

ARTICLE

Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Spt Di Kulon Progo Yogyakarta

Septi Devita Nova, Ferry Fatnanta,^{*} and Muhamad Yusa

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12.5, Pekanbaru 28293

^{*}Corresponding author. Email: ferry.fatnanta@lecturer.unri.ac.id

(Received ; revised 15 Oktober 2024; accepted 14 November 2024; first published online 21 November 2024)

Abstract

Liquefaction is a process of changing soil properties when the solid state becomes liquid caused by cyclic loads as a result of an earthquake so that the pore water pressure increases, approaching and even exceeding the magnitude of the total pressure. Liquefaction occurs due to earthquakes that occur in the area. Tectonic earthquake is one type of earthquake that can trigger liquefaction. The purpose of this study was to examine the potential for liquefaction in Kulon Progo Yogyakarta as the location of the New Yogyakarta International Airport, analyze the safety score (FS), and the value of the liquefaction potential index (LPI). The method used is the Idriss – Boulanger (2014) method using SPT data which is tested at three test points, namely BH-01, BH-03, and BH-06. For this study earthquake data were obtained from the USGS site and the 2017 Earthquake Hazard Map with variations in the earthquake magnitude used were 5.00; 6.30; and 8.10 and ground acceleration data using a probability of 7% in 75 years with a return period of 1000 years. Soil classification based on USCS shows that the soil at the study site is poorly graded sand which contains little fine grain. The results of the study indicate that the research location is prone to liquefaction. Liquefaction occurs at each test point at depth of 4.00 m and 6.00 m, especially at Mw 8.1 and amax 0.48 g with variation where soil resistance is low. Then, based on the classification of the liquefaction potential index numbers which are in the low to high range and the estimated decrease that occurs is up to 23.6 cm.

Keywords: Liquefaction, Earthquake, SPT, USGS, Safety Factor

1. Pendahuluan

Secara geografis Indonesia adalah negara yang dilewati oleh pertemuan 3 (tiga) lempeng tektonik dunia, dimana lempeng tersebut adalah lempeng Pasifik, lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia. Selain itu, Indonesia juga merupakan wilayah pertemuan 2 (dua) jalur gempa utama yaitu jalur gempa Mediterania dan jalur gempa Sirkum Pasifik. Indonesia juga berada di kawasan cincin api (*ring of fire*), sehingga berdasarkan letak geografis ini Indonesia termasuk ke kawasan yang rawan akan terjadinya gempa bumi, terutama gempa bumi tektonik yang disebabkan oleh pergerakan lempeng bumi.

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang terjadi pada kerak bumi. Saat pinggiran lempeng tidak mampu untuk menahan tekanan maka saat itulah terjadi gempa bumi. Pergerakan

tersebut menyebabkan terjadinya getaran akibat pelepasan energi secara tiba-tiba yang dapat merambat ke segala arah hingga ke permukaan bumi. Gempa bumi dapat mengakibatkan kerusakan, salah satu kerusakan yang disebabkan oleh gempa bumi adalah terjadinya peristiwa likuifaksi (*liquefaction*).

Likuifaksi (*liquefaction*) merupakan suatu proses perubahan sifat tanah saat keadaan padat menjadi cair yang disebabkan oleh beban siklik sebagai hasil akibat dari terjadinya gempa sehingga tekanan air pori meningkat mendekati bahkan melampaui besarnya tegangan vertikal.

Likuifaksi dapat terjadi pada tanah yang non-kohefif (lanau atau pasir) yang jenuh air sehingga saat terguncang oleh gempa yang terjadi dapat kehilangan kuat gesernya. Gempa tektonik merupakan salah satu jenis gempa yang dapat memicu terjadinya likuifaksi. Beban yang disebabkan oleh gempa dinamakan dengan beban siklik. Dimana saat tanah menerima beban siklik ini, maka pasir lepas akan mengalami perubahan volume sehingga terjadi peningkatan tekanan air pori kemudian nilai tegangan efektif tanah akan turun.

Wilayah Yogyakarta secara geoteknik memiliki lapisan tanah pasir yang sangat tebal. Lapisan pasir di Yogyakarta mampu mencapai kedalaman hingga 60 meter dari permukaan tanah. Pada daerah dekat permukaan, gradasi tanah pasir pada umumnya seragam dengan nilai N-SPT yang cukup rendah dan pada kedalaman tertentu nilai N-SPT nya cukup tinggi. Selain itu, muka air tanah yang cukup tinggi pada musim kemarau sekitar 12 meter akan naik menjadi sekitar 4 sampai 6 meter saat musim penghujan (Hatmoko and Lulie 2008). Maka dari itu, kondisi pelapisan tanah serta kondisi muka air tanah yang seperti ini akan sangat mungkin terjadi peristiwa pencairan tanah (likuifaksi) saat terjadi gempa. Kulon Progo Yogyakarta sebagai lokasi Bandara Internasional baru Yogyakarta (YIA) dekat dengan pertemuan dua lempeng, dimana dapat memperbesar potensi terjadinya gempa bumi dan juga jenis tanah yang tergolong lunak. Kondisi tanah di Bandara Internasional Yogyakarta memiliki kategori pasir lepas sampai dengan sangat lepas karena kedalaman tanah hanya sekitar 0,3 meter. Karena kawasan ini didominasi oleh Sand-Silt, maka ketika terjadi gempa akan sangat berpengaruh dan berkemungkinan terjadinya peristiwa penurunan tanah (Likuifaksi) karena bersifat kurang padat. Jika terjadi peristiwa penurunan tanah (Likuifaksi) pada daerah ini maka akan dapat mempengaruhi atau dapat menyebabkan terjadinya collapse pada bangunan di atasnya.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Tanah dapat terbentuk melalui proses fisis atau kimiawi. Proses fisis dipengaruhi oleh angin, erosi, es, manusia, suhu atau cuaca. Sedangkan proses kimiawi dipengaruhi oleh zat yang ada disekitarnya seperti karbondioksida, oksigen, air yang mengandung asam atau alkali dan proses kimia lainnya.

