

ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI PADA PASIR VULKANIK DI PANTAI GLAGAH KULONPROGO BERDASARKAN DATA N-SPT

Hanindya K Artati^{1,*}), Widodo Pawirodikromo², Edy Purwanto³

^{1,*}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
Email: hanindya@uii.ac.id

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
Email: Widodo355@gmail.com

³Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
Email: purwanto_edy57@yahoo.com

ABSTRACT

One of the most causes of damage to structures during an earthquake is liquefaction. Liquefaction happened in loose sand, which saturated under earthquake shaking. Earthquake shaking will cause cyclic loading to the ground's surface, which potential for the occurrence of liquefaction. The liquefaction phenomenon is a soil behavior under cyclic loads that occurs in just a few moments. Due to the short cyclic load, the soil mass suddenly changes from a solid limit to a liquid limit or has a paramount consistency, such as liquid. Liquefaction events during an earthquake can be characterized by the presence of ground movement in the horizontal direction, seepage water out from fracture of the ground, movement of sloping or descending buildings, displacement of ground advance, and landslides. This study took a case study in Glagah Beach at Kulonprogo Regency. That is beach areas, a landform alongside body water, which consists of loose particles such as sand where Yogyakarta International Airport (YIA) is located. The analysis was carried out to determine the potential of liquefaction based N-SPT data using the Seed, Martin & Lysmer (1975). Based on these data, The Cyclic Stress Ratio (CSR) value is calculated, which is the ratio between the average shear stress caused by the earthquake with the significant vertical stress in each layer and the value of the Cyclic Resistance Ratio (CRR), which is the amount of soil resistance to liquefaction. The analysis in the Kulonprogo Regency area is an area that is considered to require liquefaction. Analysis of liquefaction potential based on N-SPT data with the Seed, Martin & Lysmer (1975) method on a 6.3 magnitude earthquake. The result indicates that the liquefaction potential occurs up to a depth of 8.5 meters.

Keywords: liquefaction, sand, N-SPT data, earthquake magnitude

PENDAHULUAN

Pertemuan Indian-Australian *Plate* dan Eurasia *Plate* di wilayah Selatan Pulau Jawa menyebabkan aktivitas pergerakan lempeng aktif yang memungkinkan terjadinya gempa bumi. Akibat dari gempa bumi menyebabkan beberapa fenomena baru seperti terjadinya tanah longsor, tsunami, pergerakan tanah, penurunan tanah dan likuifaksi. Pada umumnya potensi likuifaksi dipengaruhi oleh jarak lokasi yang berpotensi mengalami likuifaksi dengan sumber gempa, selain itu kekuatan gempa dan faktor air tanah juga mengaruhi kekuatan likuifaksi.

Likuifaksi terjadi karena tanah kehilangan kekuatannya akibat getaran gempa yang menyebabkan tegangan air pori meningkat pada volume yang tetap. Akibat hal tersebut kontak pada material pasir halus menjadi menurun yang disertai dengan turunnya tekanan efektif. Analisis potensi likuifaksi dilakukan berdasarkan *stress-based procedure* (Whitman, 1971 dan Seed and Idriss 1971) untuk memprediksi potensi likuifaksi berdasarkan *safety factors*.

Beberapa kajian mengenai potensi likuifaksi telah dilakukan, di antaranya Lestari *et al.* (2014) mengenai kajian potensi likuifaksi

berdasarkan konsep *critical state* dan uji piezocone pada sedimen pasir Kota Padang. Analisis tersebut dilakukan dengan melakukan uji triaxial CU dan uji *piezocone* pada tanah pasir padang. Hasil dari analisis menunjukkan hubungan tegangan efektif rata-rata terhadap angka pori pada tanah pasir yang memiliki potensi likuifaksi pada saat gempa 7,9 SR dan percepatan $a = 2,5 \text{ m/sec}^2$.

Evaluasi potensial likuifaksi lainnya dilakukan oleh Munirwan dan Gunawan (2012) di pesisir Pantai Krueng Raya Aceh Besar Provinsi Aceh. Dari analisis potensi likuifaksi dengan menggunakan metode *simplified procedure* (Seed et al., 1975) dapat dibandingkan nilai jumlah getaran ekuivalen akibat gempa (N_{eq}) dengan nilai jumlah getaran yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan likuifaksi (NL). Analisis tersebut menunjukkan jika N_{eq} lebih besar dari NL, maka akan terjadi likuifaksi. Selain itu, potensi likuifaksi dapat dianalisis dengan memasukkan nilai tahanan standar penetrasi yang telah dikoreksi (N') dan nilai *cyclic ratio* (τ/σ'_{vo}), yang selanjutnya diplot untuk menentukan apakah berpotensi terjadi likuifaksi atau tidak.

Alwyn (2013), telah melakukan Pemetaan Kerentanan Daerah Potensi Likuifaksi, Studi Kasus Daerah Desa Panjangrejo dan Sekitarnya, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian dilakukan dengan metoda pemetaan langsung yaitu dengan cara melakukan observasi lapangan untuk memetakan persebaran litologi pada daerah penelitian sebagai salah satu data acuan pembuatan zonasi rawan likuifaksi.

Sedangkan berdasarkan Robertson dan Wride (1998) pada penelitian Studi Parametrik Potensi Likuifaksi dan Penurunan Tanah Berdasarkan Uji Sondir, Muntohar (2012) melakukan estimasi penurunan menggunakan rumusan metode oleh Zhang et al. (2002) dan potensi likuifaksi menggunakan Iwasaki (1978). Kajian parametrik menunjukkan bahwa *magnitude* dan percepatan gempa yang lebih

besar menyebabkan lapisan tanah mengalami likuifaksi dan mengakibatkan kerusakan dipermukaan tanah. Penurunan dipermukaan tanah meningkat tajam dengan bertambahnya *magnitude* gempa $M_w 7,5 - 10$ dan percepatan gempa maksimum, $a_{max} = 0,4g - 0,6g$.

Desa Palihan dan Glagah terletak di pantai selatan Kabupaten Kulonprogo. Menurut Nurwihastuti et al. (2014) area tersebut merupakan tanah endapan campuran antara tanah liat berlanau dan pasir vulkanik halus. Apabila diperhatikan, jenis-jenis tanah tersebut mempunyai sifat-sifat dasar akan terjadinya potensi likuifaksi.

