,47
Berat Isi Kering (Yd)	0,34
Kadar Air (%)	37,40

Tabel 5. Hasil analisis berat jenis

Parameter	Satuan	Hasil Analisis	
Berat Piknometer + Tanah (W1)	gr	22,58	21,82
Berat Piknometer (W2)	gr	17,31	17,60
Berat Tanah W1-W2	gr	5,27	4,22
Suhu	°C	23,00	23,00
Piknometer + Air + Tanah (W3)	gr	45,29	44,07
PIKNOMETER + AIR PADA °C (W4)	gr	41,99	41,85
Koreksi Suhu		0,99	0,99
(W1-W2) + W4 (W5)	gr	47,24	46,04
Isi Tanah (W5 - W3)	gr	1,95	1,97
Berat Jenis Wt/(W5-W3)	gr/cm <sup>2</sup>	2,70	2,14
Berat Jenis Rata-Rata	gr/cm <sup>2</sup>	2,42	

Tabel 6. Hasil analisis porositas dan angka pori

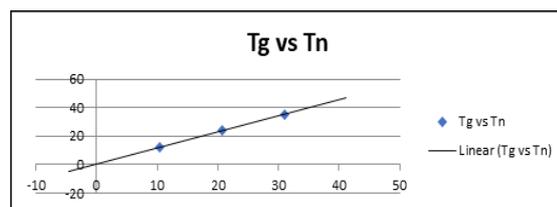
Parameter	Satuan	Hasil Analisis
Berat Ring	gr	14,66
Berat Ring + Tanah Basah	gr	112,85
Berat Tanah Basah = (B) - (A)	gr	98,18
Volume Ring (Volume Tanah Basah)	cm <sup>3</sup>	207,63
Berat Isi Tanah Basah = (C) / (D)	gr/cm <sup>3</sup>	0,47
Berat Ring + Tanah Kering	gr	86,12
Berat Tanah Kering = (F) - (A)	gr	71,46
Berat Air = (C) - (G)	gr	26,72
Kadar Air = [(L) / (G)] X 100%	%	37,40
Berat Isi Tanah Kering = (G) / (D)	gr/cm <sup>3</sup>	0,34
Berat Jenis / Gs	gr/cm <sup>2</sup>	2,42
Volume Tanah Kering = (G) / (K)	cm <sup>3</sup>	29,52
Isi Pori = (D) - (L)	cm <sup>3</sup>	178,11
Derajat Keenuhan/Sr = [(H) / (M)] X 100%	%	15,00
Porositas = [(M) / (D)] X 100%	%	85,78
Angka Pori = (O) / [100 - (O)]		6,03

Tabel 7. Hasil analisis Kohesi dan Sudut Geser Dalam

Waktu	Beban Normal 3.3 kg			Beban Normal 6.6 kg			Beban Normal 9.9 kg		
	M	K	W	M	K	W	M	K	W
10	3,0	0,7	2,10	4,0	0,7	2,80	7,0	0,7	4,90
20	3,5	0,7	2,45	5,0	0,7	3,50	8,0	0,7	5,60
30	5,0	0,7	3,50	7,0	0,7	4,90	10,0	0,7	7,00
40	5,0	0,7	3,50	8,5	0,7	5,95	11,5	0,7	8,05
50	5,5	0,7	3,85	10,5	0,7	7,35	13,0	0,7	9,10
60	5,0	0,7	3,50	11,0	0,7	7,70	15,0	0,7	10,50
70	5,0	0,7	3,50	11,0	0,7	7,70	15,5	0,7	10,85
80	5,0	0,7	3,50	10,5	0,7	7,35	16,0	0,7	11,20
90	5,0	0,7	3,50	10,5	0,7	7,35	16,0	0,7	11,20
100	5,0	0,7	3,50	10,5	0,7	7,35	15,0	0,7	10,50