2.1.1 Komponen-komponen Tanah

Umumnya tanah terdiri atas dua macam bahan. Akan tetapi, tidak jarang ditemukan tanah yang terdiri atas tiga macam bahan. Bahan-bahan komponen tanah disebut dengan fase. Ketiga fase ini adalah butiran tanah (padat), air, dan udara. Ada kecenderungan pada butiran tanah untuk saling terkait dan membentuk apa yang dinamakan dengan kerangka tanah.

2.1.2 Ukuran Partikel Tanah Berdasarkan Sistem Klasifikasi USCS

Sistem klasifikasi dapat mengelompokkan tanah berbeda yang memiliki sifat yang sama ke beberapa kelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi dapat memudahkan dalam menjelaskan sifat-sifat umum tanah secara singkat. Salah satu sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan adalah Unified Soil Classification System (USCS). Pada sistem USCS tanah dikelompokkan menjadi 2 (dua)

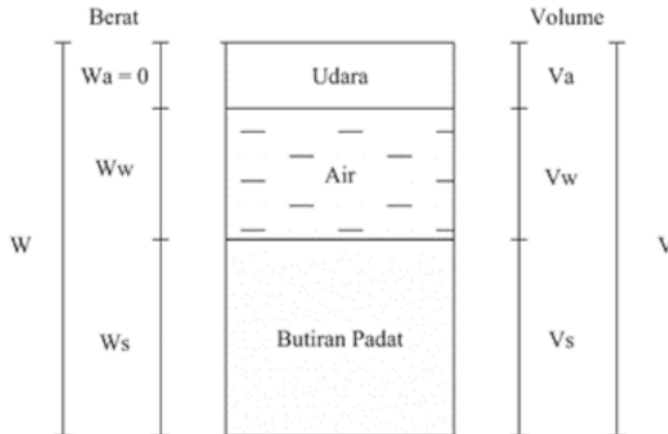


Figure 1. Diagram Fase Tanah

kelompok yaitu Tanah berbutir kasar (coarse-grained soil) dan Tanah berbutir halus (fine-grained soil).

2.2 Standard Penetration Test (SPT)

Standard Penetration Test (SPT) merupakan suatu metode uji percobaan dinamis yang berasal dari Amerika Serikat. Percobaan dinamis merupakan suatu pengujian yang ujungnya (dapat berupa konus) dimasukkan kedalam tanah dengan menjatuhkan beban dari tinggi jatuh tertentu dengan jumlah pukulan yang diperlukan untuk mencapai kedalaman tertentu. Standard Penetration Test (SPT) atau uji penetrasi standar adalah metode uji tanah yang dilakukan bersamaan dengan pengeboran tanah untuk mengetahui nilai perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan sample terganggu.

Uji SPT terdiri atas uji pemukulan tabung belah ke dalam tanah, disertai dengan pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm secara vertikal. Dalam sistem beban jatuh ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg yang dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76 m. pelaksanaan pengujian dilakukan dalam tiga tahap, yaitu tahap pertama disebut sebagai dudukan (N_1) nilai N_1 tidak diperhitungkan karena tanah masih dianggap kotor/bekas pengeboran, sementara jumlah pukulan untuk memasukkan tahap kedua dan ketiga dijumlahkan untuk memperoleh nilai pukulan N atau perlawanan SPT ($NSPT = N_2 + N_3$, dinyatakan dalam pukulan/0,3 m).

2.3 Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan getaran yang terjadi pada permukaan tanah sebagai akibat dari desakan atau pelepasan energi dari dalam bumi secara tiba-tiba yang kemudian merambat ke permukaan bumi. Gempa bumi biasanya terjadi akibat pergerakan dari lempeng bumi yang mana frekuensinya mengacu pada jenis dan ukuran gempa bumi yang dialami selama periode waktu tertentu.

Proses terjadinya gempa bumi sulit untuk diamati dan diprediksi secara langsung karena proses terjadinya yang sangat kompleks dengan melibatkan energi dari sistem sesar aktif dari bawah permukaan bumi. Sebagian besar dari riwayat gempa bumi yang pernah terjadi diakibatkan oleh pergerakan lempeng tektonik bumi.

2.3.1 Agregasi dan Deagregasi

Satu nilai dominan tertentu dari magnitudo (M) dan jarak dari site ke sumber (R) menyebabkan hazard akibat gempa dapat menjadi suatu fungsi, baik secara sendiri – sendiri maupun bersama –

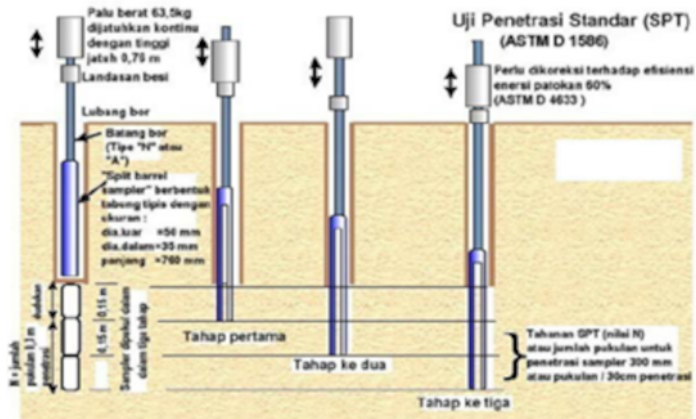
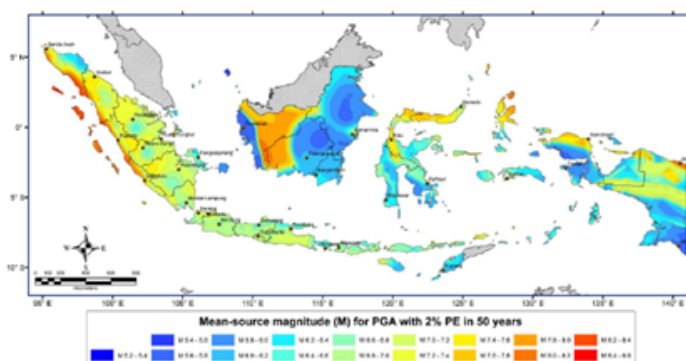


Figure 2. Skema Uji SPT

sama. Konsep ini digunakan untuk mendapatkan deagregasi seismic untuk memberikan gambaran umum tentang besaran gempa dan jarak untuk sumber gempa tertentu yang kemungkinan besar destruktif terhadap site, dan laju tahunan rata-rata kejadian yang merupakan fungsi dari magnitude dan atau jarak.