Pantai Palihan dan Glagah, adalah wilayah strategis karena pada area tersebut terdapat fasilitas publik yang sangat penting yaitu dibangunnya Yogyakarta *International Airport* (YIA). Menurut Herina Silvia (2013), sifat geologi Yogyakarta, yang didominasi oleh tanah vulkanik dipilih sebagai objek penelitian ini untuk menganalisis lebih lanjut. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi potensi likuifaksi yang terjadi di Desa Palihan dan Desa Glagah. Dua desa ini berada di lokasi YIA dipakai objek pengambilan sampel tanah untuk pengujian laboratorium dan pengambilan data N-SPT dengan variasi *magnitude* gempa sebesar 6,5 SR, 7,5 SR dan 8,5 SR. Dari hasil analisis tersebut diharapkan diperoleh interval kedalaman potensi likuifaksi yang akan terjadi pada titik-titik pengujian SPT tersebut.

Karakteristik Tanah Pasir Likuifaksi

Likuifaksi merupakan proses hilangnya kekuatan tanah akibat kenaikan tegangan air pori dan turunnya tekanan efektif dari lapisan tanah yang timbul akibat dari beban gempa. Likuifaksi dipengaruhi oleh parameter-parameter gempa yaitu *magnitude* gempa, energi yang dilepas pada fokus gempa tektonik akibat deformasi lempeng, durasi atau lama gempa, dan percepatan permukaan tanah. Likuifaksi akan lebih cenderung terjadi pada pasir jenuh air yang berdiameter halus. Secara umum tanah akan mengalami

likuifaksi berdasarkan kriteria likuifaksi menurut Pathak dan Purandare (2016) dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan parameter

kriteria likuifaksi dari sumber lain dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Kriteria likuifaksi

No	Nama kriteria	Likuifaksi	Pengujian	Tidak likuifaksi
1	Wang Chinese Criteria (1979)	(a) % finer (Less than 5 μ m) \leq 15-20 (b) LL<35 (Both the conditions are satisfied)	Seed and Idriss	If any one of conditions is not satisfied
2	Modified Chinese Criteria (Seed and Idriss 1982)	(a) % finer (Less than 5 μ m) \leq 15 (b) LL<35 and (c) Water content/LL (Wc/LL) \geq 0,9 (All conditions are satisfied)	-	If any one of conditions is not satisfied
3	Andrew and Martin (2000)	(a) % finer (Less than 2 μ m) \leq 10 (b) LL<32 (Both the conditions are satisfied)	Any one of condition of liquefaction is not satisfied	If both conditions are not satisfied
4	Seed et.al. (2003)	(a) Plasticity Index (PI) <12 (b) LL<37 and (c) Wc/LL > 0,8	(a) 12<PI<20 (b) 37<LL<47 (c) Wc/LL>0,85	Out of limits of testing
5	Bray and Idriss (2006)	(a) PI<12 (b) Wc/LL>0,85	(a) 12<PI<18 (b) Wc/LL>0,8 (Moderately liquefiable)	Out of limits of moderately liquefiable
6	Polito (1999)	(a) Liquefiable:PI<10 and LL<30 (b) Cyclic mobility: 10<PI<20 and 30<LL<40		Out of limits of cyclic mobility
7	Boulanger and Idriss (2006)	(a) Liquefaction – PI<3 (b) Transition – 3<PI<7 (c) Cyclic mobility – PI>7	-	-

Tabel 2. Kriteria likuifaksi (Bol et al., 2010)

No	Nama kriteria	Parameter dengan jangkauan	Pengujian	Berat
8	Bol et al. (2010)	1. Liquid limit (LL) 2. Liquidity index (LI) 3. % Clay Content (%CC) 4. Mean particle diameter (D ₅₀) Zone of liquefaction 1. Liquefaction 2. Testing 3. No-liquefaction	(a) LL < 33% (b) 35 \geq LL > 33 (a) Li > 0,9 (b) 15 < %CC < 10 1. %CC < 10 2. 0,75 < Li < 0,9 (a) D50 > 0,06 (b) 0,02 < D50 < 0,06	1 0,5 1 0,5 1 0,5 1 0,5 Sum of weight 3,5 \leq Sum \leq 4 2,5 \leq Sum < 3,5 Sum < 2,5

Menurut SNI 1726-2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, tanah maksimum untuk evaluasi likuifaksi menggunakan percepatan puncak MCEG. Percepatan tanah puncak PG_M dapat dilihat pada persamaan (1) berikut.

$$PG_M = F_{PGA} \cdot PGA \quad (1)$$

dengan PG_M = MCE_G percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs,

F_{PGA} = koefisien situs,
PGA= percepatan tanah puncak terpetakan.

Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data N-SPT

Likuifaksi terjadi pada tanah yang berpasir lepas (tidak padat) dan jenuh air. Kondisi ini dapat dinyatakan dalam persamaan (2).

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2)$$

Dengan,

σ' = tegangan efektif,

σ = tegangan total (berat permukaan tanah),

u = tekanan air pori.

Seed *et al.* (1975) menyatakan bahwa likuifaksi adalah proses perubahan kondisi tanah pasir yang jenuh air menjadi cair akibat meningkatnya tekanan air pori yang nilainya menjadi sama dengan tekanan total menyebabkan terjadinya beban dinamik, sehingga tegangan efektif tanah menjadi nol.

Potensi likuifaksi pada tegangan tanah vertikal total (σ_v) dapat dihitung dengan persamaan (3).

$$\sigma_v = \Sigma (\gamma \cdot H) \quad (3)$$

Dengan,

σ_v = tegangan vertikal total (kN/m²),

γ = berat isi lapisan tanah (kN/m³),

H = tebal lapisan tanah (m).

Sedangkan tegangan vertikal efektif (σ'_v) sebagaimana persamaan (4) berikut.

$$\sigma'_v = \sigma_v - \mu \quad (4)$$

Dengan,

σ'_v = tegangan vertikal efektif (kN/m²),

σ_v = tegangan vertikal total (kN/m²),

μ = tegangan air pori (kN/m²),

$\mu = \gamma_w \cdot H$,

γ_w = berat isi air (kN/m³),

H = tebal lapisan (m).

