

# Analisa Kuantitatif dan Kualitatif Potensi Likuifaksi

Wahyu Budi Kusuma

Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas  
Bumi, Cepu



## ABSTRAK

Pada tahun 2018, tepatnya pada tanggal 28 September, Indonesia dikejutkan dengan fenomena bergerak dan amblasnya semua yang ada di permukaan baik berupa bangunan maupun tanaman di daerah Petobo dan Balaroa, setelah gempa berkekuatan 7,4 skala Richter mengguncang Palu, Sulawesi Tengah. Fenomena ini dikenal dengan likuifaksi. Apakah likuifaksi itu? Mengapa bisa terjadi? Bagaimana proses terjadinya? Bagaimana mengatasinya? Pertanyaan tersebut menjadi *trending topic* pasca gempa palu. Tulisan ini disusun dari berbagai sumber dan pendapat para ahli dalam rangka menjawab pertanyaan-pertanyaan diatas.

Likuifaksi merupakan fenomena alam yang biasa terjadi di daerah dengan kondisi tanah yang jenuh air, muka air tanah dangkal dan jenuh air. Potensi likuifaksi suatu wilayah dapat diprediksi secara kualitatif dan kuantitatif Analisis kualitatif digunakan untuk skala regional sedangkan analisis kuantitatif digunakan untuk skala detil Penyusunan zona potensi likuifaksi dapat dilakukan dengan menggunakan nilai Liquefaction Potential Index (LPI), Liquefaction Severity Index (LSI) dan Liquefaction Risk Index (LRI). Metoda yang umum dilakukan untuk menentukan potensi likuifaksi adalah dengan menghitung kekuatan tanah menahan likuifaksi akibat gempa (*cyclic resistance ratio* (CRR)) dan tegangan geser tanah akibat gempa (*cyclic stress ratio* (CSR)). CRR dan CSR dihitung dari data yang diperoleh dengan melakukan *self penetration test* (SPT) atau *cone penetration test* (CPT).

**Kata kunci:** Likuifaksi, Gempa Bumi, Indeks Likuifaksi

## ABSTRACT

*In 2018, precisely on September 28, Indonesia was shocked by the phenomenon of movement and the collapse of everything on the surface in the form of buildings and plants in the Petobo and Balaroa regions, after an earthquake measuring 7.4 on the Richter scale shook Palu, Central Sulawesi. This phenomenon is known as liquefaction. What is the liquefaction? How did it happen? How is the process happening? How to overcome it? The question became a trending topic after the earthquake. This paper is compiled from various sources and opinions of experts in order to answer the questions above.*

*Liquefaction is a natural phenomenon that usually occurs in areas with water-saturated soil conditions, shallow ground water levels and water saturation. Potential liquefaction can be predicted qualitatively and quantitatively. Qualitative analysis is used for regional scales while quantitative analysis is used for detailed scales. The compilation of potential zones of*



*liquefaction can be done using the value of Liquefaction Potential Index (LPI), Liquefaction Severity Index (LSI) and Liquefaction Risk Index (LRI). Common methods for determining liquefaction potential are by calculating the strength of the ground to prevent liquefaction due to earthquake called cyclic resistance ratio (CRR) and shear stress due to earthquake called cyclic stress ratio (CSR). CRR and CSR are calculated from data obtained by conducting a self penetration test (SPT) or cone penetration test (CPT).*

**Keywords:** Liquefaction, Earthquake, Liquefaction Index

## PENDAHULUAN

Tsunami menjadi bahan pembicaraan umum di lingkungan masyarakat Indonesia sejak terjadinya gempa Aceh 26 Desember 2004. Sejak saat itu setiap ada kejadian gempa maka orang bertanya-tanya apakah berpotensi tsunami? Tsunami seolah-olah melekat pada setiap kejadian gempa.

Pada tahun 2018, tepatnya pada tanggal 28 September, Indonesia dikejutkan dengan fenomena bergerak dan amblasnya semua yang ada di permukaan baik berupa bangunan maupun tanaman di daerah Petobo dan Balaroa, setelah gempa berkekuatan 7,4 skala Richter mengguncang Palu, Sulawesi Tengah. Fenomena ini dikenal dengan likuifaksi.