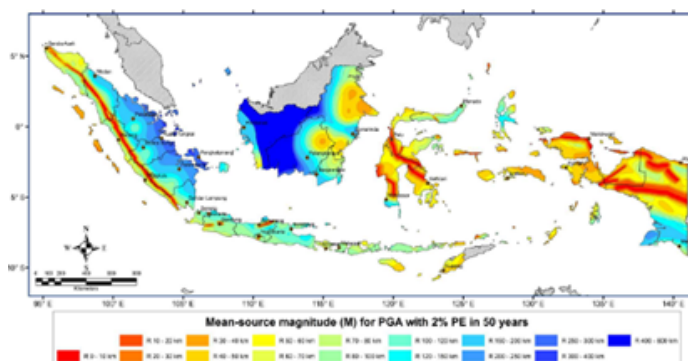
Pembuatan peta deagregasi adalah salah satu upaya mitigasi bencana gempa bumi adalah dengan memperhitungkan karakteristik sumber bencana gempa bumi. Peta deagregasi memberikan perkiraan gempa bumi penentu baik magnitude (M) maupun jarak (R) yang memberikan kontribusi terbesar dalam percepatan maksimum yang dihasilkan. Peta deagregasi juga bermanfaat dalam menentukan ground motion sintetik dan respon spektra yang merupakan salah satu komponen utama yang bermanfaat dalam penyusunan peraturan ke gempa.

Peta deagregasi yang digunakan di Indonesia saat ini adalah peta deagregasi yang berdasarkan pada Peta Gempa Indonesia tahun 2010 yang dianalisis menggunakan PGA dengan probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun dengan periode ulang 2475 tahun. Peta Deagregasi magnitude (M) dan Peta Deagregasi Jarak Sumber Gempa dapat dilihat pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5. Berdasarkan Peta Deagregasi Magnitude untuk wilayah Yogyakarta memiliki nilai Magnitude dominan berkisar antara 6,8 – 7,2. Sedangkan berdasarkan Peta Deagregasi Jarak Sumber Gempa untuk wilayah Yogyakarta memiliki jarak sumber gempa dominan berkisar antara 10 – 80 Km.



(Asrurifak et al. 2012)

Figure 3. Peta Deagregasi Magnitude Indonesia



(Asrurifak et al. 2012)

Figure 4. Peta Deagregasi Jarak Indonesia

2.3.2 Peak Ground Acceleration (PGA)

Peak Ground Acceleration (PGA) adalah nilai percepatan tanah terbesar atau maksimum yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gempa bumi. Nilai percepatan tanah maksimum atau PGA telah menjadi salah satu parameter untuk menyatakan kekuatan suatu gempa bumi. Menurut Kramer (1996) yang dikutip dalam Kumala & Wahyudi (2016), menyatakan bahwa percepatan tanah akibat gempa bumi itu akan menunjukkan gaya inersia yang akan bekerja pada massa struktur. Gaya inersia yang dimaksud adalah gaya yang timbul oada bangunan karena kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya. Namun hasil ini harus disesuaikan dengan keadaan geologi serta karakteristik dari zona seismik lokasi yang dijadikan daerah penelitian.

Peta Hazard Gempa Indonesia Tahun 2017 dalam analisisnya menggunakan metode PSHA. Metode PSHA didasarkan pada suatu fungsi distribusi probabilitas yang memperhitungkan pengaruh faktor – faktor ketidakpastian dari ukuran, lokasi, dan waktu kejadian gempa bumi. Tingkat bahaya gempa bumi di suatu lokasi yang ditinjau dengan faktor ketidakpastiannya dapat diketahui dengan metode PSHA. Analisis terhadap PSHA yang dilakukan dalam penyusunan Peta Hazard Gempa Indonesia Tahun 2017 memberikan hasil bahwa seiring dengan semakin bertambah panjangnya rentang waktu perhitungan, maka guncangan yang dapat muncul di suatu area akan semakin bertambah tinggi. Hal ini terjadi karena semakin panjang waktu maka semakin banyak gempa dengan magnitude lebih besar yang muncul.

2.4 Likuifaksi

Menurut Seed et al. (Seed, Arango, and Chan 1975), Likuifaksi adalah proses perubahan kondisi tanah pasir yang jenuh air menjadi cair akibat meningkatnya tekanan air pori yang nilainya menjadi sama dengan tekanan total oleh sebab terjadinya beban dinamik. Likuifaksi merupakan fenomena dimana tanah kehilangan kekuatan gesernya sebagai akibat dari getaran. Getaran yang dimaksud dapat berupa getaran yang berasal dari gempa bumi maupun yang berasal dari pembebanan cepat lainnya.

2.4.1 Atlas Zona Kerentanan Likuifaksi Indonesia

Atlas zona kerentanan likuifaksi Indonesia adalah peta kerentanan likuifaksi yang diterbitkan oleh Badan Geologi Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Zona kerentanan yang termuat dalam peta tersebut memberikan indikasi awal kejadian likuifaksi dan merupakan informasi awal untuk perencanaan regional pada skala 1 : 100.000 atau lebih kecil bagi pemilihan lokasi untuk pengembangan kawasan/wilayah. Atlas zona kerentanan

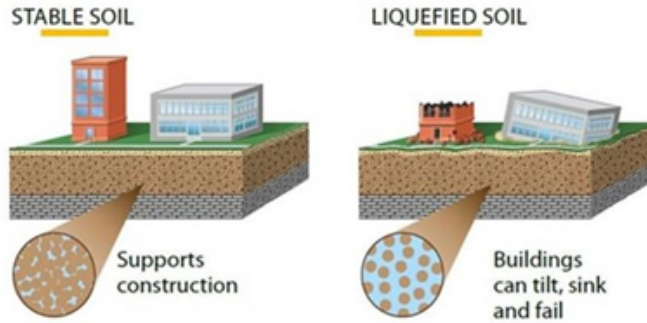


Figure 5. Ilustrasi Efek Likuifaksi

likuifaksi adalah peta yang menunjukkan potensi likuifaksi pada 34 Provinsi di Indonesia. Atlas Zona Kerentanan Likuifaksi menggunakan periode ulang gempa 500 tahun atau probabilitas 10% dalam 50 tahun sebagai salah satu analisisnya dengan nilai percepatan tanah puncak $\geq 0,1$ g.



