

ANALISIS DAN MITIGASI POTENSI LIKUIFAKSI DI KAWASAN UNDERPASS YOGYAKARTA INTERNATIONAL AIRPORT (YIA)

Muhamad Agung Rahman^{1*} Teuku Faisal Fathani², Ahmad Rifa'i³, Mochammad Syidik Hidayat⁴

¹Mahasiswa Program Magister Teknik Pengelolaan Bencana Alam, Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta¹

²³Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

⁴Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Provinsi DIY
Jl. Ring Road Utara Maguwoharjo Yogyakarta
E-mail: muhamad.a.r@mail.ugm.ac.id

Abstrak

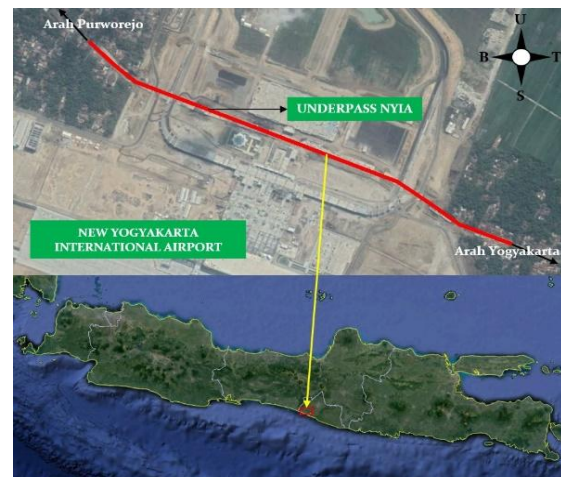
Fenomena likuifaksi akibat gempa merupakan hilang/berkurangnya daya dukung tanah karena hilangnya *intergranular stress* antar butir-butir tanah untuk menahan beban getaran gempa akibat naiknya tegangan air pori. Dampak likuifaksi dapat menimbulkan kerugian dan kerusakan yang besar pada infrastruktur. Evaluasi potensi likuifaksi dilakukan di kawasan *Underpass Yogyakarta International Airport (YIA)* dengan menggunakan data *N-SPT* sebanyak lima data bor. Analisis potensi likuifaksi bertujuan untuk mengetahui nilai *safety factor (SF)* di kawasan tersebut. Peristiwa likuifaksi akan terjadi jika nilai *SF* lebih kecil dari satu. Nilai *safety factor (SF)* adalah perbandingan nilai *Cyclic Resistance Ratio (CRR)* yang merupakan tahanan tanah terhadap likuifaksi dan *Cyclic Stress Ratio (CSR)* yang merupakan tegangan geser yang timbul akibat gempa. Hasil analisis potensi likuifaksi di kawasan *Underpass YIA* menunjukkan bahwa lapisan tanah pasir di *Underpass YIA* berpotensi mengalami likuifaksi pada kedalaman 4-6 m dari permukaan tanah pada titik bor BH01 dan BH05. Sedangkan pada titik bor BH02, BH03, dan BH04, lapisan tanah pasir di lokasi *Underpass YIA* tidak berpotensi terjadi likuifaksi.

Kata kunci: infrastruktur, replacement, gempa bumi, simplified procedure, factor of safety.

PENDAHULUAN

Underpass Yogyakarta International Airport (YIA) yang merupakan *underpass* terpanjang di Indonesia sampai saat ini ($\pm 1,3$ km) dibangun melintasi bandar udara *Yogyakarta International Airport (YIA)* di Daerah Istiwema Yogyakarta/DIY (Gambar 1). Pembangunan *Underpass YIA* dilakukan sebagai solusi terputusnya Jalan Lintas Selatan (JJLS) Jawa yang menghubungkan DIY dengan Provinsi Jawa Tengah (Kabupaten Purworejo) sebagai dampak dari adanya Bandar Udara *Yogyakarta International Airport (YIA)*.

Lokasi *Underpass YIA* yang terletak di pesisir pantai selatan Pulau Jawa rentan terhadap gempa yang berpotensi terjadi likuifaksi. Kerentanan terhadap bencana gempa terjadi dikarenakan daerah pesisir selatan Pulau Jawa dekat dengan pertemuan dua lempeng tektonik aktif yakni lempeng *Eurasia* dan Lempeng Indo-Australia (Gambar 2). Kedua lempeng tersebut berinteraksi menciptakan jalur tubrukan aktif dan subduksi (penujaman).