Korelasi nilai SPT (*Standart Penetration Test*) terhadap potensi likuifaksi adalah sebagai berikut.

N SPT = 0 – 20 (Potensi likuifaksi besar),

N SPT = 20 – 30 (Potensi likuifaksi sedang),

N SPT > 30 (Potensi likuifaksi tidak berarti).

Faktor reduksi, r_d merupakan nilai yang dapat mempengaruhi tegangan di dalam tanah. Semakin jauh kedalaman tanah maka

faktor reduksi akan semakin kecil (Liao dan Whitemann, 1986) sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan (5) s.d. persamaan (8).

$$r_d = 1,00 - 0,00765z \quad \text{untuk } z \leq 9,15 \text{ m} \quad (5)$$

$$r_d = 1,174 - 0,0267z \quad \text{untuk } 9,15 \leq z \leq 23 \text{ m} \quad (6)$$

$$r_d = 0,744 - 0,008z \quad \text{untuk } 23 \leq z \leq 30 \text{ m} \quad (7)$$

$$r_d = 0,5z \quad \text{untuk } z \geq 23 \text{ m} \quad (8)$$

z = kedalaman lapisan tanah yang ditinjau.

Potensi likuifaksi didasarkan pada *cyclic stress ratio* (CSR) yang merupakan tegangan siklik yang terjadi akibat gempa dan *cyclic resistance ratio* (CRR) yang merupakan ketahanan tanah untuk menahan likuifaksi.

Seed dan Idriss (1971) menggunakan persamaan rasio tegangan siklik (CSR), sebagaimana ditunjukkan persamaan (9) dan persamaan (10).

$$\text{CSR} = \tau_{av} * \sigma'_{vo} \quad (9)$$

$$\text{CSR} = 0,65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) \cdot r_d \quad (10)$$

Dengan,

a_{max} = percepatan horizontal maksimum tanah,

g = percepatan gravitasi,

σ_{vo} = tegangan vertikal *overburden* total,

σ'_{vo} = tegangan vertikal *overburden* efektif.

Menurut metode Seed dan Idriss (1971), tegangan geser yang menyebabkan likuifaksi dapat dihitung dari tegangan geser siklik τ_{av} yang dihasilkan pada setiap titik lapisan tanah, sebagaimana persamaan (11).

$$\tau_{av} = 0,65 \cdot \gamma \cdot z \cdot a_{max} \cdot g \cdot r_d \quad (11)$$

Dengan,

γ = berat satuan total,

z = kedalaman,

g = percepatan gravitasi,

a_{max} = percepatan horizontal maksimum tanah,

r_d = faktor reduksi kedalaman.

Faktor 0,65 adalah asumsi bahwa tegangan geser seragam ekuivalen adalah 65% dari tegangan geser maksimum absolut yang dihasilkan oleh gempa

Likuifaksi dipengaruhi oleh plastisitas tanah, menentukan faktor koreksi $(N1)_{60cs}$

sebagaimana persamaan (12).

$$(N1)_{60cs} = \alpha + \beta(N1)_{60} \quad (12)$$

Nilai-nilai α dan β dipengaruhi oleh persentase fines content FC,

$$\alpha = 0, \beta = 1, FC \leq 5\%,$$

$$\alpha = \exp[1,76-(190/FC^2)] \quad 5\% < FC < 35\%,$$

$$\beta = [0, 99-(FC^{1,5}/1000)] \quad 5\% < FC < 35\%,$$

$$\alpha = 5,0 \quad \beta = 1,2 \quad FC \geq 35\%.$$

Youd dan Idriss (2001) dan Cetin et al. (2004) memberikan koreksi terhadap nilai $(N1)_{60}$ sebagaimana persamaan (13).

$$(N1)_{60} = N_m \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S \quad (13)$$

Dimana,

M = N-SPT yang diperoleh dari tes lapangan,
 C_N = faktor koreksi untuk normalisasi *effective overburden pressure* σ'_{vo} ,

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34-(N1)_{60cs}} + \frac{(N1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{(10 \cdot (N1)_{60cs} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (15)$$

Untuk memperoleh *cyclic resistance ratio* (CRR) selain pada *magnitude* 7,5; Seed dan Idriss (1971) menentukan nilai *magnitude scale factor* (MSF) untuk kondisi *magnitude* kurang dari 7,5 dan lebih dari 7,5 dapat digunakan persamaan (16) berikut.

$$M_w < 7,5; MSF = 10^{2,24/M_w^{2,56}}$$

$$M_w > 7,5; MSF = (M_w/7,5)^{-2,56} \quad (16)$$

Nilai CRR (Seed, 1983) menggunakan persamaan (17) berikut.

$$CRR_{M_w} = CRR_{7,5} * MSF * K_\sigma * K_\alpha \quad (17)$$

Untuk nilai variabel K_σ & K_α dalam perhitungan biasanya hanya dalam kasus khusus sehingga dalam kasus ini, K_σ & K_α bernilai 1.

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan penelitian meliputi:

1. Pengumpulan data, meliputi pengambilan data uji laboratorium untuk dilakukan uji sifat-sifat fisis dan mekanis kemudian

CE = koreksi untuk *efficiency energy*,
 CB = koreksi untuk diameter *borehole*,
 CR = faktor koreksi dari panjang tali (*rod length*),
 CS = koreksi untuk sampel d atau tidaknya (*linier*).

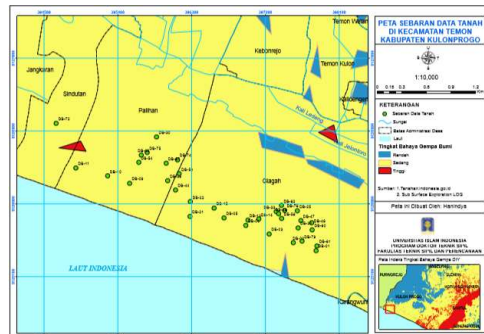
Faktor keamanan, FS merupakan perbandingan dari nilai *cyclic stress ratio* (CSR) dan *cyclic resistance ratio* (CRR) ditunjukkan pada persamaan (14) berikut.