Figure 6. Kerentanan Likuifaksi Yogyakarta

Atlas kerentanan zona likuifaksi yang ditunjukkan pada Gambar 6. Yogyakarta memiliki kerentanan sedang hingga tinggi ditandai dengan warna kuning dan warna ungu secara berturut yang menggambarkan bahwa daerah tersebut memiliki kerentanan sedang hingga tinggi terhadap terjadinya likuifaksi.

2.4.2 Parameter Likuifaksi

Tegangan vertikal merupakan tegangan yang tidak memperhitungkan tegangan air pori. Tegangan air pori adalah tegangan yang berasal dari air yang berada dalam lapisan bawah tanah. Tegangan

vertikal total dinyatakan dalam Rumus (1).

$$\sigma_v = \sum (\gamma \times h) \quad (1)$$

dengan σ_v tegangan vertikal total (kN/m^2), γ adalah berat isi lapisan tanah (kN/m^3), H adalah tebal lapisan tanah (m) (kN).

Tegangan vertikal efektif merupakan tegangan yang mempengaruhi kuat geser dan perubahan volume atau penurunan tanah. Tegangan vertikal efektif dinyatakan dalam Rumus (2).

$$\sigma'_v = \sigma_v - \mu \quad (2)$$

dengan σ'_v tegangan vertikal efektif (kN/m^2), σ_v tegangan vertikal total (kN/m^2), μ adalah tegangan air pori (kN/m^3).

Cyclic Stress Ratio (CSR) adalah nilai perbandingan antara tegangan geser siklik yang terjadi akibat gempa dengan tegangan efektif di tiap lapisan. Dalam menganalisis potensi likuifaksi nilai CSR merupakan salah satu dari dua komponen utama. CSR biasanya dinyatakan sebagai nilai seragam yang setara dan dapat mewakili. Untuk menghitung nilai CSR dapat menggunakan dua rumus yaitu berdasarkan persamaan Tokimatsu dan Yoshimi (1983) dan persamaan Seed – Idriss (1971). Pada penelitian ini digunakan persamaan Seed – Idriss untuk menentukan nilai CSR pada Rumus (3).

$$CSR = 0,65 \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \frac{a_{max}}{g} r_d \quad (3)$$

dengan 0,65 merupakan *weighting factor*, σ_{v0} tegangan total vertikal overburden, σ'_{v0} adalah tegangan vertikal overburden efektif, a_{max} adalah percepatan permukaan horizontal maksimum, g adalah percepatan gravitasi, dan r_d adalah koefisien pengurang tegangan atau faktor reduksi.

Idriss (1999), menyimpulkan bahwa parameter faktor reduksi tegangan (r_d) dapat dirumuskan seperti Rumus (4), (5) dan (6).

$$r_d = \exp [\alpha (z) + \beta (z) M] \quad (4)$$

$$\alpha (z) = -1,012 - 1,126 \sin \left[\frac{z}{11,73} + 5,133 \right] \quad (5)$$

$$\beta (z) = 0,106 + 0,118 \sin \left[\frac{z}{11,28} + 5,142 \right] \quad (6)$$

dengan z adalah kedalaman (m), dan M adalah momen magnitudo gempa.

Dengan mengalikan faktor amplifikasi untuk PGA (FPGA) dengan nilai PGA yang diperoleh dari Peta Hazard Gempa Indonesia 2017 dapat diperoleh besarnya nilai percepatan horizontal maksimum tanah. Secara matematis, percepatan puncak di permukaan tanah dapat diperoleh dengan Rumus (7).

$$a_{max} = F_{PGA} \times S_{PGA} \quad (7)$$

dengan a_{max} nilai percepatan puncak di permukaan tanah, F_{PGA} adalah faktor implifikasi untuk PGA, S_{PGA} adalah Nilai PGA di batuan dasar (S_B).

Cyclic Resistance Ratio (CRR) adalah nilai yang menggambarkan kekuatan tanah saat dibebani oleh beban siklik atau gempa bumi. Nilai CRR juga dapat diartikan sebagai nilai ketahanan tanah untuk menahan likuifaksi. Hitungan SPT dipengaruhi oleh faktor koreksi (panjang batang, energi palu (hammer), detail sampel, ukuran lubang bor) dan tekanan overburden efektif dinyatakan dalam Rumus (8).

$$(N_1)_{60} = C_N C_E C_R C_B C_S N_M \quad (8)$$

Menurut Idriss dan Seed, jika pada nilai CRR diperhitungkan kandungan butir halus (FC), sehingga nilai $(N_1)_{60}$ harus dikoreksi terhadap nilai ekuivalen pasir bersih dengan menggunakan Rumus (9).

$$(N_1)_{60CS} = (N_1)_{60} + \Delta (N_1)_{60} \quad (9)$$

Idriss dan Boulanger, (2004) memperkenalkan perhitungan nilai equivalent clean sand adjustment $\Delta (N_1)_{60}$ secara empiris. Nilai ini memiliki pengaruh pada nilai CRR dengan jumlah pukulan SPT yang dikaji berdasarkan analisis kejadian likuifaksi sehingga menjadi unsur penting dalam perhitungan. Equivalent clean sand adjustment $\Delta (N_1)_{60}$ dirumuskan seperti Rumus (10).

$$\Delta (N_1)_{60} = \exp \left(1,63 + \frac{9,7}{FC + 0,01} - \left(\frac{15,7}{FC + 0,01} \right)^2 \right) \quad (10)$$

Durasi gempa, *Magnitude Scaling Factor* (MSF) dan faktor koreksi tekanan overburden (K_σ) dapat mempengaruhi nilai CRR tanah. Oleh karena itu, korelasi nilai CRR dikembangkan untuk $M = 7,5$ dan $\sigma'_v = 1 \text{ atm}$, yang kemudian disesuaikan untuk nilai M dan σ'_v lainnya dengan menggunakan Rumus (11).