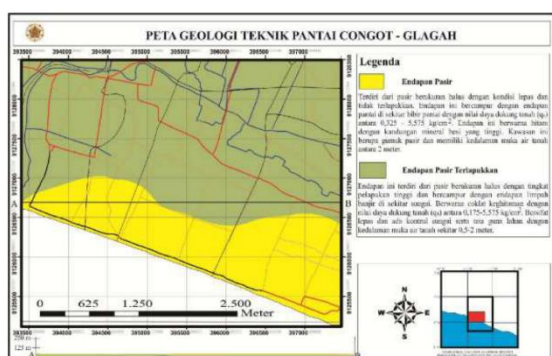
Gambar 1 Lokasi *Underpass YIA*

Sedangkan potensi likuifaksi akibat gempa disebabkan oleh kondisi geologi dan geoteknik di kawasan *Underpass YIA*. Berdasarkan Peta Geologi Lembar Yogyakarta Jawa (1977) lokasi pembangunan *Underpass YIA* termasuk kedalam formasi geologi endapan alluvial. Selain itu, menurut Rahardjo (1995) dalam Amelia dan Indrawan (2017) stratigrafi Kabupaten Kulon Progo tersusun

oleh tatanan stratigrafi regional dari tertua sampai termuda, yaitu Formasi Nanggulan (Teon), Formasi Andesit Tua (Tmork), Formasi Jonggrangan (Tmj), Formasi Sentolo (Tmps), Formasi Wates, Formasi Sleman dan Yogyakarta. Lokasi *Underpass YIA* terdapat di Formasi Wates bagian tengah dan selatan yang terdiri dari endapan alluvial di sebelah utara dan endapan gumuk pasir di sebelah selatan yang berumur Holosen dan didominasi oleh litologi pasir.



Gambar 2 Peta lempeng tektonik Indonesia



Gambar 3. Peta Geologi Teknik Pantai Congot-Glagah (Proceeding Seminar Kebumihan ke-10, 2017)

Hasil penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium dari lima titik bor di sepanjang *Underpass YIA* diketahui secara umum lapisan tanah yang ditemukan di sebagian besar lokasi pada bagian permukaan ditemukan lapisan lempung lanauan atau lempung pasir (tanah kohesif). Lapisan tanah lempung pasir tersebut ditemukan dengan bervariasi dari 0.5 m hingga 3 m. berdasarkan nilai *N-SPT* lapisan lempung pasir tersebut memiliki konsistensi *stiff to very stiff*. Di bawah lapisan lempung pasir ditemukan lapisan pasir (non-kohesif) hingga akhir pengeboran pada kedalaman 16 m. untuk kedalaman 6-8 m dari permukaan tanah asli, lapisan pasir yang ditemukan memiliki ukuran butiran yang halus. Berdasarkan nilai *N-SPT* nya lapisan pasir ini memiliki kepadatan *medium dense*. Sedangkan untuk lapisan pasir dari kedalaman 8 m atau lebih, tanah pasir ini memiliki ukuran butiran sedang hingga kasar, dan memiliki kepadatan *dense to very dense*.

Gambar 4 menunjukkan ilustrasi mengenai kondisi pelapisan tanah dari lima titik bor di lokasi *Underpass YIA*. Kemudian hasil pengamatan muka air tanah pada saat proses pengeboran, posisi muka air tanah yang ditemukan bervariasi antara -3.7 m hingga -4.5 m dari permukaan tanah. Sehingga terdapat lapisan *medium dense* yang terendam atau jenuh pada kedalaman 4-6 m.

Likuifaksi merupakan proses transformasi tanah padat (*solid*) yang jenuh air dan dalam kondisi tak terdrainase menjadi seperti cairan (*liquid*) yang terjadi akibat beban siklik (Tohari dkk., 2014). Perambatan gelombang geser gempa menimbulkan beban siklik pada tanah sehingga menyebabkan kenaikan tekanan air pori. Jika peningkatan tekanan air pori sama dengan tekanan efektif tanah maka tanah tersebut mengalami likuifaksi.