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (14)$$

Dengan nilai *cyclic resistance ratio* (CRR) diperoleh dari pengujian lapangan yaitu uji *Standart Penetration Test* (SPT). Sedangkan *cyclic resistance ratio* (CRR) berdasarkan nilai SPT (Youd dan Idriss, 2001) sebagaimana persamaan (15) berikut.

dilakukan uji SPT di lapangan pada 12 titik *borehole* di Desa Palihan dan Desa Glagah yang merupakan lokasi pembangunan Yogyakarta *International Airport* (YIA).

2. Analisis potensi likuifaksi berdasarkan data N-SPT. Objek penelitian diperoleh dari data sebaran sebanyak 81 titik. Adapun data sebaran dapat dilihat pada Gambar 1.

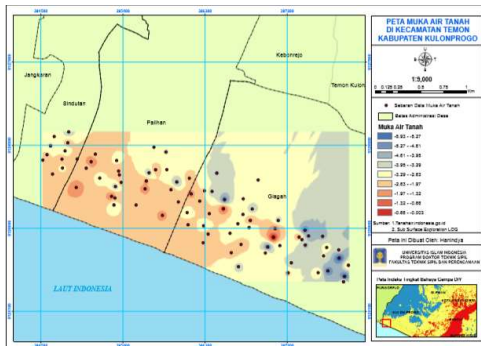


Gambar 1. Data Sebaran

3. Potensi likuifaksi dihitung berdasarkan pada *cyclic stress ratio* (CSR) dan *cyclic resistance ratio* (CRR), Seed dan Idriss

(1971) data diambil pada muka air tanah berada pada zona warna merah yaitu dengan muka air tinggi berdasarkan analisis interpolasi sebagaimana disajikan pada Gambar 2.

4. Sedangkan *magnitude scale factor* dianalisis pada M_w 6,5 SR; 7,5SR dan 8,5 SR.



Gambar 2. Data muka air tanah

HASIL DAN PEMBAHASAN

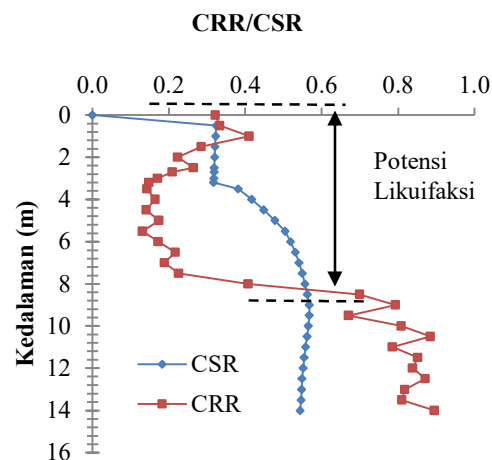
Evaluasi Potensi Likuifaksi

Analisis dilakukan setiap 0,5 meter pada setiap lapisan tanah mencakup 12 titik potongan memanjang dengan kondisi berupa tanah pasir yang jenuh air dengan tinggi muka air tanah dapat dilihat pada Gambar 2. Data yang digunakan merupakan data hasil uji laboratorium dan hasil uji SPT yang dibaca setiap interval 2 meter hingga mencapai kedalaman 12 meter. Adapun *borehole* yang dianalisis meliputi DB 01, DB 02, DB 03, DB 04, DB 05, DB 06, DB 15, DB 22, DB 44, DB 38, DB 09, DB 10, dan DB 11.

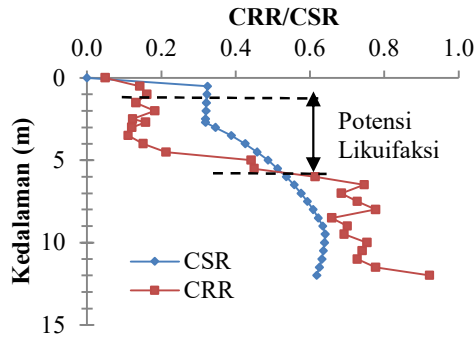
Safety Factor for Liquefaction Potential

Untuk evaluasi *cyclic resistance ratio* (CRR) sangat dipengaruhi oleh nilai N-SPT yang telah diberikan nilai koreksi terhadap $(N1)_{60}$ berdasarkan Youd dan Idriss (2001) dan kemudian dilakukan koreksi pula terhadap $(N1)_{60cs}$. Hasil analisis CRR menunjukkan pada nilai N-SPT < 30, maka rasio dari tahanan siklik rendah dan lapisan tanah memiliki kecenderungan yang besar untuk

terjadi likuifaksi. Sedangkan untuk nilai N-SPT > 30 menjadikan tahanan siklik yang tinggi dan memungkinkan potensi likuifaksi tidak berarti. Walaupun demikian untuk mengetahui potensi likuifaksi tergantung pada nilai *cyclic stress ratio* (CSR). Berdasarkan persamaan Seed dan Idriss (1971) yang dituangkan oleh Robertson (2004), diperoleh hasil analisis nilai CSR yang dipengaruhi oleh tegangan geser siklik dengan pendekatan percepatan maksimum arah horisontal terhadap tegangan overburden vertikal total dan efektif yang mengalami peningkatan signifikan pada lapisan jenuh air bersamaan dengan fungsi kedalaman, walaupun akan mengalami penurunan akibat pengaruh pengurangan tegangan akibat kedalaman pada lapisan tanah. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar grafik CRR/CSR vs Kedalaman. Pada Gambar 3 s.d. Gambar 13 terlihat bahwa jika nilai CSR > CRR, maka tanah akan memiliki kecenderungan untuk likuifaksi karena nilai angka keamanan < 1. Jika CSR < CRR atau pada kondisi angka keamanan > 1, maka tanah tidak mengalami likuifaksi. Adapun hasil analisis *borehole* DB 01 dapat dilihat pada Gambar 3 menunjukkan potensi likuifaksi yang akan terjadi pada kedalaman 1,4 m – 8,2 m. Hal tersebut disebabkan karena pada interval kedalaman tersebut nilai CSR > CRR.