Apakah likuifaksi itu? Mengapa bisa terjadi? Bagaimana proses terjadinya? Bagaimana mengatasinya? Pertanyaan tersebut menjadi *trending topic* pasca gempa palu. Tulisan ini disusun dari berbagai sumber dan pendapat para ahli dalam rangka menjawab pertanyaan-pertanyaan diatas.

## TINJAUAN PUSTAKA

Likuifaksi adalah hilangnya kekuatan tanah akibat kenaikan tegangan air pori dan turunnya tekanan efektif dari lapisan tanah yang timbul akibat dari beban siklis dinamis. Pada lapisan tanah, beban siklis dinamis terjadi akibat rambatan gelombang gempa bumi tektonik.

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

Liou (1976) mendefinisikan, bahwa likuifaksi adalah proses berubahnya tanah granular jenuh dari keadaan padat ( solid ) menuju keadaan berperilaku cair akibat kenaikan tekanan air pori.

Likuifaksi dapat terjadi jika material lepas, sedimen jenuh air atau di dekat permukaan hilang kekuatannya akibat gempa yang kuat (USGS).

Fenomena likuifaksi menjadi perhatian para ahli khususnya di bidang geologi teknik setelah kejadian dramatis akibat gempa pada tahun 1964 di Jepang dan Alaska. Di Niigata, Jepang, likuifaksi mengakibatkan terjadinya *sand boils* (semburan pasir), hilangnya daya dukung tanah, *differential settlement* (penurunan setempat) dan *slope movement* (longsoran). Peristiwa ini



terjadi di area yang sangat luas mengakibatkan sejumlah bangunan mengalami kegagalan daya dukung sehingga miring bahkan rebah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 (Wikipedia, 2009). Sedangkan di Alaska terjadi *landslides* (gerakan tanah) di Valdez, Seward dan Anchorage (Seed, 1968).



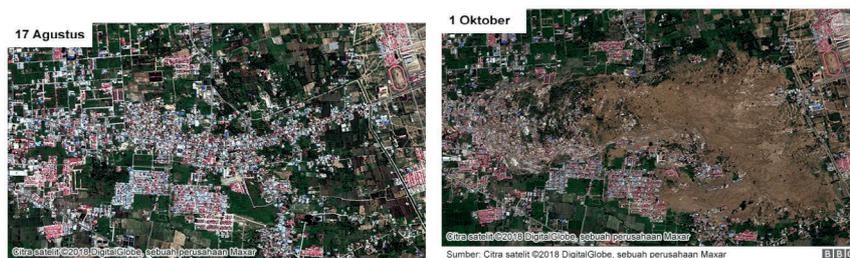
Gambar 1. Dampak likuifaksi gempa Niigata 1964

Beberapa contoh kasus gempa bumi lain yang memicu terjadinya likuifaksi adalah gempa Van Norman di bagian selatan California yang mengakibatkan keruntuhan bendungan Lower San Fernando Dam dan Upper Fernando Dam tahun 1971, gempa Aceh dan Nias tahun 2004, gempa Yogyakarta pada tahun 2006 dan gempa Christchurch di New Zealand pada tahun 2011 (Mase, 2011).



Gambar 2. Dampak likuifaksi gempa Christchurch, 2011 (Tonkin and Taylor 2013)

Likuifaksi di Petobo dan Balaroa menjadi kejadian terbaru dan terdahsyat di Indonesia. Kejadian likuifaksi di lokasi ini menghancurkan ratusan bangunan di atasnya. Kerugian akibat gempa di Palu (gempa, tsunami dan likuifaksi) mencapai 8,3 triliun rupiah (Pusdatin Kegempaan Provinsi Sulteng, 2019).



Gambar 3. Dampak likuifaksi gempa Palu 2018

## POTENSI LIKUIFAKSI

Secara umum dari beberapa pendapat ahli dan sejarah likuifaksi, maka syarat terjadinya likuifaksi ada tiga:

1. Tanah non kohesif jenuh air (saturated)
2. Muka air tanah dangkal
3. Gempa dangkal (minimal 5.0 SR)

Secara teknis likuifaksi terjadi pada tanah yang jenuh air. Air ini terdapat di antara pori-pori tanah dan membentuk tekanan air pori. Saat guncangan gempa bumi yang kuat terjadi maka tekanan air pori naik seketika hingga terkadang melebihi kekuatan gesek tanah. Hal ini menyebabkan daya dukung tanah hilang.