Analisis potensi likuifaksi suatu daerah sangat diperlukan untuk mengurangi dampak yang dapat ditimbulkan akibat bencana ini. Potensi likuifaksi suatu daerah dapat diketahui menggunakan pendekatan empiris maupun uji laboratorium. Pendekatan empiris berdasarkan hasil uji di lapangan seperti uji *Cone Penetration Test (CPT)*, *Shear Waves Velocity (Vs)*, dan *Standard Penetration Test (SPT)* untuk menghasilkan nilai faktor keamanan terhadap potensi likuifaksi. Selain itu, Fenomena likuifaksi dapat diselidiki dengan mengevaluasi korelasi antara kedalaman tanah dan tegangan efektif tanah (Jailil dkk., 2020).

Di lokasi *Underpass YIA* terdapat lapisan pasir dengan kepadatan relatif *medium dense* dan nilai *N-SPT* berkisar antara 13-22 yang berlokasi di bawah muka air tanah atau jenuh. Oleh sebab itu penelitian ini dilakukan untuk menganalisis apakah lapisan pasir dengan kondisi jenuh tersebut berpotensi mengalami likuifaksi atau tidak. Selain itu apabila lapisan tersebut berpotensi untuk mengalami likuifaksi maka perlu dilakukan mitigasi untuk mencegah efek buruk yang ditimbulkan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui tahapan yang berurutan dalam penyelesaian analisis likuifaksi setelah terjadi gempa. Secara garis besar penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan utama, yaitu tahap persiapan, tahap pengumpulan dan pemilahan data, serta tahap pengolahan data.

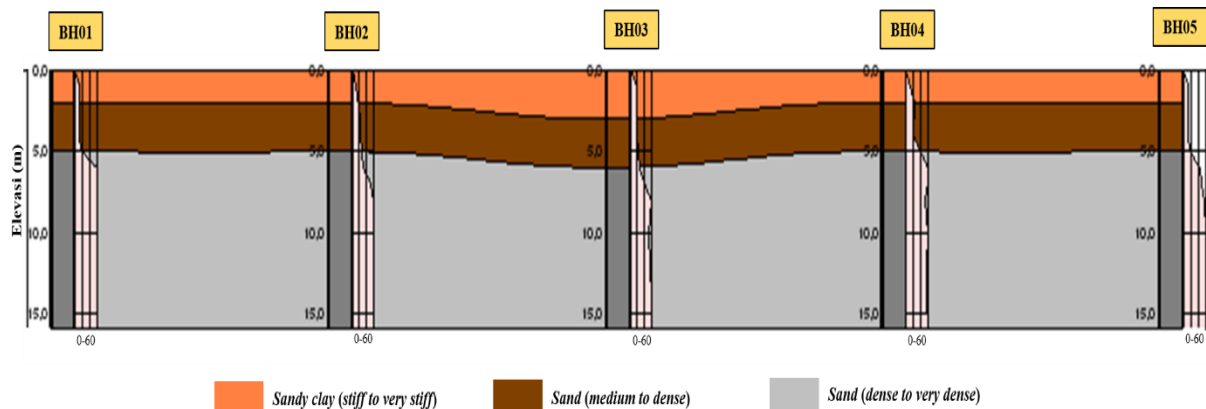
Tahapan persiapan pada penelitian ini merupakan tahap pengumpulan informasi yang dilakukan dengan studi literatur untuk mempelajari konsep yang berkaitan dengan likuifaksi setelah terjadi gempa bumi dan

analisis faktor aman terhadap likuifaksi.

Analisis potensi likuifaksi dilakukan menggunakan data geoteknik berupa data uji lapangan yaitu *Standard Penetration Test (SPT)* pada kawasan *Underpass YIA* sebanyak lima titik pengujian (Gambar 4) dan data gempa di Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Pemilahan data dilakukan dengan memilih data yang mendukung dalam analisis potensi likuifaksi. Data yang diambil terdiri dari data uji *SPT* di lima titik pada kawasan *Underpass YIA* dan data magnitudo gempa Yogyakarta tahun

2006.