$$CRR_{M,\sigma'_v} = CRR_{M=7,5,\sigma'_v=1atm} \times MSF \times K_\sigma \quad (11)$$

Korelasi antara nilai CRR disesuaikan dengan $M = 7,5$ dan $\sigma'_v = 1 \text{ atm}$ ($= 100 \text{ kPa}$) dan nilai ekuivalen pasir bersih (equivalent clean sand), $(N_1)_{60CS}$ untuk tanah non kohesif, seperti yang dikembangkan oleh Idriss dan Boulanger, dinyatakan dalam Rumus (12).

$$CRR_{M=7,5,\sigma'_v=1atm} = \exp \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{14,1} \right) + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{126} \right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{23,6} \right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{25,4} \right)^4 - 2,8 \quad (12)$$

Faktor koreksi tekanan overburden K_σ yang dikembangkan oleh Boulanger (2003) menunjukkan bahwa nilai CRR untuk tanah pasir di laboratorium berkaitan dengan indeks parameter keadaan relatif tanah. Sehingga Idriss and Boulanger kemudian mengemukakan persamaan nilai K_σ sebagai Rumus (13) dan Rumus (14).

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln \left(\frac{\sigma'_v}{P_a} \right) \leq 1,1 \quad (13)$$

$$C_\sigma = \frac{1}{18,9 - 2,55 \sqrt{(N)_{60CS}}} \leq 0,3 \quad (14)$$

Seed dan Idriss (1982) mengemukakan bahwa Magnitude Scaling Factor (MSF) adalah faktor skala gempa disebabkan karena sulitnya membedakan kondisi likuifaksi dan non likuifaksi pada perhitungan CRR untuk gempa selain 7,5 ($M = 7,5$). Oleh karena itu, koefisien MSF menjadi salah satu parameter yang berpengaruh dalam perhitungan beban gempa (CSR). Persamaan nilai MSF dapat dilihat pada Rumus (15).

$$MSF = 6,9 \times \exp \left(\frac{-M}{4} \right) - 0,058 \leq 1,8 \quad (15)$$

Factor of safety atau nilai faktor keamanan merupakan hal penting untuk mengetahui apakah dari perhitungan yang dilakukan dapat terjadi likuifaksi atau tidak. Nilai faktor keamanan diperoleh dari hasil perbandingan CRR dan CSR. SF dinyatakan dalam Rumus (16).

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (16)$$

dengan $FS > 1$ tidak terjadi likuifaksi, $FS = 1$ kondisi kritis terjadi likuifaksi dan $FS < 1$ terjadi likuifaksi.

Liquefaction Potential Index (LPI) adalah suatu indeks yang digunakan untuk mengestimasi potensi likuifaksi yang menyebabkan kerusakan fondasi. Metode LPI ini pertama kali dikembangkan oleh Iwasaki dkk. (1978) dinyatakan dalam Rumus (17).

$$LPI = \int_0^{20m} Fw(z) dz \quad (17)$$

dengan $F = 1 - FS$ untuk $FS \leq 1$ dan $F = 0$ untuk $FS > 1$

$w(z)$ merupakan fungsi berat yang bergantung terhadap kedalaman, yaitu $w(z) = 10 - 0,5z$, dengan z adalah kedalaman lapisan pasir dinyatakan dalam meter.

Perpindahan partikel suatu massa tanah dapat ditinjau dari dua penyebab, yaitu perpindahan vertikal yang disebabkan oleh konsolidasi dari tanah yang mengalami likuifaksi (penurunan) serta perpindahan vertikal yang disebabkan oleh deformasi geser. Likuifaksi akan menjadi masalah serius bila menyebabkan terjadinya keruntuhan gedung sebagai akibat penurunan permukaan tanah selama getaran gempa bumi (Gustika, Pawirodikromo, and Fatnanta 2019). Penurunan permukaan tanah dapat dihitung dengan melakukan integral regangan vertikal untuk setiap lapisan tanah pada seluruh kedalaman dinyatakan dalam Rumus (18).

$$S = \int_0^z \varepsilon_v dz = \sum_{i=1}^j \varepsilon_{v,1} \Delta Z_i \quad (18)$$

dengan S penurunan tanah akibat likuifaksi (m), $\varepsilon_{v,1}$ adalah Regangan volumetric pasca likuifaksi lapisan tanah $k - i$ (%), ΔZ_i adalah tebal lapisan tanah ke $- i$ (m).

3. Metodologi Penelitian

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di daerah dibangunnya Bandara Internasional Baru Yogyakarta (Yogyakarta International Airport), Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pada lokasi ini telah dilakukan penyelidikan tanah dengan menggunakan alat berupa uji SPT pada beberapa titik. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 7.

3.2 Metode Pengumpulan Data

3.2.1 Data SPT

Data SPT yang digunakan pada analisis adalah data sekunder dari Survey Topografi Soil Investigation yang dilakukan oleh PT. Surveyor Indonesia. Perhitungan analisis potensi likuifaksi berdasarkan data SPT pada penelitian ini menggunakan metode Idriss – Boulanger (2014).

3.2.2 Data Riwayat Gempa

Variasi nilai magnitude yang digunakan dalam analisis potensi likuifaksi di Kulon Progo Yogyakarta menggunakan 3 (tiga) nilai M_w dengan rincian pada Tabel 1. Nilai M_w 5,00; M_w 6,30; dan M_w 8,10. Ketiga variasi gempa yang digunakan adalah gempa tektonik.