Tabel 8. Hasil Laboratorium BH1

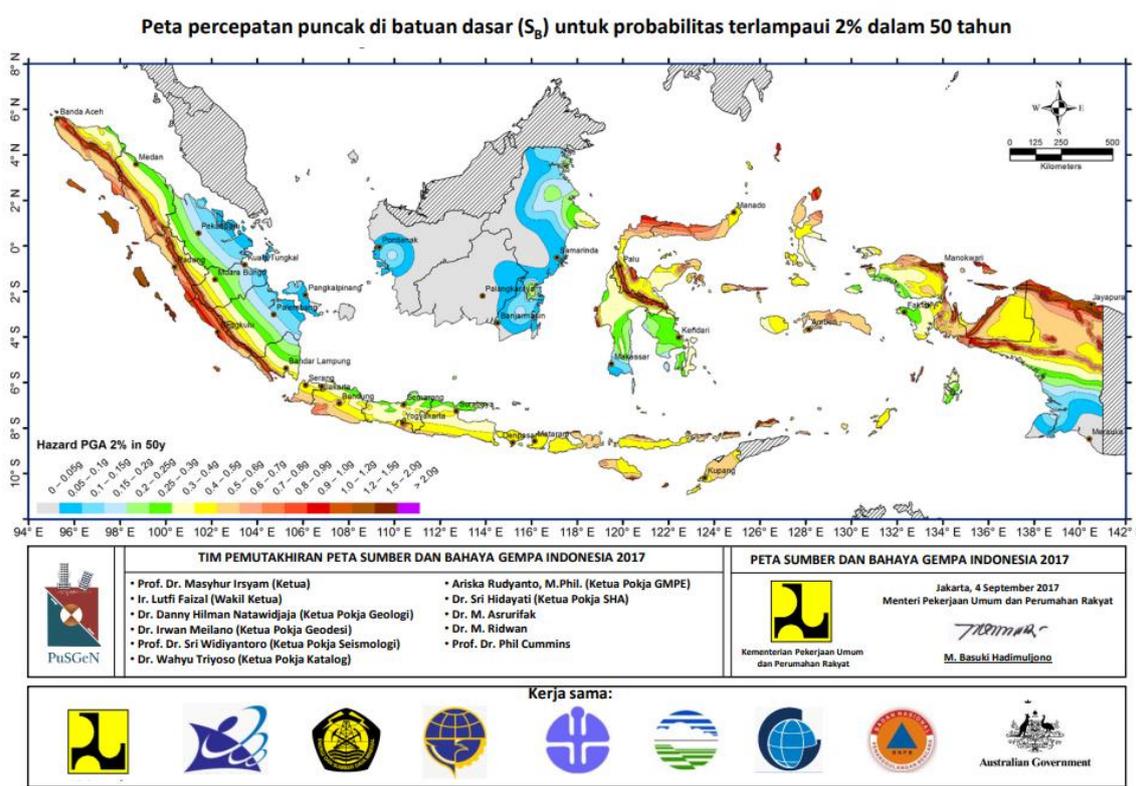
Depth (m)	Titik BH1					
	Kadar air (%)	Berat Jenis (G)	Berat jenis tanah basah yb (gr/cm3)	Berat jenis tanah kering yk (gr/cm3)	Penguji geser langsung	
					c (kg/cm2)	φ°
-5,0	47,31	2,58	1,77	1,20	0,19	10,08
-10,0	70,77	2,57	1,67	0,98	0,21	10,82



Gambar 8. Grafik perbandingan nilai Tg dan Tn

### 3.5. Data Percepatan Puncak Muka Tanah (PGA) Yogyakarta

Data *Peak Ground Acceleration* (PGA) pada penelitian ini mengacu pada Peta Zonasi Gempa Indonesia yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum (DPU) Republik Indonesia tahun 2017. Dalam kasus ini, daerah penelitian yang berada di PGA 0,4 g. Peta percepatan puncak di batuan (S<sub>B</sub>) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun di Daerah Istimewa Yogyakarta seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Peta Zonasi Gempa Indonesia untuk percepatan puncak di dasar batuan di seluruh Indonesia