Proses pengolahan data dilakukan secara berurutan, dimulai dengan analisis seismik untuk menentukan nilai *peak ground acceleration (pga)* secara probabilistik berdasarkan SNI 1726-2012. Kemudian dilanjutkan dengan analisis *Cyclic Stress Ratio (CSR)* menggunakan metode *simplified procedure* yang dikemukakan oleh Seed & Idriss (1970), analisis *Cyclic Resistance Ratio (CRR)* dengan metode A.F.Rauch, dan tahap akhir melakukan analisis potensi likuifaksi.



Gambar 5 Penampang melintang litologi Kawasan Underpass YIA

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Seismik

Analisis seismik dilakukan untuk mendapatkan parameter percepatan muka tanah maksimum (a_{max}) dan momen magnitudo gempa, M_w sebagai parameter masukan di dalam tahapan perhitungan analisis potensi likuifaksi.

Untuk mendapatkan nilai percepatan puncak batuan dasar yang lebih spesifik pada lokasi *Underpass YIA* digunakan data desain seismik yang dikeluarkan oleh Pusat Penelitian dan Pemukiman Kementerian Pekerjaan Umum (PUSKIM), dimana didapatkan nilai percepatan puncak batuan dasar pga sebesar 0,402g. Analisis percepatan muka tanah maksimum dilakukan dengan berpedoman

pada SNI 1726:2012.

Sedangkan analisis momen magnitudo gempa, M_w didasarkan pada data historis gempa besar pada Daerah Istimewa Yogyakarta pada tahun 2006 menurut *USGS* dimana besar momen magnitudo gempa M_w yang terjadi sebesar 6,3.

Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa kawasan *Underpass YIA* termasuk ke dalam situs tanah sedang (*SD*). Besar nilai koefisien kelas situs F_{PGA} bergantung pada percepatan batuan dasar puncak. Nilai koefisien kelas situs F_{PGA} setelah dilakukan interpolasi didapatkan sebesar 1,098. Dari hasil analisis seismik berdasarkan SNI 1726:2012 pada kawasan *Underpass YIA* didapatkan nilai percepatan muka tanah maksimum (a_{max}) sebesar 0,44g atau 4,326 m/s.



Gambar 4 Lokasi lima titik tinjauan penelitian

Penentuan nilai CSR

Tahap pertama dalam analisis CSR adalah menentukan nilai tegangan total dan tegangan efektif tanah. Tegangan total tanah (σ) diperoleh dengan cara mengalikan berat volume tanah (γ_{sat}) dengan tebal lapisan tanah (z). Sedangkan tegangan efektif tanah (σ') diperoleh dari perkalian berat volume tanah efektif (γ') dengan tebal lapisan tanah (z).

Perhitungan dilakukan pada titik pengujian BH01, dimana kedudukan muka air tanah berada pada kedalaman 4 meter. Kedalaman lapisan tanah yang ditinjau adalah pada kedalaman 1 meter dari permukaan tanah. Pada kedalaman ini, berat volume tanah sebesar 17 kN/m^3 . Besarnya tegangan total dan efektif pada kedalaman 1 meter di titik BH01 sebagai berikut:

Tegangan total tanah

$$\sigma = \gamma_{sat} \cdot z$$

$$\sigma = 17 \times 1 = 17 \text{ kN/m}^3$$

Tegangan efektif tanah

$$\sigma' = \gamma' \cdot z$$

$$\sigma' = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot z$$

$$\sigma' = (17 - 0) \times 1 = 17 \text{ kN/m}^3$$

Tahap selanjutnya menentukan nilai koefisien *stress reduction*, r_d yang digunakan untuk mengasumsikan gerakan tanah sebagai gerakan yang lebih fleksibel, dimana tanah akan berdeformasi jika mendapatkan gaya dari luar. Nilai r_d merupakan fungsi dari kedalaman yang akan berkurang seiring dengan

kedalaman tanah.

Penentuan nilai koefisien *stress reduction* (r_d) pada penelitian ini menggunakan persamaan yang diusulkan Blake (1996) dalam Youd dkk. (2001). Hasil perhitungan koefisien *stress reduction* (r_d) titik BH01 pada kedalaman 1 meter adalah 0,99. Semakin dalam lapisan tanah maka semakin kecil koefisien *stress reduction* (r_d) dari lapisan tanah yang ditinjau.