Figure 7. Lokasi Penelitian

3.2.3 Data PGA

Data PGA yang digunakan diambil berdasarkan Peta Hazard Gempa Indonesia 2017 di wilayah pulau Jawa merupakan data sekunder dari peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun dengan periode ulang 1000 tahun. Nilai PGA di wilayah pulau Jawa dapat dilihat pada Tabel 2.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Analisis Potensi Likuifaksi dengan Pendekatan Kualitatif

Analisis potensi likuifaksi menggunakan pendekatan kualitatif dipengaruhi oleh geologi daerah penelitian, kedalaman muka air tanah, dan jenis tanah yang mendominasi. Secara geologi, lokasi penelitian ditutupi oleh endapan dengan tingkat lapuk yang tinggi. Likuifaksi pada umumnya terjadi pada kondisi geologi yang batuanannya masih bersifat muda (Kuarter) dengan sifat fisik batuan yang umumnya bersifat urai (loose), belum mengalami kompaksi (onconsolidated), dan jenuh air (water saturated).

Berdasarkan Peta Geologi Kabupaten Kulon Progo yang dikeluarkan oleh Badan Penanggulangan Bencana Daerah Yogyakarta menunjukkan bahwa Kulon Progo tersusun atas Aluvium, Diorit, Endapan Gunung Api Merapi Muda, Formasi Gampingwungkal, Formasi Jonggrangan, Formasi Nanggulan, Formasi Sentolo, dan Kolovium.

Kemudian untuk potensi Likuifaksi jika dilihat dari muka air tanah, berdasarkan muka air tanah pada titik uji adalah kurang dari 10 meter. Kedalaman muka air tanah yang kurang dari 10 m berpengaruh terhadap potensi likuifaksi dan titik pengujian memiliki kedalaman muka air tanah yang kurang dari 10 m sehingga memiliki potensi untuk mengalami likuifaksi.

4.2 Karakteristik Sifat Tanah

Karakteristik tanah berupa sifat fisik dan sifat mekanik diperoleh dari hasil penyelidikan tanah di laboratorium maupun di lapangan. Perlunya penentuan sifat tanah pada setiap titik-titik pengujian adalah untuk mendapatkan parameter-parameter yang dapat mempengaruhi potensi terjadinya likuifaksi. Pada analisis likuifaksi menggunakan data SPT di Kulon Progo, Yogyakarta diperoleh data sifat tanah menggunakan klasifikasi USCS pada masing-masing titik pengujian BH-01, BH-03 dan BH-06.

Dari hasil klasifikasi yang dilakukan untuk setiap titik pengujian, diperoleh bahwa setiap lapisan tanah pada tiap titik didominasi oleh tanah berjenis SP atau tanah pasir bergradasi buruk dengan

sedikit butiran halus. Hasil klasifikasi untuk titik BH-01 dan BH-03 dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

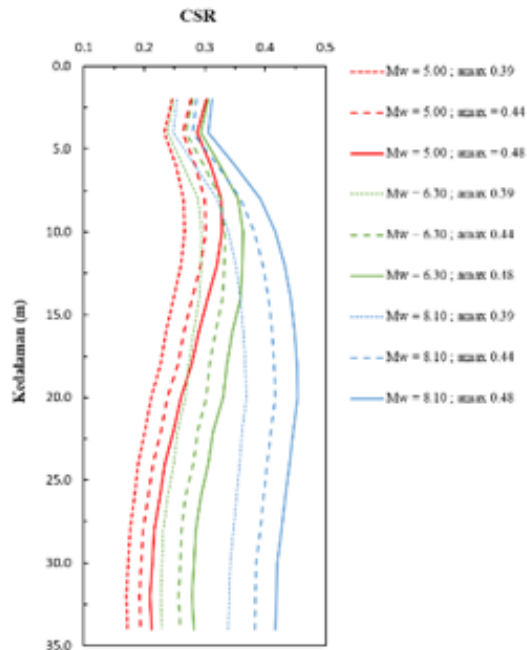


Figure 8. Nilai CSR BH-01

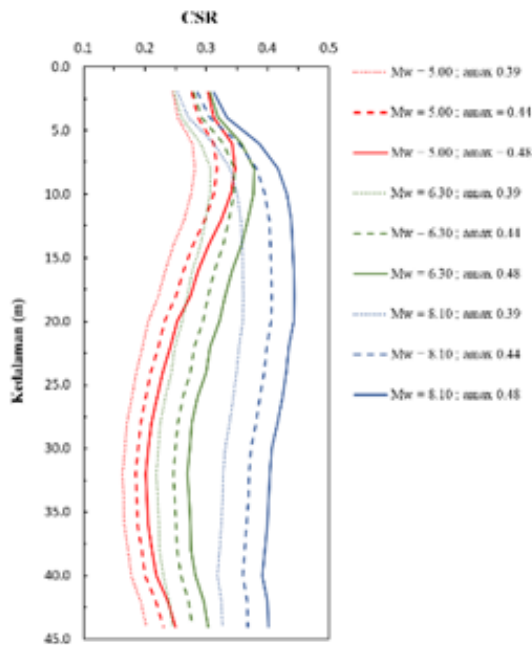


Figure 9. Nilai CSR BH-03

4.3 Analisis Nilai Cyclic Stress Ratio (CSR)

Perhitungan Cyclic Stress Ratio (CSR) menggunakan data SPT yang dilakukan menunjukkan bahwa besarnya nilai CSR tersebar secara acak pada setiap kedalaman tanpa pola tertentu dan berbeda untuk setiap magnitudo (M_w) dan percepatan maksimum tanah (a_{max}) nya. Nilai CSR dipengaruhi oleh nilai tegangan efektif tanah dan nilai magntude yang digunakan.

Grafik nilai CSR terhadap kedalaman untuk masing-masing titik pengujian BH-01 dan BH-03 menunjukkan bahwa semakin besar nilai M_w dan a_{max} yang digunakan maka nilai CSR yang diperoleh juga semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena nilai CSR berbanding lurus dengan nilai M_w dan a_{max} secara empiris.

Titik BH-01 memiliki nilai CSR maksimum terjadi pada kedalaman 20 m dengan nilai CSR yaitu 0,454. Nilai CSR ini diperoleh dengan variasi nilai M_w 8,1 dan a_{max} 0,48 g. Pada titik uji BH-03, nilai CSR terjadi pada kedalaman 18 m dengan nilai CSR yaitu 0,444. Nilai CSR ini diperoleh dengan menggunakan variasi M_w 8,1 dan a_{max} 0,48 g. Grafik nilai CSR untuk BH-01 dan BH-03 dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.