### 3.6. Analisis pemicu likuifaksi

Dalam analisis likuifaksi ini mengidentifikasi berdasarkan beberapa metode yaitu:

#### 3.6.1. Metode kualitatif

Pendekatan kualitatif terhadap potensi likuifaksi berlaku untuk skala kecil. Hasil dari metode ini berupa gambaran umum tentang kecenderungan potensi likuifaksi. Hasil tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan investigasi selanjutnya secara kuantitatif yang lebih rinci (Tabel 9). Data yang tersedia untuk daerah penyelidikan adalah data geologi dan kedudukan muka air tanah sehingga pemilihan metode dalam kasus ini menggunakan sumber dari Keith, dkk [2]. Menurut Keith, potensi likuifaksi secara kualitatif dipengaruhi oleh tiga faktor antara lain:

- Ketebalan tanah pasiran kurang dari 12 m di bawah permukaan tanah.
- Kedalaman muka air tanah < 10 m
- Estimasi batas kritis percepatan gempa permukaan yang memicu likuifaksi jika terdapat data bor dengan estimasi metode Seed & Idriss [7].

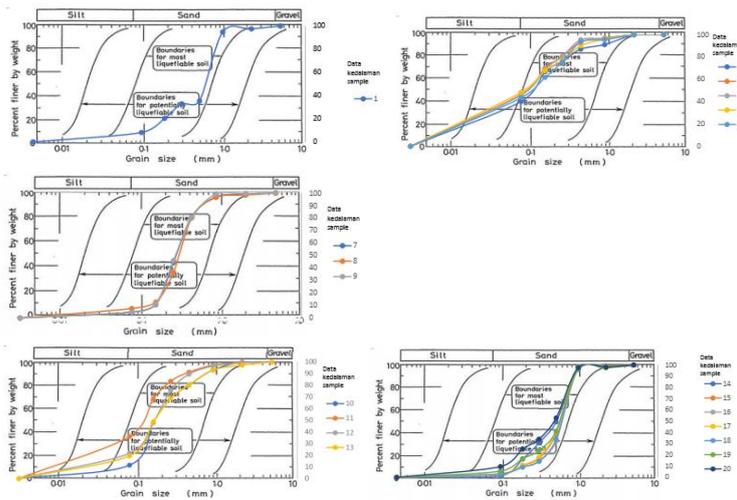
Tabel 9. Potensi likuifaksi daerah penyelidikan secara kualitatif

Formasi Batuan	Litologi non kohesif dan urai < 12 m	Umur Formasi	Kedalaman mat < 10 m	Potensi Likuefaksi
Aluvium dan Endapan (Qa)	Ya	Kwarter	Ya	Tinggi – Sangat tinggi

#### 3.6.2. Metode Kuantitatif

Konsep yang digunakan adalah dengan pendekatan *Cyclic Stress* menurut [7]. *Cyclic Stress* pada umumnya digunakan untuk estimasi ketahanan likuifaksi pada tanah pasiran. Tahapan dalam analisis antara lain:

- Aspek Gradasi, mengelompokkan hasil analisis ayakan suatu lapisan tanah, dimana zona perlapisan di daerah penelitian termasuk dalam kategori berpotensi likuifaksi seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil analisis berdasarkan gradasi butir

Hasil analisis berdasarkan gradasi butir daerah penelitian termasuk pada klasifikasi berpotensi likuifaksi

b. Metode Korelasi empiris likuifaksi, Metode korelasi empiris untuk mengevaluasi potensi likuifaksi menggunakan nilai Faktor Keamanan dari hasil perbandingan nilai Cyclic Resistance Ratio (CRR) dengan nilai Cyclic Stress Ratio (CSR), dimana bagian nilai Cyclic Stress Ratio (CSR) adalah ratio tegangan tanah siklik yang disebabkan oleh beban seismik (gempa) dan bagian CRR adalah kapasitas tahanan tanah dari tegangan siklik tersebut yang dapat memicu terjadi Likuifaksi. Faktor Keamanan (FS) yang digunakan tidak diperbolehkan kurang dari satu, karena jika kurang dari satu maka tanah akan mengalami likuifaksi. Dimana dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$