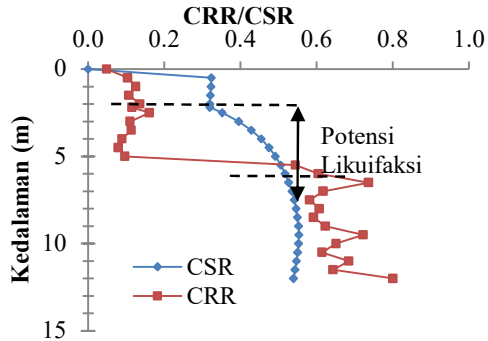


Gambar 3. Potensi likuifaksi DB-01



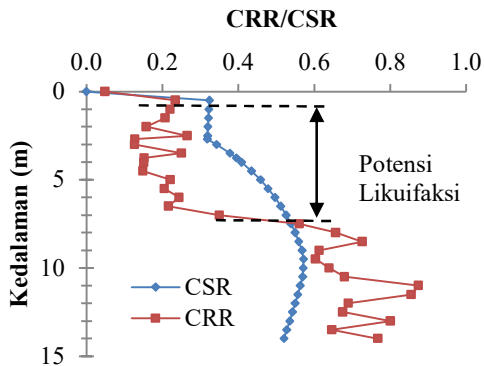
Gambar 4. Potensi likuifaksi DB-02

Gambar 4 menunjukkan potensi likuifaksi DB-02 terjadi pada kedalaman 0,15 m – 5,8 m.



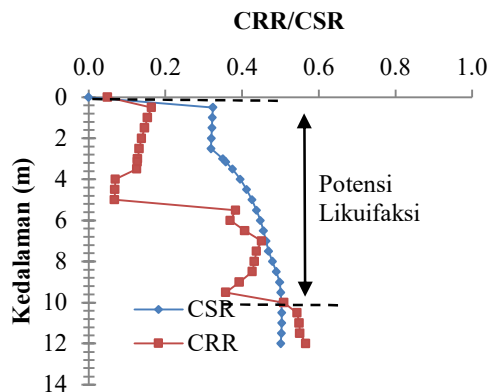
Gambar 7. Potensi likuifaksi DB-05

Gambar 7 menunjukkan potensi likuifaksi DB-05 terjadi pada kedalaman 0,05 m – 5,5 m.



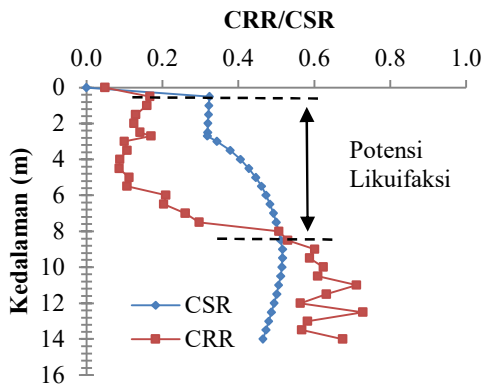
Gambar 5. Potensi likuifaksi DB-03

Gambar 5 menunjukkan potensi likuifaksi DB-03 terjadi pada kedalaman 0,3 m – 7,5 m.



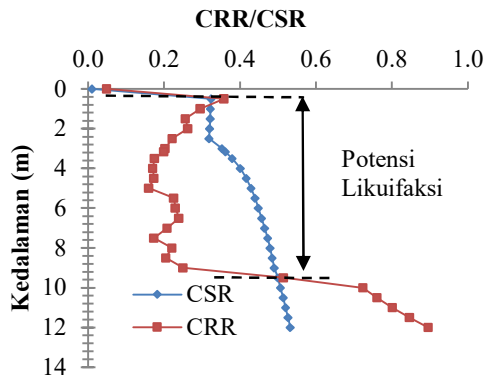
Gambar 8. Potensi likuifaksi DB-15

Gambar 8 menunjukkan potensi likuifaksi DB-15 terjadi pada kedalaman 0,05 m – 10,0 m.



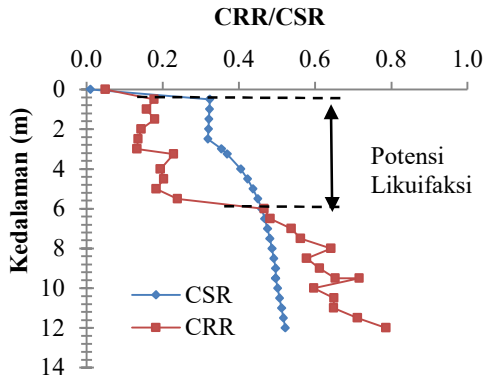
Gambar 6. Potensi likuifaksi DB-04

Gambar 6 menunjukkan potensi likuifaksi DB-04 terjadi pada kedalaman 0,2 m – 8,0 m.



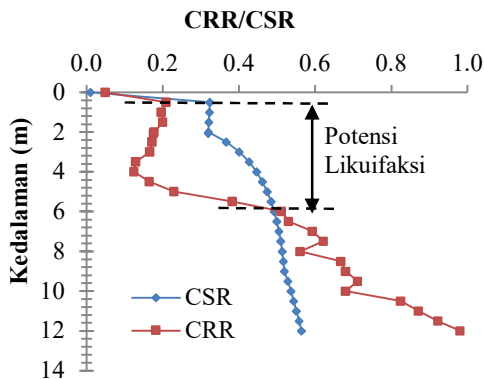
Gambar 9. Potensi likuifaksi DB-22

Gambar 9 menunjukkan potensi likuifaksi DB-22 terjadi pada kedalaman 0,8 m – 9,5 m.



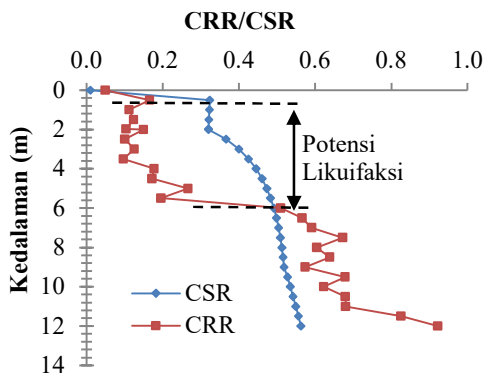
Gambar 10. Potensi likuifaksi DB-44

Gambar 10 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi DB-44 terjadi pada kedalaman 0,1 m sampai dengan kedalaman 6,0 m.