Faktor paling penting dalam penentuan CSR adalah penentuan nilai percepatan puncak tanah (a_{max}). Berdasarkan perhitungan nilai percepatan puncak tanah yang terjadi pada titik BH01 adalah 0,44 g. Nilai CSR dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$CSR = 0,65 \times \frac{a_{max}}{g} \times \frac{\sigma}{\sigma'} \times r_d$$

$$CSR = 0,65 \times \frac{0,44g}{g} \times \frac{17}{17} \times 0,99 = 0,29$$

Dengan cara yang sama, nilai seluruh CSR tiap lapisan tanah pada titik pengujian BH01 dapat dihitung. Hasil seluruh nilai CSR pada lima titik pengujian dapat dilihat pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 5.

Tabel 1. Nilai CSR titik BH01

Kedalaman (m)	N	CSR
-1	10	0,29
-3	11	0,28
-4	13	0,28
-5	17	0,31

-6	60	0,33
-7	60	0,35
-8	60	0,36
-10	60	0,40
-12	60	0,43
-14	60	0,43
-16	60	0,42

Tabel 2. Nilai CSR titik BH02

Kedalaman (m)	N	CSR
-1	11	0,29
-3	22	0,28
-4	24	0,29
-5	28	0,32
-6	29	0,35
-7	49	0,36
-8	60	0,37
-10	60	0,38
-12	60	0,37
-14	60	0,35
-16	60	0,32

Tabel 3. Nilai CSR titik BH03

Kedalaman (m)	N	CSR
-1	18	0,29
-3	17	0,28
-4	20	0,28
-5	22	0,30
-6	28	0,33
-7	40	0,35
-8	60	0,36
-10	52	0,37
-12	54	0,36
-14	60	0,34
-16	60	0,32

Tabel 4. Nilai CSR titik BH04

Kedalaman (m)	N	CSR
-2	22	0,28
-4	19	0,28
-6	60	0,31
-7	60	0,33
-8	52	0,34
-10	60	0,35
-12	57	0,35
-14	54	0,33
-16	60	0,31

Tabel 5. Nilai CSR titik BH05

Kedalaman (m)	N	CSR
-1	12	0,29
-3	12	0,28
-4	14	0,29
-5	16	0,32
-6	44	0,35

-7	50	0,36
-8	58	0,37
-10	60	0,38
-12	60	0,37
-14	60	0,35
-16	60	0,33

Penentuan nilai CRR

Cyclic Resistance Ratio (CRR) adalah kapasitas tanah untuk menahan tegangan geser selama gempa bumi. Apabila *CRR* terlampaui oleh tegangan geser maka tanah akan terlikuifaksi.

Koreksi *overburden* dilakukan karena nilai *SPT* akan lebih besar jika kedalaman tanah semakin dalam meskipun kondisi tanahnya sama. Hal ini terjadi akibat pengaruh dari tekanan *overburden* yang semakin besar pada kedalaman yang lebih besar (Hardiyatmo, 2018). Koreksi *overburden* pada kedalaman 1 meter di titik BH01 adalah sebagai berikut :

$$C_N = \sqrt{\frac{P_a}{\sigma'}} = \sqrt{\frac{100}{17}} = 2,425 > 1,7$$

Koreksi *overburden* pada kedalaman 1 meter adalah 2,425. Nilai koreksi *overburden* melebihi dari batas atas dari koreksi *overburden* yaitu 1,70 sehingga nilai koreksi yang dipakai adalah nilai koreksi *overburden* maksimum yaitu 1,70.