Fenomena yang terkait dengan likuifaksi adalah *flow liquefaction* dan *cyclic mobility*. Keduanya sangat penting untuk diperhatikan dalam mengevaluasi bahaya likuifaksi. *Flow liquefaction* adalah peristiwa dimana terjadi aliran – aliran tanah. Hal ini terjadi apabila tegangan geser statis yang diperhitungkan untuk mencapai kesetimbangan pada suatu masa tanah jauh lebih besar daripada tegangan geser tanah dalam kondisi cair (*liquefied*). Dengan kata lain, deformasi yang terjadi merupakan akibat dari tegangan geser statik (static shear stress). Pada peristiwa *flow liquefaction* ini, terdapat dua karakteristik yang dapat dilihat yaitu kecepatan aliran dan perpindahan material tanah yang sangat besar (seperti yang terjadi di Palu).

*Cyclic mobility* merupakan fenomena lainnya yang juga dapat menyebabkan deformasi permanen yang sangat besar akibat adanya guncangan gempa. Berbeda dengan *flow liquefaction*, dalam *cyclic mobility* kondisinya adalah tekanan geser statis lebih kecil dibandingkan dengan tegangan geser tanah cair. Pada fenomena ini, deformasi yang terjadi diakibatkan oleh pembebanan siklik dan tegangan geser statik. Dalam hal ini, deformasi yang terjadi adalah deformasi lateral (*lateral spreading*). Fenomena yang terjadi berupa retakan tanah, muncul air yang membawa material pasir seolah-olah terjadi semburan pasir, sumur-sumur terisi pasir.

Potensi likuifaksi di suatu tempat dapat diidentifikasi bahkan dapat dihitung. Komponen untuk menentukan potensi likuifaksi antara lain:

- a. Nilai Indeks Properties tanah seperti modulus dinamis, gradasi butiran, kepadatan relatif, berat isi tanah.
- b. Formasi tanah, posisi muka air tanah
- c. Karakteristik gempa

Beberapa metode untuk menyusun zona potensi likuifaksi antara lain:

1. Liquefaction Potential Index (LPI); merupakan metode paling umum digunakan. Dikembangkan oleh Iwasaki dkk. (1984). Merupakan fungsi dari *safety factor* dan kedalaman tanah.

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

Tabel 1. Klasifikasi potensi likuifaksi dari nilai LPI

Nilai LPI	Potensi Likuifaksi
LPI > 15	Sangat tinggi
5 < LPI < 15	Tinggi
0 < LPI < 5	Rendah
LPI = 0	Sangat rendah



## 2. Liquefaction Severity Index (LSI)

Youd dan Perkins (1987) mengusulkan pengukuran dengan Liquefaction Severity Index (LSI). LSI merupakan fungsi dari tebal lapisan tanah dan getaran gempa. Getaran gempa sendiri sangat terkait dengan amplitude, durasi gempa, dan jarak lokasi pengamatan dari episenter gempa.

Pada tahun 2005, Sonmez dan Gokceoglu melakukan pengembangan terhadap metode LPI yang telah ditemukan sebelumnya dan menghasilkan metode Liquefaction Severity Index (LSI) untuk evaluasi bobot kejadian likuifaksi. Hitungan nilai LSI menggunakan angka probabilitas dan fungsi kedalaman tanah.

$$LSI = \int_0^{20m} P_L(z)W(z)dz$$

$$P_L = \frac{1}{\left(1 + \frac{Fs}{0,96}\right)^{4,5}}$$

Tabel 2. Klasifikasi potensi likuifaksi dari nilai LSI

Nilai LSI	Potensi Likuifaksi
$85 \leq LS < 100$	Sangat tinggi
$65 \leq LS < 85$	Tinggi
$35 \leq LS < 65$	Sedang
$15 \leq LS < 35$	Rendah
$0 < LS < 15$	Sangat rendah
$LS = 0$	Tidak terlikuifaksi