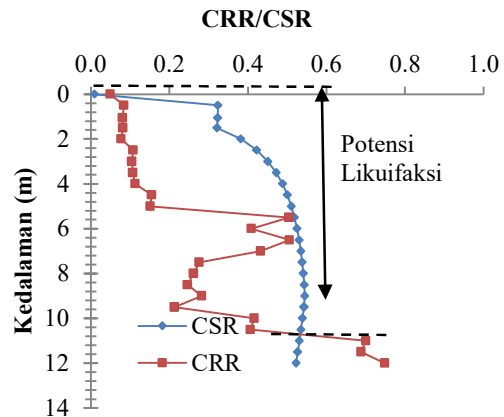
Gambar 11. Potensi likuifaksi DB-38

Gambar 11 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi DB-38 terjadi pada kedalaman 0,1 m sampai dengan kedalaman 6,0 m.



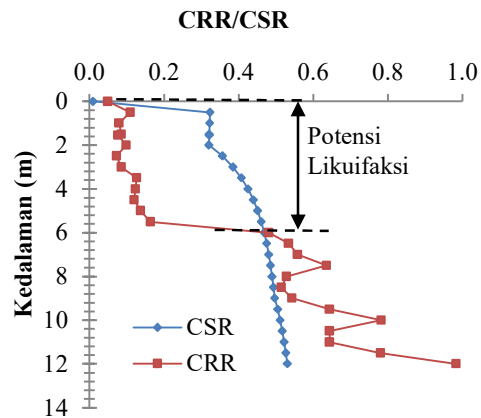
Gambar 12. Potensi likuifaksi DB-09

Gambar 12 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi DB-09 terjadi pada kedalaman 0,15 m sampai dengan kedalaman 6,0 m.



Gambar 13. Potensi likuifaksi DB-10

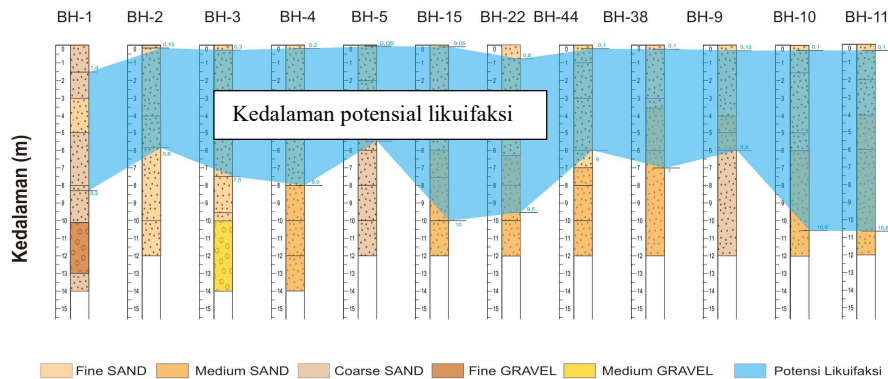
Gambar 13 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi DB-10 terjadi pada kedalaman 0,10 m sampai dengan kedalaman 10,6 m.



Gambar 13. Potensi likuifaksi DB-11

Gambar 13 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi DB-11 terjadi pada kedalaman 0,1 m sampai dengan kedalaman 6,0 m

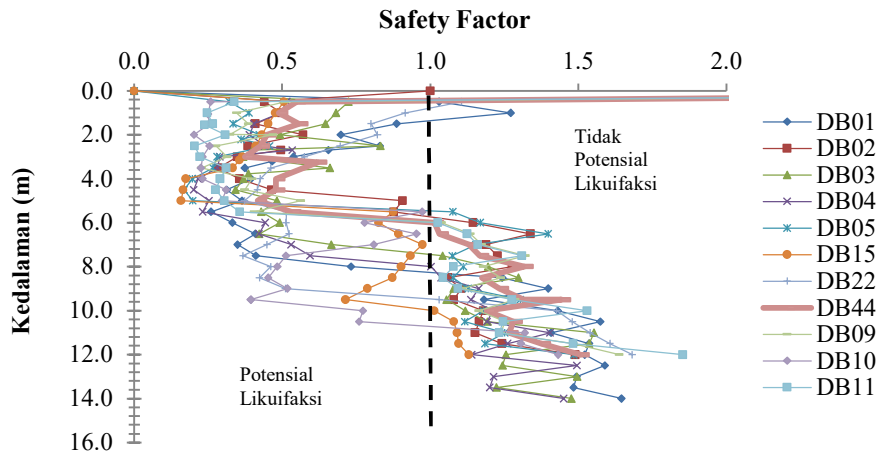
Dari hasil pada Gambar 3 s.d. Gambar 13, dapat diketahui potensi likuifaksi yang dapat terjadi, yaitu berada pada kedalaman antara 0,1 m sampai dengan maksimum 10,5 m sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Kedalaman potensial likuifaksi

Pada Gambar 14 dapat dilihat kedalaman potensi likuifaksi yang akan terjadi yaitu pada DB01. Potensi likuifaksi berada pada kisaran 1,4m - 8,2 m, DB(02) 0,15m – 5,8m, DB(03) 0,3m – 7,5m, DB(04) 0,2m-8,0m,

DB(05) 0,05m-5,5m, DB(15) 0,05m-10,0m, DB(22) 0,8m-9,5m, DB(44) 0,1m-6,0m, DB(38) 0,1m-6,0m, DB(09) 0,15m-6,0m, DB(10) 0,1m-10,6m, DB(11) 0,1m-6,0m.



Gambar 15 Angka keamanan terhadap potensi likuifaksi

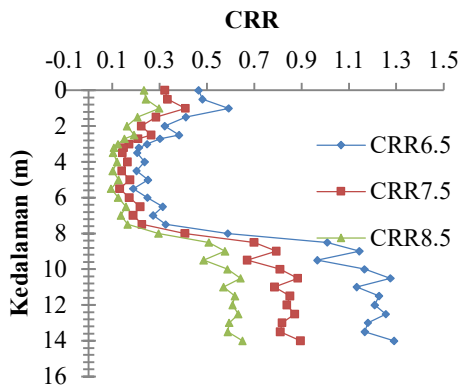
Dari hasil analisis tersebut dapat diketahui kedalaman potensial terjadinya likuifaksi, yaitu pada kedalaman berkisar 0,1 meter sampai dengan 10,5 meter terlihat pada area biru pada Gambar 14. Sedangkan pada Gambar 15 menunjukkan angka keamanan pada masing-masing *borehole*.