Dimana mana:

- Jika  $FS < 1$ , Terjadi Likuifaksi
- Jika  $FS = 1$ , Kondisi Kritis
- Jika  $FS > 1$ , Tidak terjadi Likuifaksi

Evaluasi cyclic stress ratio (CSR) untuk mengevaluasi nilai CSR, dalam penulisan ini menggunakan persamaan dari [7].

$CSR = 0.65 \times \frac{amax}{g} \times \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \times rd$	Dimana : - amax = Percepatan maksimum gempa dipermukaan tanah (g) - g = Percepatan Gravitasi bumi (m/s <sup>2</sup> ) - $\sigma'_v$ = Tegangan efektif tanah dikedalaman z (kN/m <sup>2</sup> ) - $\sigma_v$ = Tegangan total tanah dikedalaman z (kN/m <sup>2</sup> ) - rd = Koefisien reduksi tegangan
--	---

Konstanta 0.65 adalah Weighting Factor untuk menghitung siklus tegangan uniform yang dibutuhkan untuk menghasilkan kenaikan tekanan air pori yang sama dengan getaran gempa bumi irregular, amax sangat berpengaruh dalam Analisis potensi likuifaksi. Dalam penentuan jenis tanah dalam SNI 1726:2012 daerah penelitian termasuk dalam Tanah lunak

Evaluasi cyclic resistance ratio (CRR) diambil metode dari NCEER/NSF tentang ketahanan tanah terhadap likuifaksi tahun 1998, didapatkan metode evaluasi CRR dengan berdasarkan nilai hasil SPT. Dalam koreksi ini ada penyesuaian kembali dimana kurva SPT clean-sand base mencapai konsistensi yang lebih besar dan nilai CRR dikembangkan untuk prosedur shear wave velocity (Vs). Diperlukan koreksi terhadap partikel halus didalam tanah (fines content) indikasi nilai CRR naik seiring meningkatnya nilai partikel halus (fines content) [5].

$CRR_{7.5} = \exp \left[ \frac{(N1)_{60.cs}}{14.1} + \left[ \frac{(N1)_{60.cs}}{126} \right]^2 - \left[ \frac{(N1)_{60.cs}}{23.6} \right]^3 + \left[ \frac{(N1)_{60.cs}}{25.4} \right]^4 - 2.8 \right]$ $(N1)_{60.cs} = (N1)_{60} + \Delta(N1)_{60}$ $\Delta(N1)_{60} = \exp \left[ 1.63 + \frac{9.7}{FC+0.01} - \left( \frac{15.7}{FC+0.01} \right)^2 \right]$	Dimana : CRR <sub>7.5</sub> = Cyclic Resistance Ratio direfrensi gempa (Mw= 7.5) (N1) <sub>60.cs</sub> = Nilai (N1) <sub>60</sub> yang sudah dikoreksi <i>clean-sands</i> (N1) <sub>60</sub> = Nilai SPT yang sudah dikoreksi tegangan tanah FC = Fines Content (%) $\Delta(N1)_{60}$ = Koefisien
---	--

Magnitude Scaling Factor (MSF) dipakai untuk menyesuaikan nilai Cyclic Resistance Ratio (CRR) ke nilai yang umum yaitu Momen Magnitude ( $M_w$ ) = 7.5, jadi CRR yang diperoleh dari grafik maupun hasil analisis adalah berdasarkan pada gempa bumi dengan Momen Magnitude ( $M_w$ ) = 7.5. Apabila terjadi gempa dengan  $M_w < 7.5$  maka sebenarnya efek yang ditimbulkan akan lebih kecil terhadap gempa dengan  $M_w > 7.5$  dengan asumsi tanah tersebut mempunyai ketahanan yang lebih besar [5]. Dalam penulisan ini untuk menganalisis nilai Magnitude Scaling Factor (MSF), persamaan yang dipakai adalah persamaan seperti berikut ini:

$MSF = -0.058 + 6.9 \exp(-0.25 * M_w) \leq 1.8$	Dimana $M_w$ adalah Moment Magnitude gempa refrensi. Nilai CRR dengan besar Moment Magnitude selain dari 7.5, diperlukan faktor koreksi yaitu nilai MSF dan nilai $K_\sigma$ dimana nilai $K_\sigma$ adalah nilai koreksi tegangan total [3,8].
$CRR_M = CRR_{M=7.5} * MSF * K_\sigma$ $K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln \left( \frac{\sigma'_v}{P_a} \right) \leq 1.1$ $C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 2.55 * \sqrt{(N1)60.cs}}$	Dimana: <ul style="list-style-type: none"> <li>- CRRM = Cyclic Resistance Ratio direfrensi gempa</li> <li>- <math>C_\sigma</math> = Faktor koreksi nilai CRR</li> <li>- (N1)60.cs = Nilai N – SPT yang sudah dikoreksi</li> <li>- <math>\sigma'_v</math> = Tegangan efektif vertikal (kN/m<sup>2</sup>)</li> <li>- <math>P_a</math> = Tekanan atmosfer (=100 kN/m<sup>2</sup>)</li> </ul>

Data yang dihasilkan dari pengujian Bor dan Standart Penetration (SPT) digunakan untuk menganalisis potensi likuifaksi, data ini harus dikoreksi terhadap efisiensi alat uji sebesar 60% energy sehingga kita memperoleh nilai N60. Dari hasil yang ditunjukkan dalam tabel nilai SPT yang sudah dikoreksi efisiensi alat bahwa nilai SPT rata-rata berada diangka <15. Maka daerah penelitian tergolongkan jenis tanah “TANAH LUNAK”. Analisis tegangan tanah yang dipakai untuk menganalisis potensi Likuifaksi mencakup tegangan total vertikal tanah ( $\sigma_v$ ) dan tegangan efektif vertikal tanah ( $\sigma'_v$ ) (Tabel 10).

Tabel 10. Data SPT, Koreksi nilai N- SPT terhadap efisiensi alat Desa Triharjo Kecamatan Wates Kabupaten Kulon Progo

Kedalaman (m)	Tebal lapisan (m)	Jenis material	N-SPT	N60	EF	Cs	Cr	Cb	N(1)60	ysat (kN/m <sup>3</sup> )	$\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v$ (kN/m <sup>2</sup> )
0 - 1	1	Pasir kasar - halus	-	-	1	1	0,75	1	-	16,97	16,97	16,97
1 - 6	5	Pasir sangat halus - lempung	9	11,27	1	1	0,75	1	14,19	18,44	54,72	103,77
6 - 9	3	Pasir sedang	9	11,27	1	1	0,75	1	11,49	15,40	95,81	174,29
9 - 13	4	Pasir sedang - lempung	5	6,26	1	1	0,75	1	4,39	23,44	193,78	360,55
13 - 20	7	Pasir kasar - lempung	10	12,53	1	1	0,75	1	5,05	19,91	425,12	788,09

Penentuan nilai *Cylic Stress Ratio* (CSR) (Tabel 11) berdasarkan ratio tegangan tanah, percepatan horizontal gempa dipermukaan tanah ( $a_{max}$ ) = 3.92 m/s<sup>2</sup>, percepatan gravitasi bumi ( $g$ ) = 9.81 m/s<sup>2</sup> dan koefisien tegangan reduksi ( $rd$ ). Dimana nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  di pengaruhi oleh persentase *finest content* (FC). Data yang dipakai sama dengan metode Seed, dkk., sehingga perbedaan antara kedua metode tersebut terletak pada pemakaian *finest content* (FC) yaitu butiran yang lolos saringan no 200, sedangkan pada Seed, dkk., tidak dipakai nilai FC.