Pada analisis ini, diasumsikan nilai *CE*, *CB*, dan *CS* adalah 1. Nilai *N-SPT* di titik pengujian BH-01 pada kedalaman 1 meter adalah 10 pukulan. sehingga *N-SPT* terhadap pengujian di lapangan dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini.

$$(N_1)_{60} = N_m \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S$$

$$(N_1)_{60} = 10 \times 1,7 \times 1 \times 1 \times 0,75 \times 1 = 12,75$$

Fines Content (FC) merupakan partikel tanah yang lebih kecil dari 0,075 mm (saringan no.200). Dasar dari analisis potensi likuifaksi adalah pasir bersih (*clean sand*) yang mana kandungan butiran halusanya kurang dari 5%. Nilai *SPT* perlu dikoreksi terhadap pengaruh *fines content* agar analisis potensi likuifaksi sesuai dengan kondisi lapangan (Pawirodikromo, 2012). *Fines content* di titik pengujian BH01 pada kedalaman 1 meter diasumsikan kurang dari 5%. Nilai koreksi *FC* pada kedalaman 1 meter adalah sebagai berikut:

$$\alpha = 0 \text{ untuk } FC \leq 5\%$$

$$\beta = 1 \text{ untuk } FC > 5\%$$

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta \cdot (N_1)_{60}$$

$$(N_1)_{60cs} = 0 + 1 \times 12,75 = 12,75$$

Nilai *N-SPT* terkoreksi pada kedalaman 1 meter adalah 12,75. Nilai *CRR* pada kedalaman 1 meter dihitung dengan persamaan berikut:

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60cs} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{1}{50}} + \frac{1}{[10 \cdot (N_1)_{60cs} + 45]^2 - 200}$$

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - 12,75 + \frac{12,75}{135} + \frac{1}{50}} + \frac{1}{[10 \cdot 12,75 + 45]^2 - 200}$$

$$CRR_{7,5} = 0,14$$

Nilai *CRR*_{7,5} pada kedalaman 1 meter adalah 0,14. Hasil seluruh nilai *CRR* pada 5 titik pengujian ditunjukkan pada Tabel 6 sampai dengan Tabel 10.

Tabel 6. Nilai *CRR* titik BH01

Kedalaman (m)	N-SPT (blow/m)	<i>CRR</i> _{7,5}
-1	10	0,14
-3	11	0,13
-4	13	0,14
-5	17	0,18
-6	60	0,34
-7	60	0,37
-8	60	0,33
-10	60	0,30
-12	60	0,31
-14	60	0,28
-16	60	0,26

Tabel 7. Nilai *CRR* titik BH02

Kedalaman (m)	N-SPT (blow/m)	<i>CRR</i> _{7,5}
-1	11	0,15
-3	22	0,27
-4	24	0,26
-5	28	0,34
-6	29	0,32
-7	49	0,27
-8	60	0,35
-10	60	0,29
-12	60	0,26
-14	60	0,21
-16	60	0,15

Tabel 8. Nilai *CRR* titik BH03

Kedalaman (m)	N-SPT (blow/m)	<i>CRR</i> _{7,5}
-1	18	0,26
-3	17	0,20

-4	20	0,20
-5	22	0,22
-6	28	0,29
-7	40	0,02
-8	60	0,34
-10	52	0,19
-12	54	0,20
-14	60	0,22
-16	60	0,16

Tabel 9. Nilai *CRR* titik BH04

Kedalaman (m)	N-SPT (blow/m)	<i>CRR</i> _{7,5}
-2	22	0,35
-4	19	0,19
-6	60	0,30
-7	60	0,33
-8	52	0,21
-10	60	0,25
-12	57	0,19
-14	54	0,02
-16	60	0,11

Tabel 10. Nilai *CRR* titik BH05

Kedalaman (m)	N (blow/m)	<i>CRR</i> _{7,5}
-1	12	0,16
-3	12	0,14
-4	14	0,15
-5	16	0,17
-6	44	0,15
-7	50	0,29
-8	58	0,33
-10	60	0,29
-12	60	0,27
-14	60	0,22
-16	60	0,16

Evaluasi Safety of Factor

Factor of Safety (FS) adalah rasio antara *Cyclic Resistance Ratio (CRR)* dengan *Cyclic Stress Ratio (CSR)* yang menunjukkan indikasi bahaya potensi likuifaksi. Apabila nilai *FS* < 1 maka tanah di lapisan tersebut berpotensi mengalami likuifaksi sedangkan jika *FS* ≥ 1 maka tanah tidak akan mengalami likuifaksi.