Pengaruh Magnitudo Gempa (M_w)

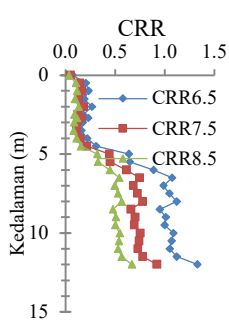
Ketahanan tanah dipengaruhi pula oleh besaran magnitudo gempa yang terjadi. Untuk itu Seed dan Idriss (1983) menentukan nilai *magnitude scale factor* (MSF) untuk

kondisi $M_w < 7,5$ dan $M_w > 7,5$. Berdasarkan pada data sejarah gempa di Daerah Istimewa Yogyakarta pada tahun 2006. Menurut USGS besar momen magnitudo gempa M_w sebesar 6,3 SR, sehingga analisis dilakukan pada rentang skala gempa 6,5 SR, 7,5 SR dan 8,5 SR. Dari hasil analisis variasi *magnitude* gempa, terlihat pengaruh *magnitude* gempa M_w 6,5 menunjukkan nilai ketahanan tanah yang lebih besar dibandingkan saat M_w 7,5. Begitupula ketahanan tanah saat saat M_w 8,5 akan menghasilkan ketahanan tanah yang lebih kecil dibandingkan saat M_w 7,5. Perlu

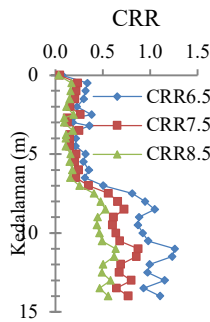
dicatat bahwa potensi likuifaksi akan meningkat seiring bertambahnya magnitudo gempa. Hal serupa dapat dilihat pada titik *borehole* lainnya ditunjukkan pada Gambar 17(a), (b), (c), (d), (e), (f), (g), dan (h), untuk setiap titik *bore hole*.



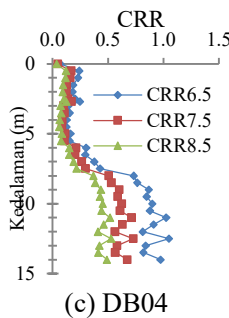
Gambar 16 Grafik CRR pada Mw 6,5;7,5 dan 8,5 SR pada DB01



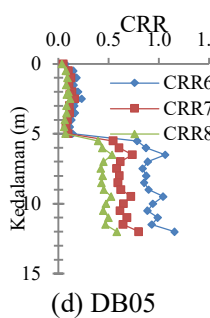
(a) DB02



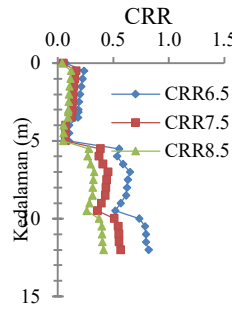
(b) DB03



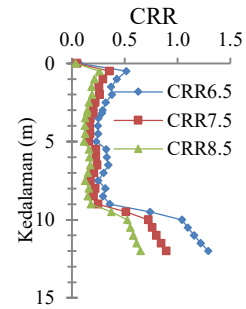
(c) DB04



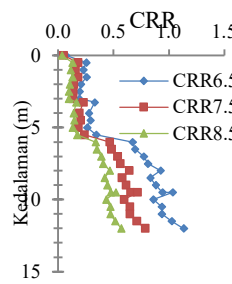
(d) DB05



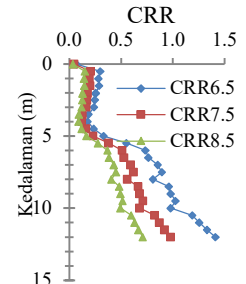
(e) DB15



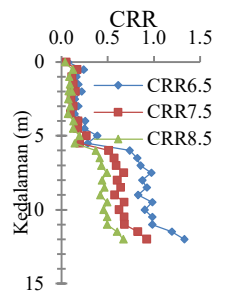
(f) DB22



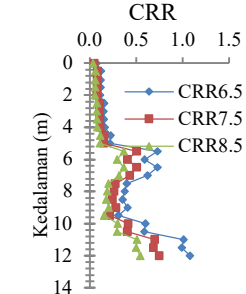
(g) DB44



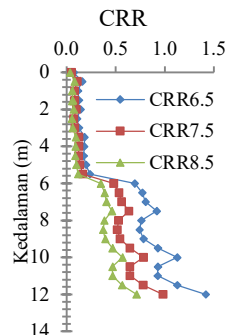
(h) DB38



(i) DB09



(j) DB10



(k) DB11

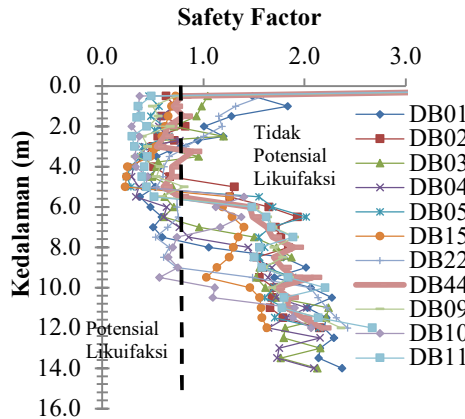
Gambar 17 Grafik CRR saat Mw 6.5SR; 7.5SR dan 8.5 SR pada (a)DB02, (b) DB03, (c) DB04, (d)DB05, (e)DB15, (f) DB22, (g) DB44, (h) DB38, (i) DB09, (j) DB10, (k) DB11

Pada Gambar 17(a) DB02 menunjukkan peningkatan nilai pada Mw 8,5 SR, begitu pula pada Gambar 17(b) DB03, (c) DB04, (d)DB05, (e)DB15, (f) DB22, (g) DB44, (h) DB38 memiliki konsistensitas yang sama.