Pada dasarnya persamaan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) yang dipakai berdasarkan hasil konsensus oleh *National Center for Earthquake Engineering Research* (NCEER) hanya dikhususkan pada pasir murni (*clean – sands*) dengan Moment Magnitude ( $M_w$ ) 7,5. [5] memperhitungkan parameter (N1)60 dan  $\Delta(N1)60$  sebagai koreksi *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) terhadap *finest content* (FC). Dalam Tabel 11 perhitungan koreksi nilai N60 terhadap koreksi tegangan tanah (CN) dan terhadap koreksi *finest content* (FC). Untuk mendapatkan nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dengan variasi Moment Magnitude gempa diperlukan juga perhitungan faktor koreksi tegangan tanah ( $K_\sigma$ ) dan *Magnitude Scaling Factor* (MSF).

Tabel 10. Nilai (N1)60, (N1)60.cs, Nilai CRR7.5,  $C_\sigma$  dan Nilai  $K_\sigma$  per lapisan

Kedalaman (m)	$\alpha$	$\beta$	rd	$\sigma_v/\sigma'_v$	$a_{max}/g$	CSR	CN	$\Delta(N1)60$	(N1)60.cs	CRR <sub>7.5</sub>	$C_\sigma$	$K_\sigma$
0 - 1	0,38	0,97	0,99	1,00	0,4	0,05	1,61	0,48	0,48	0,06	0,06	1,10
1 - 6	5,00	1,20	0,96	1,90	0,4	0,15	1,26	5,60	19,79	0,20	0,13	1,08
6 - 9	0,00	1,00	0,98	1,82	0,4	0,13	1,02	0,00	11,49	0,13	0,10	1,00
9 - 13	3,61	0,90	0,89	1,86	0,4	0,07	0,70	4,47	8,86	0,11	0,09	0,94
13 - 20	0,02	0,98	1,00	1,85	0,4	0,07	0,40	0,01	5,07	0,09	0,08	0,89

Setelah didapatkan nilai *Magnitude Scaling Factor* (MSF) untuk variasi Moment Magnitude gempa dan faktor koreksi tegangan tanah ( $K\sigma$ ), maka nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dihitung dengan variasi Moment Magnitude gempa tersebut (Tabel 12).

Tabel 11. Hasil perhitungan nilai CRR dengan variasi gempa

Mw	2,50	3,00	3,10	3,20	3,30	3,40	3,50	3,60	3,70	3,80	3,90	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	
MCF	9,58	6,01	5,52	5,09	4,71	4,36	4,05	3,77	3,51	3,28	3,07	2,88	2,13	1,62	1,27	1,02	0,83	0,69	0,58	0,85	
CRRm	0 - 1	0,67	0,42	0,38	0,35	0,33	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23	0,21	0,20	0,15	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	0,06	0,06
	1 - 6	2,00	1,26	1,16	1,07	0,98	0,91	0,85	0,79	0,73	0,69	0,64	0,60	0,45	0,34	0,27	0,21	0,17	0,14	0,20	0,18
	6 - 9	1,24	0,77	0,71	0,66	0,61	0,56	0,52	0,49	0,45	0,42	0,40	0,37	0,27	0,21	0,16	0,13	0,11	0,09	0,13	0,11
	9 - 13	1,02	0,64	0,59	0,54	0,50	0,46	0,43	0,40	0,37	0,35	0,33	0,31	0,23	0,17	0,14	0,11	0,09	0,07	0,11	0,09
13 - 20	0,76	0,48	0,44	0,41	0,38	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07	0,05	0,09	0,07	