4.4 Analisis Nilai Cyclic Resistance Ratio (CRR)

Berdasarkan grafik nilai CRR terhadap kedalaman yang dihasilkan dari hasil perhitungan, diperoleh bahwa masing-masing kedalaman memiliki nilai CRR yang berbeda. Hal ini disebabkan karena masing-masing titik uji memiliki karakteristik tanah yang berbeda. Untuk BH-01 memiliki nilai maksimum CRR 3,23. Titik uji BH-03 memiliki nilai maksimum CRR yaitu 7,68. Nilai maksimum CRR pada BH-01 dan BH-03 ini terjadi pada variasi M_w 5,00.

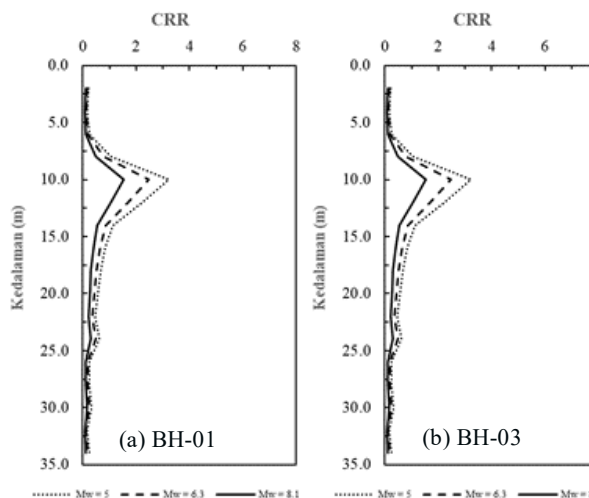


Figure 10. Nilai CRR

Hal ini menunjukkan bahwa nilai CRR berbanding terbalik dengan nilai M_w dan ketahanan tanah saat magnitudo 5,00 lebih besar dibandingkan magnitudo 6,30 dan 8,10. Grafik nilai CRR BH-01 dan BH-03 terhadap kedalaman dapat dilihat pada Gambar 10.

4.5 Analisis Nilai Angka Keamanan (FS), Indeks Potensi Likuifaksi (LPI), dan Penurunan (s)

Angka keamanan (FS) digunakan sebagai parameter terjadi atau tidaknya likuifaksi. Apabila FS yang dihasilkan kurang dari 1, maka dapat dinyatakan terjadi likuifaksi. Sedangkan apabila FS lebih besar dari 1, maka tidak terjadi likuifaksi. Selain nilai FS, terdapat nilai LPI (Liquefaction Potential Index).

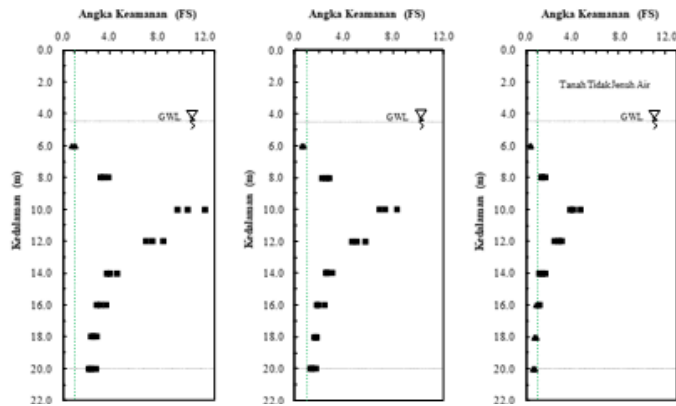


Figure 11. Nilai FS BH-01

Nilai LPI digunakan untuk mengklasifikasikan besarnya potensi likuifaksi yang terjadi. Dengan nilai LPI, potensi likuifaksi dapat diklasifikasikan rendah, tinggi, dan sangat tinggi. Estimasi penurunan dilakukan untuk menghitung estimasi atau perkiraan tentang besarnya angka penurunan yang terjadi akibat dari likuifaksi.

Analisis perhitungan FS, LPI dan estimasi penurunan (s) dilakukan pada masing-masing titik pengujian dengan variasi nilai magnitude gempa (M_w) dan nilai percepatan maksimum tanah (a_{max}) hingga kedalaman 20 meter. Dimana dalam perhitungan potensi likuifaksi tidak dihitung untuk kondisi tanah tidak jenuh air.

Berdasarkan perhitungan FS pada BH-01, nilai FS minimum yang terjadi pada BH-01 adalah 0,314 pada variasi M_w 8,1 dan a_{max} 0,48 g yang terjadi pada kedalaman 6 m. Nilai LPI untuk BH-01 adalah beragam yaitu 0,336 – 5,33. Dimana nilai LPI BH-01 terdapat dalam rentang rendah hingga tinggi. Estimasi penurunan (s) pada BH-01 adalah pada rentang nilai 3,4 cm – 12,6 cm. Penurunan pada BH-01 dapat diklasifikasikan mengalami penurunan yang rendah. Grafik Nilai FS dan LPI untuk BH-01 dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.

Berdasarkan hasil perhitungan nilai FS pada BH-03, FS minimum yang memiliki potensi likuifaksi paling besar pada BH-03 terjadi pada variasi gempa 8,1 pada kedalaman 4 m dengan nilai FS adalah 0,329. Nilai LPI untuk BH-03 adalah beragam dari 0,44 – 6,911. Dimana nilai LPI pada BH-03 dapat di klasifikasikan rendah hingga tinggi. Nilai penurunan (s) yang terjadi pada BH-03 berkisar pada nilai 3,8 cm – 14,4 cm dimana nilai penurunan pada BH-03 menunjukkan hasil penurunan rendah hingga sedang. Berdasarkan hasil perhitungan nilai FS pada BH-03, FS minimum yang memiliki potensi likuifaksi paling besar pada BH-03 terjadi pada variasi gempa 8,1 pada kedalaman 4 m dengan nilai FS adalah 0,329. Nilai LPI untuk BH-03 adalah beragam dari 0,44 – 6,911. Dimana nilai LPI pada BH-03 dapat di klasifikasikan rendah hingga tinggi. Nilai penurunan (s) yang terjadi pada BH-03 berkisar pada nilai 3,8 cm – 14,4 cm dimana nilai penurunan pada BH-03 menunjukkan hasil penurunan rendah hingga sedang.