## 3. Liquefaction Risk Index (LRI)

Indeks lain untuk menentukan potensi likuifaksi adalah Liquefaction Risk Index (LRI) didefinisikan oleh Lee, et al. (2003) dengan menggunakan probabilitas dari likuifaksi dengan rumus sebagai berikut :

$$LRI = \int_0^{20m} P_L W(z) dz$$

$$P_L = \frac{1}{\left(1 + \frac{Fs}{1}\right)^{3,5}}$$

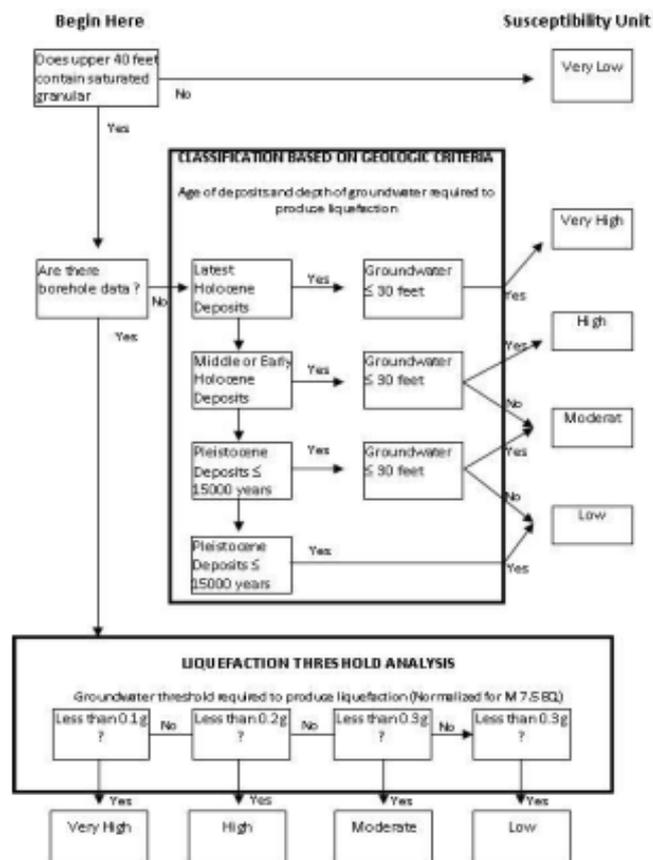
Tabel 3. Klasifikasi potensi likuifaksi dari nilai LRI

Nilai LRI	Potensi Likuifaksi
$LPI > 30$	Sangat tinggi
$20 < LRI < 30$	Tinggi
$LRI < 20$	Rendah

## EVALUASI POTENSI LIKUIFAKSI

Metode evaluasi potensi likuifaksi dapat dilakukan dengan cara kualitatif dan kuantitatif. Metode kualitatif umumnya digunakan untuk area yang sangat luas skala regional sedangkan metode kuantitatif untuk skala detail.

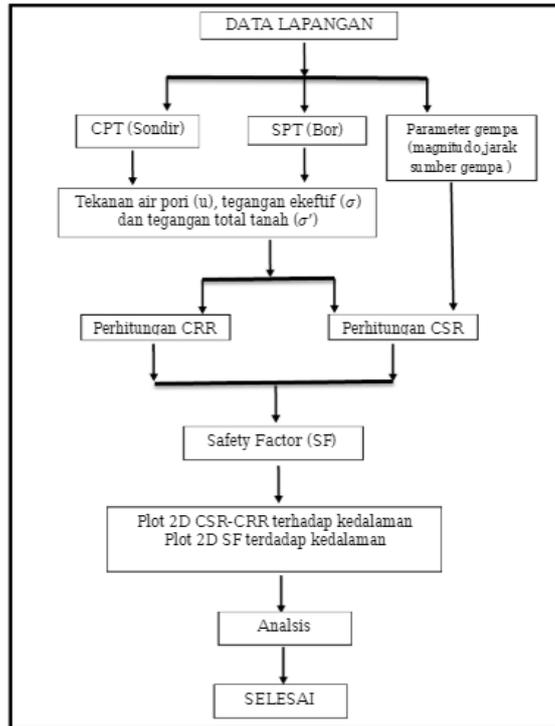
Metode kualitatif yang diprakarsai oleh Keith et.al (1999) dimulai dengan melakukan identifikasi apakah di daerah tersebut terdapat lapisan tanah berbutir yang jenuh air (saturated granular) jika tidak maka potensi likuifaksinya sangat rendah tetapi jika ya maka apakah di daerah tersebut terdapat data pemboran. Jika tidak maka dilihat umur lapisan tanah dan muka air tanahnya. Jika ada data bor makadilakukan analisis ambang likuifaksi yang melibatkan faktor kegempaan. Untuk lebih jelasnya alur metode kualitatif Keith et.al (1999) ini dapat dilihat pada gambar 4:



Gambar 4. Alur analisis kualitatif potensi likuifaksi (Keith et.al., 1999)

Salah satu metode kuantitatif yang sering digunakan untuk mengevaluasi potensi likuifaksi adalah dengan menggunakan konsep cyclic stress (Seed & Idris, 1971). Konsep ini dilakukan dengan menghitung kekuatan tanah menahan likuifaksi akibat gempa (*cyclic resistance ratio* (CRR)) dan tegangan geser tanah akibat gempa (*cyclic stress ratio* (CSR)).





Gambar 5. Alur analisis kuantitatif potensi likuifaksi

Data-data untuk menghitung CRR dan CSR diperoleh dari *self penetration test* (SPT) dan *cone penetration test* (CPT) serta data kegempaan berupa magnitude gempa, percepatan maksimum tanah, dan jarak sumber gempa.

Tahapan analisis kuantitatif adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi parameter pemicu likuifaksi
2. Identifikasi parameter ketahanan terhadap likuifaksi
3. Perhitungan Indeks Potensi Likuifaksi
4. Prediksi penurunan dan perpindahan lateral

### 1. Identifikasi parameter pemicu likuifaksi

Terdapat dua faktor yang harus diidentifikasi, yaitu percepatan gempa dasar permukaan (PGA) dan *Cyclic Stress Ratio* (CSR)

#### a. Percepatan gempa dasar permukaan (PGA)

Perhitungan PGA untuk wilayah Indonesia dapat menggunakan data dari literatur yang sudah ada diantaranya adalah dari Peta Zona Gempa Indonesia (SNI 03-1726-2002). Nilai PGA ini dihasilkan dari data historis gempa yang cukup panjang di suatu lokasi. Salah satu survei yang dapat dilakukan untuk mendapatkan nilai PGA adalah dengan melakukan survei mikrotremor.

b. **Cyclic Stress Ratio (CSR)**

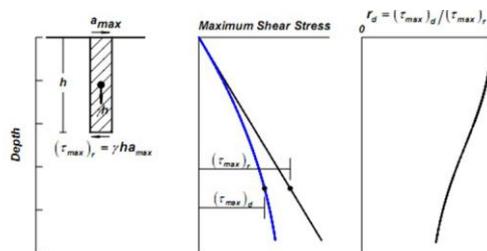
Menurut Seed & Idriss, 1971 dalam Seed, drr, 2001, menyebutkan bahwa CSR merupakan fungsi *cyclic shear stress* rata – rata ( $\tau_{avg}$ ) terhadap *overburden stress* ( $\sigma_{vo}'$ ). CSR juga merupakan fungsi percepatan gempa dasar permukaan ( $a_{max}$ ), *total vertical stress* ( $\sigma_{vo}$ ) dan *vertical stress effective* ( $\sigma_{vo}'$ ) terhadap kedalaman dan faktor *stress reduction* ( $r_d$ ).

$$CSR = \frac{\tau_{avg}}{\sigma_{v'}} = 0,65 \left( \frac{a_{max}}{g} \right) \left( \frac{\sigma_v}{\sigma_{v'}} \right) r_d$$

*Total vertical stress* dan *vertical effective stress* adalah fungsi dari berat isi tanah dengan kedalaman. Faktor *stress reduction* ( $r_d$ ) merupakan gambaran perbandingan antara *cyclic stress* pada tanah yang fleksibel dengan tanah yang rigid (Idriss & Boulanger, 2004).