Evaluasi potensi Likuefaksi dengan menggunakan metode Faktor Keamanan (FS), yang mana tanah dapat mengalami Likuefaksi jika  $FS < 1$ , tanah tersebut dikatakan dalam kondisi kritis Likuefaksi jika  $FS = 1$  dan tanah tersebut aman terhadap Likuefaksi jika  $FS > 1$ . Berikut ini adalah hasil perhitungan evaluasi Faktor Keamanan (FS) tanah terhadap Likuefaksi di daerah penelitian dalam bentuk tabulasi dan grafik (Tabel 12 dan Tabel 13):

Tabel 12. Hasil perhitungan Faktor Keamanan (FS)

Kedalaman (m)	CRR 7,5	CSR	FS	Keterangan
0 - 1	0,06	0,26	0,24	Dapat terjadi Likuefaksi
1 - 6	0,20	0,47	0,43	Dapat terjadi Likuefaksi
6 - 9	0,13	0,46	0,28	Dapat terjadi Likuefaksi
9 - 13	0,11	0,43	0,26	Dapat terjadi Likuefaksi
13 - 20	0,09	0,48	0,18	Dapat terjadi Likuefaksi

Jika  $FS > 1$ , Lapisan aman Likuefaksi  
 Jika  $FS = 1$ , Lapisan kritis Likuefaksi  
 Jika  $FS < 1$ , Likuefaksi dapat

Tabel 13. Hubungan Hasil Identifikasi mineral lempung dan Faktor hasil keamanan likuefaksi berdasarkan kekuatan gempa (FS)

Kedalaman (m)	Jenis Endapan	Deskripsi	Kekuatan Gempa															
			FS 2,5	FS 2,9	FS 3	FS 3,1	FS 3,2	FS 3,3	FS 3,4	FS 3,5	FS 3,6	FS 3,7	FS 3,8	FS 3,9	FS 4	FS 4,5	FS 5	FS 5,5
0 - 1	Endapan pasir kasar organik	Warna abu-abu, grain-supported, sortasi sedang, bentukbutir menyudut tanggung - membulat tanggung, ukuran pasir kasar - halus komposisi : litik, campuran silika dan terdapat banyak sisa akar tumbuhan	2,58	1,76	1,62	1,49	1,37	1,27	1,17	1,09	1,01	0,95	0,88	0,83	0,77	0,57	0,44	0,34
1 - 6	Endapan lempung	Warna coklat gelap, sortasi baik, bentuk butir membulat tanggung, ukuran pasir sangat halus - lempung, komposisi : litik, campuran silika	4,23	2,89	2,65	2,44	2,25	2,08	1,92	1,79	1,66	1,55	1,45	1,35	1,27	0,94	0,72	0,56
6 - 9	Endapan pasir sedang	Warna abu-abu, grain-supported, sortasi sedang, bentuk butir menyudut tanggung - membulat tanggung, ukuran pasir sedang, komposisi : litik, campuran silika	2,67	1,83	1,68	1,54	1,42	1,31	1,22	1,13	1,05	0,98	0,92	0,86	0,8	0,59	0,45	0,36
9 - 13	Endapan pasir halus	Warna abu-abu, grain-supported, sortasi sedang, bentuk butir menyudut tanggung - membulat tanggung, ukuran pasir sedang - lempung, komposisi : litik, campuran silika	2,36	1,62	1,48	1,36	1,26	1,16	1,08	1	0,93	0,87	0,81	0,76	0,71	0,52	0,4	0,31
13 - 20	Endapan Pasir kasar molluska	Warna abu-abu, grain-supported, sortasi buruk, bentuk butir menyudut tanggung - membulat tanggung, ukuran pasir kasar - lempung, komposisi : litik, campuran silika, terdapat banyak cangkang.	1,59	1,08	0,99	0,91	0,84	0,78	0,72	0,67	0,62	0,58	0,54	0,51	0,48	0,35	0,27	0,21

Catatan:

- = Tidak Likuefaksi >1
- = 1 Mendekati Likuefaksi
- = Likuefaksi < 1

Pada Table 13 hasil analisis likuefaksi, setelah dilakukan perhitungan total dengan metode diatas dapat terlihat bahwa gempa dengan kekuatan diatas 4,5 Mw daerah tersebut rawan akan likuefaksi, terlihat

warna merah yang memiliki nilai faktor keamanan dibawah, sedangkan bila ada gempa dibawah 3 Mw daerah tersebut aman akan likuifaksi, terlihat dari table warna hijau dengan nilai factor keamanan di atas nilai 1.