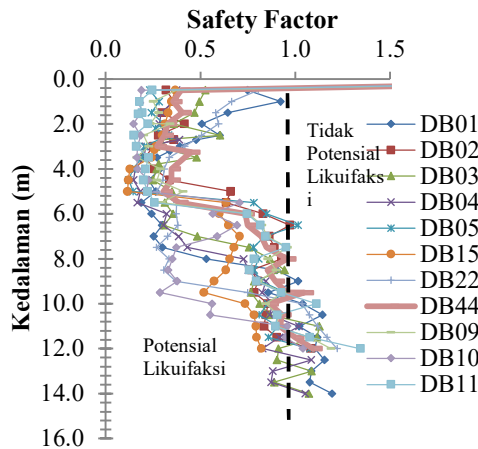
Pada Gambar 17(i) DB09 menunjukkan nilai yang lebih besar pada Mw 8,5 SR dibandingkan saat Mw 6,5 SR dan Mw 7,5 SR. Begitupula pada Gambar 17 (j) DB10 dan (k) DB11.

Angka keamanan

Dari hasil CRR pada Mw 6,5 dan Mw 8,5, maka dapat diperoleh angka keamanannya yang ditunjukkan pada Gambar 18(a) dan 18(b).



Gambar 18.(a) Grafik angka keamanan pada Mw 6,5



Gambar 18. (b) Grafik angka keamanan pada Mw 8,5

Pada *magnitude* gempa 6,5 SR dapat terlihat dalam Gambar 18(a) angka keamanan meningkat pada setiap lapisan tanah. Hal ini menjadikan potensi terhadap likuifaksi menurun. Sedangkan pada Gambar 18(b), dimana *magnitude* gempa meningkat sebesar 8,5 SR, menjadikan semakin besarnya kemungkinan likuifaksi terjadi di setiap lapisannya.

KESIMPULAN

Hasil analisis potensi likuifaksi berdasarkan data N-SPT dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Potensi likuifaksi akan terjadi pada saat $CRR/CSR < 1$. Dari 12 titik sampel yang digunakan, maka terdapat potensi likuifaksi pada seluruh titik sampel. Dari hasil analisis diperoleh potensi likuifaksi terjadi pada kedalaman lapisan tanah berkisar antara 0,1 meter hingga mencapai kedalaman 10,6 meter. Potensi likuifaksi yang terjadi ditunjukkan melalui nilai *safety factor* yang lebih kecil dari satu.
2. Nilai CRR pada *magnitude* gempa 6,5 SR menunjukkan nilai-nilai yang lebih besar dibandingkan pada CRR pada *magnitude* gempa 7,5 SR, sehingga memberikan nilai *safety factor* yang lebih besar. Sedangkan nilai-nilai CRR pada *magnitude* gempa 8.5 SR menunjukkan nilai-nilai yang lebih kecil dibandingkan CRR pada *magnitude* gempa 7,5 SR, sehingga menghasilkan nilai angka keamanan yang kecil atau lebih rentan terhadap potensial likuifaksi.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. (2008). “SNI 3423; Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah”. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.

Badan Standarisasi Nasional. (2012). “SNI 1726; Tata Cara Perencanaan

- Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*". Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- Day, R.W. (2002). "Geotechnical Earthquake Engineering Handbook". McGrawHill
- Hardiyatmo, H.C. (2014). "Analisis dan Perancangan Fondasi I Edisi ketiga Cetakan Pertama". Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hasmar, H.A.H. (2013). "Dinamika Tanah dan Rekayasa Kegempaan". UII Press. Yogyakarta.
- Hatmoko, J.T. (2016). "Dinamika Tanah dan Liquefaction Cetakan ke 01". Cahaya Atma Pustaka. Yogyakarta.
- Herina, S. (2013). "Steady State Line dan State Parameter Sebagai Penentu Perilaku dan Potensi Liquefaksi Tanah Vulkanik Yogyakarta". Disertasi. Universitas Parahyangan, Bandung.
- Iwasaki, T., Tatsuoka, F., Tokida, K., Yasuda, S. (1978). "A practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies at various sites in Japan". *Proceeding 2nd International conference on Microzonation, SanFrancisco*, pp 885-896.
- Lestari, A.S., Rahardjo, P.P., Hartadi, M.D., dan Kesuma, A. (2014). "Kajian Potensi Liquefaksi berdasarkan Konsep Critical State dan Uji Piezocone pada sedimen Pasiran Kota Padang". Penelitian. Universitas Katolik Parahyangan. Bandung.
- Munirwan, R.P. dan Gunawan, H. (2012). "Evaluasi Potensial Liquefaksi Pesisir Pantai Krueng Raya Aceh Besar Provinsi Aceh". *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 1, No. 2: 117-226.
- Muntohar, A.S. (2012). "Studi Parametrik Potensi Liquefaksi dan Penurunan Permukaan Tanah Berdasarkan Uji Sondir". *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia (PIT HATTI) ke-16 Jakarta 4 Desember 2012*, pp 139-144.
- Nurwihastuti, D.W., Sartohadi, J., Mardiatno D., Nehren, U., Restu. (2014). "Understanding of Earthquake Damage Pattern through Geomorphological Approach: A Case Study of 2006 Earthquake in Bantul, Yogyakarta, Indonesia". *World Journal Engineering Technology*, Vol. 2, No. 3, pp. 61-70.
- Octavia, N.M.K.M. (2009). "Analisa Potensi Terjadinya Likuifaksi dengan Menggunakan Lembar Kerja". Tugas Akhir (Tidak diterbitkan). Universitas Bina Nusantara. Jakarta.
- Pathak, R. dan Purandare, A.S. (2016). "Liquefaction susceptibility criterion of fine grained soil". *International Journal of Geotechnical Engineering*, Vol 10 (5), pp. 445-449.
- Pawirodikromo, W. (2012). "Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan Cetakan I". Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Robertson, P.K., Wride, C.E. (1998). "Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test". *Canadian Geotechnical Journal*, 35: 442-459.
- Seed, H.B. dan Idriss, I.M. (1971). "Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential". *Journal Geotech Engineering ACSE*, 97(9).
- Taufana, P. (2013). "Pemetaan Kerentanan Daerah Potensi Liquefaksi, akibat Gempa Bumi Tektonik Studi Kasus Daerah Desa Panjangrejo dan Sekitarnya, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta". Naskah Publikasi. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Whitman, R.V. (1971). "Resistance of soil to liquefaction and settlement". *Soils and Foundations*, 11(4).
- Zhang, G., Robertson, P.K., Brachman,

R. W. I. (2002). "Estimating liquefaction induced ground settlements from CPT for level ground". *Canadian Geotechnical Journal*, 39.