Magnitude Scaling Factor (MSF) didefinisikan sebagai faktor pengali magnitudo gempa dalam skala momen agar setara dengan *CRR*_{7,5}. *MSF* diperkenalkan oleh Seed dan Idriss (1982). Besar magnitudo yang digunakan dalam analisis ini adalah gempa Yogyakarta 27 Mei 2006 dengan Magnitudo sebesar 6,3 *M_w*. Hasil perhitungan *MSF* di titik BH01 sebagai berikut:

$$MSF = \frac{10^{2,24}}{M^{2,56}}$$

$$MSF = \frac{10^{2,24}}{6,3^{2,56}} = 1,56$$

Evaluasi *factor of safety* pada kedalaman 1 meter dihitung menggunakan persamaan yang dikembangkan Youd dkk. (2001) sebagai berikut :

$$FS = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \times MSF$$

$$FS = \frac{0,14}{0,29} \times 1,56 = 0,76$$

Dari perhitungan di atas, nilai *FS* pada kedalaman 1 meter memiliki nilai sebesar 0,76. Nilai *FS* yang diperoleh memiliki nilai kurang dari 1, hal ini menandakan bahwa titik pengujian BH01 pada kedalaman 1 meter berpotensi terjadi likuifaksi. Hasil perhitungan nilai *FS* setiap kedalaman lapisan tanah pada 5 titik pengujian dapat dilihat pada Tabel 11 sampai dengan Tabel 15.

Tabel 11. Nilai *FS* titik BH01

Kedalaman(m)	N	FS	Keterangan
-1	10	0,76	Likuifaksi
-3	11	0,75	Likuifaksi
-4	13	0,76	Likuifaksi
-5	17	0,88	Likuifaksi
-6	60	1,61	Tidak likuifaksi
-7	60	1,64	Tidak likuifaksi
-8	60	1,45	Tidak likuifaksi
-10	60	1,18	Tidak likuifaksi
-12	60	1,12	Tidak likuifaksi
-14	60	1,02	Tidak likuifaksi
-16	60	0,95	Tidak likuifaksi

Tabel 12. Nilai *FS* titik BH02

Kedalaman (m)	N	FS	Keterangan
-1	11	0,82	Tidak likuifaksi
-3	22	1,53	Tidak likuifaksi
-4	24	1,39	Tidak likuifaksi
-5	28	1,64	Tidak likuifaksi
-6	29	1,46	Tidak likuifaksi
-7	49	1,15	Tidak likuifaksi
-8	60	1,46	Tidak likuifaksi
-10	60	1,19	Tidak likuifaksi
-12	60	1,12	Tidak likuifaksi
-14	60	0,95	Tidak likuifaksi
-16	60	0,72	Tidak likuifaksi

Tabel 13. Nilai *FS* titik BH03

Kedalaman (m)	N	FS	Keterangan
-1	18	1,40	Tidak likuifaksi
-3	17	1,11	Tidak likuifaksi
-4	20	1,14	Tidak likuifaksi

-5	22	1,16	Tidak likuifaksi
-6	28	1,39	Tidak likuifaksi
-7	40	0,08	Tidak likuifaksi
-8	60	1,49	Tidak likuifaksi
-10	52	0,80	Tidak likuifaksi
-12	54	0,84	Tidak likuifaksi
-14	60	0,99	Tidak likuifaksi
-16	60	0,77	Tidak likuifaksi

Tabel 14. Nilai *FS* titik BH04

Kedalaman (m)	N	FS	Keterangan
-2	22	1,92	Tidak likuifaksi
-4	19	1,07	Tidak likuifaksi
-6	60	1,52	Tidak likuifaksi
-7	60	1,58	Tidak likuifaksi
-8	52	0,99	Tidak likuifaksi
-10	60	1,12	Tidak likuifaksi
-12	57	0,87	Tidak likuifaksi
-14	54	0,09	Tidak likuifaksi
-16	60	0,55	Tidak likuifaksi

Tabel 15. Nilai *FS* titik BH05

Kedalaman (m)	N	FS	Keterangan
-1	12	0,89	Likuifaksi
-3	12	0,80	Likuifaksi
-4	14	0,79	Likuifaksi
-5	16	0,81	Likuifaksi
-6	44	0,66	Likuifaksi
-7	50	1,23	Tidak likuifaksi
-8	58	1,40	Tidak likuifaksi
-10	60	1,21	Tidak likuifaksi
-12	60	1,14	Tidak likuifaksi
-14	60	0,97	Tidak likuifaksi
-16	60	0,75	Tidak likuifaksi

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis potensi likuifaksi pada 5 titik pengujian di kawasan *Underpass YIA*, lapisan tanah pasir berpotensi likuifaksi pada kedalaman 4-6 m dari permukaan tanah pada titik pengujian BH01 dan BH05. Sedangkan pada titik pengujian BH02, BH03, dan BH04 lapisan tanah pasir tidak berpotensi likuifaksi.