#### 4. Kesimpulan

Faktor pengontrol potensi likuifaksi pada daerah penelitian adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, data geolistrik dan data pengeboran dangkal maka daerah penelitian termasuk satuan alluvial Holosen, dengan adanya material yang belum terkonsolidasi berupa endapan pasir kasar – lempung, pecahan cangkang dan sisa tumbuhan yang termasuk pada endapan sedimen klastik berbutir halus sampai kasar dengan resistensi rendah.
2. Kondisi muka air tanah (MAT) sangat mempengaruhi tegangan efektif, sehingga mempengaruhi nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR). Jika muka air tanah semakin dekat dengan permukaan tanah, maka dapat memperbesar potensi terjadinya Likuifaksi.
3. Berdasarkan karakteristik fisik dan mekanik litologi pasir lempungan yang berkembang pada daerah penelitian bila terjadi getaran gempa maka berpotensi untuk terjadi likuifaksi dari permukaan tanah sampai kedalaman 20 meter. Terutama pada litologi yang didominasi oleh pasir.
4. Berdasarkan hasil analisis sejauh mana faktor keamanan terhadap terjadinya likuifaksi pada daerah penelitian adalah Lapisan 1 dengan kedalaman 0 - 1 meter potensi likuifaksi dengan Mw 3,7. Lapisan 2 dengan kedalaman 1 – 6 meter potensi likuifaksi dengan Mw 4,5. Lapisan 3 dengan kedalaman 6 – 9 meter potensi likuifaksi dengan Mw 3,8. Lapisan 4 dengan kedalaman 9 – 13 meter potensi likuifaksi dengan Mw 3,5. Lapisan 5 dengan kedalaman 13 – 20 meter potensi likuifaksi dengan Mw 3,0.

#### Daftar Pustaka

- [1] Buana TW, Hermawan W, Rahdianna RN, Widyaningrum R, Wahyudin, Hasibuan G, Woyono Sollu, WP. *Atlas zona kerentanan likuifaksi Indonesia*. Badan Geologi Kementrian ESDM. Bandung: Badan Geologi, 2019.
- [2] Widyaningrum R. *Penyelidikan Geologi Teknik Potensi Likuifaksi Daerah Palu Provinsi Sulawesi Tengah*. Bandung: Badan Geologi, 2012.
- [3] Raharjo W, Sukandarrumidi, Rosidi HMD. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, Skala 1:100.000*. Bandung: Direktorat Geologi, 1995.
- [4] Seed HB, Tokimatsu K, Harder LF Jr, Chung, R. 2001. *Influence of SPT Procedure In Soil Liquefaction Resistance Evaluation*. J, Geotechnical Eng. ASCE III (12), 1425 - 1445.
- [5] Idriss IM, Boulanger RW. *Semi-Empirical Procedures for Evaluating Liquefaction Potential During Earthquakes*. Proceedings of the 11<sup>th</sup> ICSDEE & 3<sup>rd</sup> ICEGE, 2008, 32 – 56.
- [6] Badan Standardisasi Nasional. SNI-1726-2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non-Gedung*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum, 2012.
- [7] Seed HB, Idriss, IM. *Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential*. J. Soil Mechanics and Foundations Div., ASCE 92 (SM2), 1971, 1249 – 237.
- [8] Das BM. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*. Surabaya: Erlangga, 1995.