Faktor *stress reduction* ( $r_d$ ) memiliki hubungan dengan faktor kedalaman (Gambar 6) dengan perkiraan rentang nilai menurut Robertson & Wride, 1997 adalah sebagai berikut:

- $r_d = 1,0 - 0,000765z$  (jika  $z < 9,15$  m)
- $r_d = 1,174 - 0,0267z$  (jika  $9,15 \leq z \leq 23$  m)
- $r_d = 0,744 - 0,008z$  (jika  $23 \leq z \leq 30$  m)
- $r_d = 0,5$  (jika  $z > 30$ )



Gambar 6. Faktor reduction stress

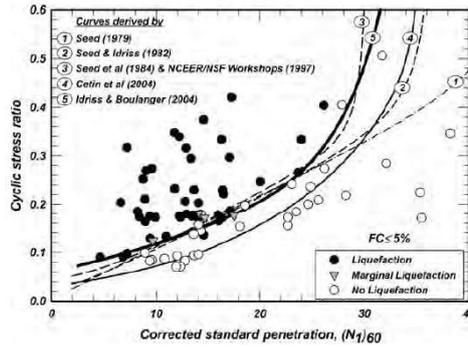
## 2. Identifikasi parameter ketahanan terhadap likuifaksi

Ketahanan terhadap likuifaksi disebut sebagai nilai *Cyclic Retention Ratio* (CRR). Nilai CRR dapat diperoleh berdasarkan uji *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT).

### • Nilai CRR berdasarkan nilai SPT

Diambil dari sebuah consensus NCEER tentang ketahanan tanah terhadap likuifaksi tahun 1998 mengenai analisis likuefaksi didapatkan metode evaluasi CRR dengan kriteria untuk evaluasi tahanan likuifaksi berdasarkan nilai SPT telah digunakan selama bertahun – tahun. Kriteria tersebut sebagian besar diwujudkan dalam plot kurva antara nilai SPT terkoreksi  $(N_1)_{60}$  dan nilai CSR.





Gambar 7. Kurva hubungan CRR vs SPT terkoreksi

Kurva ini menunjukkan daerah yang terindikasi likuifaksi dan yang non-likuifaksi. Persamaan berikut ini dikembangkan oleh Idriss dan Boulanger untuk faktor koreksi  $(N1)_{60}$  penyetaraan clean sand,  $(N1)_{60cs}$  :

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

Dimana  $\alpha$  dan  $\beta$  adalah koefisien yang didapat dari hubungan dengan *finer content* (FC) seperti di bawah ini:

$\alpha = 0$  dan  $\beta = 1.0$ .....untuk  $FC < 5\%$

$\alpha = 5$  dan  $\beta = 1,2$ .....untuk  $FC > 35\%$

untuk  $5\% < FC < 35\%$  maka:

$$\alpha = \exp[1,76-(190/FC^2)]$$

$$\beta = \exp[0,99+(FC^{1,5}/1,00)]$$

persamaan CRR adalah sebagai berikut:

$$CRR_{7,5} = \exp\left(\frac{(N1)_{60cs}}{14,1} + \left(\frac{(N1)_{60cs}}{126}\right)^2 - \left(\frac{(N1)_{60cs}}{23,6}\right)^3 + \left(\frac{(N1)_{60cs}}{25,4}\right) - 2,8\right)$$

- **Nilai CRR berdasarkan nilai SPT**

Robertson & Wride (1998) merumuskan CRR berdasarkan uji Cone Penetration Test (CPT) adalah sebagai berikut :

$$CRR_{7,5} = 93\left(\frac{(q_{c1N})_{\epsilon}}{1000}\right)^3 + 0,08. \quad \text{Jika } 50 \leq (q_{c1N})_{\epsilon} < 160$$

$$CRR_{7,5} = 0,83\left(\frac{(q_{c1N})_{\epsilon}}{1000}\right)^3 + 0,05. \quad \text{Jika } (q_{c1N})_{\epsilon} \leq 50$$

$(q_{c1N})_{\epsilon}$  adalah tekanan konus terkoreksi pada kondisi fraksi halus (clean sand). Formulanya adalah:

$$(q_{c1N})_{\epsilon} = K_c \times q_{c1N}$$

$$q_{c1N} = C_N \times q_c = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^{0,5} \times q_c$$

Pa adalah tekanan pada 1 atm atau 101,3 KPa sedangkan  $C_N$  adalah faktor koreksi overburden untuk tahanan penetrasi formula Liao & Whitman, 1986 dalam Idriss & Boulanger, 2004.  $K_c$  adalah faktor koreksi pada tanah berbutir yang memiliki persyaratan sebagai berikut :

a. Jika  $I_c$  (Indeks Sifat tanah)  $\leq 1.64$  maka  $K_c = 1.0$ .