Grafik Nilai FS dan LPI untuk BH-03 dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut:

Berdasarkan geologi daerah penelitian rentan terhadap terjadinya likuifaksi karena adanya endapan dari vulkanik. Dengan endapan vulkanik ini menyebabkannya rentan terhadap likuifaksi karena likuifaksi umum terjadi pada daerah dengan kondisi geologi yang bersifat muda (kuarter). Kemudian

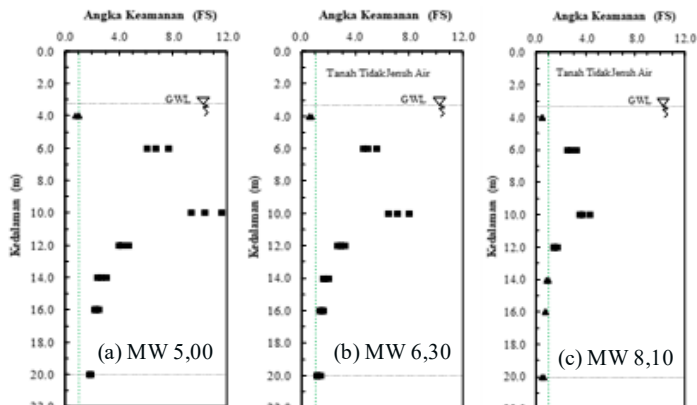


Figure 12. Nilai FS BH-03

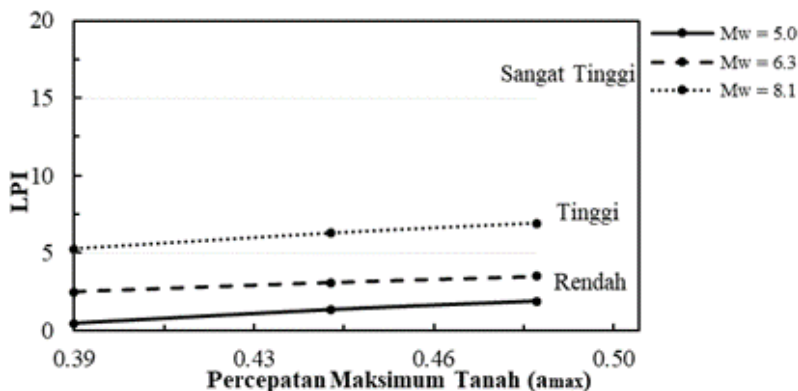


Figure 13. Nilai LPI BH-03

jika dilihat dari muka air tanah pada masing-masing titik pengujian adalah kurang dari 10 meter. Dan likuifaksi berpotensi terjadi pada daerah dengan kedalaman muka air tanah yang dangkal atau kurang dari 10 meter.

Karakteristik tanah pada lokasi penelitian berdasarkan uji laboratorium dan menggunakan klasifikasi USCS adalah tanah pasir berkerikil bergradasi buruk dengan sedikit kandungan butiran halus dan pada kedalaman tertentu terdapat klasifikasi tanah pasir berlanau (SP dan SP-SM).

Nilai CRR dan CSR hasil perhitungan tidak menunjukkan pola tertentu namun tersebar secara acak untuk setiap kedalaman.

Titik pengujian yaitu BH-01 dan BH-03 memiliki potensi untuk mengalami likuifaksi. Dengan Mw 5,00 ketahanan lebih besar dibandingkan variasi magnitude lainnya. Potensi likuifaksi terbesar terjadi pada variasi Mw 8,10 dan amax 0,48 g. nilai LPI pada titik pengujian dapat dilasifikasikan dari rentang rendah hingga tinggi.

Estimasi penurunan pada setiap titik pengujian yaitu BH-01 dna BH-03 dapat diklasifikasikan rendah hingga tinggi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat dikemukakan saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya atau untuk kepentingan lainnya yang terkait dengan penelitian yaitu sebagai berikut:

Untuk analisis perhitungan potensi likuifaksi dapat dilakukan dengan metode-metode dari ahli lainnya agar hasil yang diperoleh dapat dibandingkan. Selain menghitung nilai LPI, sebaiknya juga dilakukan perhitungan untuk menghitung nilai Lateral Displacement Index (LDI) untuk mendapatkan besarnya nilai perpindahan tanah akibat likuifaksi, dan atau menghitung nilai Liquefaction Severity Number (LSN) untuk mengukur dampak yang diakibatkan oleh likuifaksi.

References

- Asrurifak, M, Masyhur Irsyam, Bigman M Hutapea, R Pandhu Mahesworo, M Ridwan, and Fahmi Aldiamar. 2012. Peta deagregasi hazard gempa indonesia untuk periode ulang gempa 2475 tahun. In *Geotechnical challenges in present on coming nationwide construction activities*. Pertemuan Ilmiah Tahunan – XVI (PIT-XVI) HATTI. Jakarta: HATTI, HATTI.
- Gustika, Rani Ardeylina, Muhamad Pawirodikromo Yusa, and Ferry Fatnanta. 2019. Analisis potensi likuifaksi berdasarkan uji penetrasi standar (spt) (studi kasus: pembangunan fly over jl. tuanku tambusai – jl. soekarno hatta perkanbaru). *JOM Fakultas Teknik* 6 (2): 1–11.
- Hatmoko, John Tri, and Yohannes Lulie. 2008. Evaluasi potensi pencairan tanah (liquefaction) akibat gempa studi kasus: di bagian timur kota yogyakarta. In *Prosiding konferensi nasional teknik sipil 2 (konteks 2)*, edited by Ferianto Raharjo and Siswandi. Inovasi Dalam Rekayasa Sipil dan Lingkungan. Yogyakarta: Universitas Atma Jaya, Universitas Atma Jaya.
- Seed, H. B., I. Arango, and C. K. Chan. 1975. *Evaluation of soil liquefaction potential for level ground during earthquakes. a summary report*. Technical report. Availability: NTIS. United States: Shannon and Wilson, Inc. and Agabian Associates. <https://doi.org/10.2172/7146067>.