Pada titik pengujian BH02 meskipun pada kedalaman 1 m nilai *Factor of Safety* lebih kecil dari satu ($FS < 1$) tetapi tidak berpotensi terjadi likuifaksi karena kedalaman tanah berada diatas muka air tanah titik pengujian BH02 (MAT=3,70 m).

Selain itu, pada beberapa kedalaman setiap titik pengujian, meskipun nilai *Factor of Safety* lebih kecil dari satu ($FS < 1$) tidak berpotensi likuifaksi dikarenakan nilai *N-SPT* lebih besar dari 30 ($N > 30$) tidak akan

menyebabkan terjadi likuifaksi.

Selanjutnya dapat dilakukan penelitian untuk pemetaan potensi likuifaksi di Kawasan *Underpass YIA* sebagai panduan bagi pihak yang berkepentingan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia, serta Unit Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat atas dukungannya dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, R., & Indrawan, I. G. . (2017). Penyelidikan Geologi Teknik Lokasi Bandara Baru di Daerah Istimewa Yogyakarta. *Proceeding Seminar Nasional Kebumihan*, 1(September). <https://repository.ugm.ac.id/274104/1/OH-T-03.pdf>
- BSN. (2012). SNI 1726:2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Badan Standarisasi Nasional.
- Hardiyatmo, H. C. (2018). Mekanika Tanah 2 (Edisi Keenam). Gadjah Mada University Press.
- Iqbal, P., Tohari, A., Sadisun, I. A., & Nugroho, D. (2014). Fasies Sedimen Kuarter berpotensi likuifaksi Pesisir Kota Padang , Provinsi Sumatra Barat berdasarkan Data Inti Bor dan CPTu. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 5(1), 1–18.
- Jalil, A., Fathani, T. F., Satyarno, I., & Wilopo, W. (2020). A Study on The Liquefaction Potential in Banda Aceh City After the 2004 Sumatera Earthquake. *International Journal of GEOMATE*, 18(65), 147–155. <https://doi.org/10.21660/2020.65.94557>
- Pawirodikromo, W. (2012). Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan (Edisi Pertama). Pustaka Pelajar.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, & Rosidi, H. M. . (1977). Peta Geologi lembar Yogyakarta, Jawa skala 1:100.000 (Edisi II). Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1970). *A Simplified Procedure For Evaluating Soil Liquefaction Potential* (EERC 70-9, Issue November). College of Engineering University of California.
- Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1982). Ground Motions and Soil Liquefaction during Earthquake. *Earthquake Engineering Research Institute Monograph*.
- Youd, T. L., Idriss, I. M., Andrus, R. D., & Castro, G. (2001). Liquefaction Resistance of Soils : Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER / NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(October), 817–833. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2001\)127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127)

Dissertation/Thesis, Unpublished

- Kuntoro, T. H. (2007). *Pengembangan kurikulum pelatihan magang di SMK : Suatu studi berdasarkan dunia usaha* (Unpublished Doctoral dissertation). Program Pasca Sarjana UNNES, Semarang.

Government Document

- National Institute of Mental Health. (2008). *Clinical training in serious mental illness* (DHHS Publication No. ADM 90-1679). Washington, DC : U. S. Government Printing Office.

Conference Proceedings

- Suci, P., Tjipto, P., & Budi, J. (Eds.). (2013). Implementasi penggunaan simulasi phET dan KIT sederhana untuk mengajarkan keterampilan psikomotor siswa. , *Prosiding Seminar Nasional IPA IV* . Semarang: Program Studi Pendidikan IPA S1 FMIPA UNNES.