b. Jika  $I_c > 1.64$ , maka:

$$K_c = -0,403I_c^4 + 5,581I_c^3 - 21,63I_c^2 + 33,75I_c - 17,8$$

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

$$Q = (q_c - \sigma_{v0}) / (\sigma_{v0}') \text{ dan } F = (f_s / (q_c - \sigma_{v0}')) \times 100\%$$

Nilai CRR dari perhitungan data SPT dan CPT di atas merupakan perhitungan CRR pada magnitudo gempa 7,5 M dan tekanan 1 atm. Sehingga diperlukan faktor koreksi jika skala gempa tidak 7,5 M yaitu *magnitude scaling factor* (MSF) serta *overburden correction factor* ( $K_\sigma$ ), yaitu koreksi terhadap tegangan overburden sebesar 1 atm.

$$MSF = 6,9 \exp(-M/4) - 0,058$$

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln(\sigma_{vc}' / Pa) \leq 1,1$$

MSF adalah faktor skala magnitudo gempa yang akan bernilai sama dengan 1 pada magnitudo 7,5 skala Richter. MSF diperlukan karena adanya pengaruh dari magnitudo yang menyebabkan guncangan dimana bisa menyebabkan rendahnya ketahanan tanah terhadap likuifaksi akibat penambahan stress cycle. (Schneider & Wayne, 1999).

Nilai MSF pada umumnya berbanding terbalik dengan nilai  $r_d$  (Idriss & Boulanger, 2004). Hubungan MSF dengan Magnitudo gempa menurut Idriss, 1999 :

$$MSF = 31,9(M_w)^{-1,72}$$

Kondisi batas yang berlaku di daerah penyelidikan menerapkan nilai  $MSF = 1$  dengan asumsi bahwa nilai FS merupakan hasil murni dari perbandingan antara CRR terhadap CSR dimana acuan PGA berasal Peta Zona Gempa Indonesia secara regional.

### 3. Perhitungan Indeks Potensi Likuifaksi

Berdasarkan Youd & Noble, 1997 dalam Schneider & Wayne, 1999, faktor keamanan terhadap likuifaksi dirumuskan sebagai berikut;  $FS = (CRR_{7,5} / CSR) MSF$

Indeks potensi likuifaksi (LPI) mengacu pada formula Iwasaki, 1986 yang menyebutkan likuifaksi akan terjadi hingga kedalaman 20 meter di bawah permukaan tanah. Indeks potensi likuifaksi merupakan integrasi dari fungsi faktor keamanan dan kedalaman litologi yang terlikuifaksi.

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



Jika faktor keamanan (FL) < 1 maka F = 1-FL dan jika FL > 1 maka F = 0. Menurut Iwasaki (1986), klasifikasi LPI terhadap resiko potensi likuifaksi adalah sebagaimana dapat dilihat di tabel 1.

Potensi tersebut dapat dihitung probabilitasnya dengan menggunakan Formula George, 2008 sebagai berikut; Probabilitas =  $1/(1+e^{-(3,092+0,218 \times LPI)})$

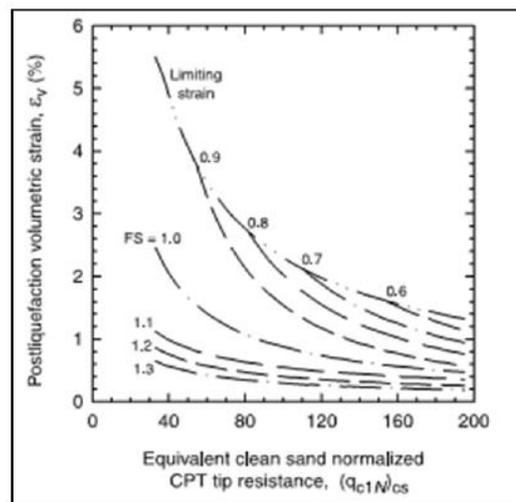
#### 4. Prediksi penurunan dan perpindahan lateral

Salah satu efek likuifaksi pada bangunan konstruksi adalah penurunan dan perpindahan lateral tanah.

Menurut Zhang drr, 2002, estimasi penurunan merupakan fungsi dari regangan volumetrik ( $\epsilon_{vi}$ ) terhadap kedalaman (z) sebagaimana dirumuskan :

$$S = \sum_{i=1}^j \epsilon_{vi} \Delta Z_i$$

Estimasi nilai regangan volumetrik berdasarkan data CPT dapat diketahui dari nilai  $q_c$  terkoreksi dimana hubungannya seperti disajikan dalam gambar 8.



Gambar 8. Hubungan regangan volumetrik terhadap nilai  $(q_{c1N})_{cs}$  (Zhang,2002)

Menurut Zhang drr, 2004 menyebutkan bahwa analisis dalam prediksi perpindahan lateral terdapat tiga tahapan :

1. Menentukan lapisan yang terlikuifaksi yang dalam hal ini menggunakan data sondir.
2. Menentukan nilai indeks perpindahan lateral (LDI)

$$LDI = \int_0^{z_{max}} \gamma_{max} dz$$

3. Menentukan perpindahan lateral (LD)

- a. Kemiringan (S) tanpa batas ( $0,2\% < S < 3,5\%$ );  $LD=(S+0,2).LDI$
- b. Kemiringan (S) dengan panjang (L) dan tinggi tertentu (H) ( $4 < L/H < 40$ );  $LD = 6 (L/H)^{-0,8}$

## KESIMPULAN

1. Likuifaksi merupakan fenomena alam yang biasa terjadi di daerah dengan kondisi tanah yang jenuh air, muka air tanah dangkal dan jenuh air.
2. Potensi likuifaksi suatu wilayah dapat diprediksi secara kualitatif dan kuantitatif
3. Analisis kualitatif digunakan untuk skala regional sedangkan analisis kuantitatif digunakan untuk skala detail
4. Penyusunan zona potensi likuifaksi dapat dilakukan dengan menggunakan nilai Liquefaction Potential Index (LPI), Liquefaction Severity Index (LSI) dan Liquefaction Risk Index (LRI)
5. Metoda yang umum dilakukan untuk menentukan potensi likuifaksi adalah dengan menghitung kekuatan tanah menahan likuifaksi akibat gempa (*cyclic resistance ratio* (CRR)) dan tegangan geser tanah akibat gempa (*cyclic stress ratio* (CSR)).
6. CRR dan CSR dihitung dari data yang diperoleh dengan melakukan *self penetration test* (SPT) atau *cone penetration test* (CPT).

## DAFTAR PUSTAKA

- Iwasaki, T., Arakawa, T., and Tokida, K., 1984, “*Simplified Procedures for Assessing Soil Liquefaction during Earthquakes*”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.3, Southampton, hal. 49-58.
- Lee DH, Ku CS, & Yuan H., 2003, “*A study of the liquefaction risk potential at Yuanlin*”. Taiwan Eng Geol 71, pp: 97–117.
- Mase, L.Z., 2013, “Analisis Potensi Likuifaksi Di Kali Opak Imogiri Daerah Istimewa Yogyakarta (Studi Eksperimental dan Analisis Empiris)”, Tesis, Jurusan Teknik Sipil (Geoteknik) dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada.
- Setyabudi, A.P., 2013, “Analisis Probabilitas Likuifaksi Menggunakan Metode Liquefaction Severity Index Untuk Kabupaten Bantul, Sleman, Dan Kotamadya Yogyakarta”, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil (Geoteknik) dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada.
- Sonmez, H and Gokceoglu, C., 2005. “*A liquefaction severity index suggested for engineering practice*”, Environmental Geology, 48, pp. 81-91.
- Tonkin & Taylor International Ltd, 2013, “*Canterbury New Zealand Earthquake Sequence 2010- 2011*”, Seminar on disaster preparedness in the Philippines.
- Yogatama, B.A., 2012, “Analisis Potensi Likuifaksi Di Kawasan Kabupaten Bantul Dan Kotamadya Yogyakarta”, Jurusan Teknik Sipil (Geoteknik) dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada.
- Youd, T.L., and Perkins, D.M., 1978. “*Mapping liquefaction-induced ground failure potential*”. Journal of the Geotechnical Engineering Division 104, No. GT4, 433-446.
- <https://www.bbc.com/indonesia/indonesia-45721130>

