

Analisis Potensi Likuifaksi Pada Project Pembangunan Gudang Peti Kemas Tanjung Perak

Nur Ayu Diana Citra Dewi S.P¹, Reja Putra Jaya¹

¹ Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra, nurayu@janabadra.ac.id

ABSTRACT

Liquefaction is a process or occurrence of changes in soil properties from a solid state to a liquid state, caused by cyclic loads during an earthquake so that the pore water pressure increases to approach or exceed the vertical stress. Liquefaction occurs when a non-cohesive soil (silt to sand) is saturated with water which loses its shear strength when subjected to shocks, mainly caused by earthquakes. During an earthquake, the ground acts more as a liquid than as a solid, resulting in liquefaction that endangers the buildings above it. One type of earthquake that often triggers liquefaction is a tectonic earthquake. Tectonic earthquakes due to faults in the earth's plates, propagate earthquake waves to the earth's surface, resulting in alternating or bidirectional shear forces (dynamic cyclic), so that each layer of soil will change soil parameters at the time of the earthquake. Damage can be caused by the acceleration and speed of the earthquake on the ground/earth surface and can also occur due to liquefaction events.

This is also the background for the author to analyze the potential for liquefaction in the container warehouse construction plan in Tanjung Perak, Surabaya. Observing this, the author will present data and analysis of the interpretation of CPT and SPT data at that location to determine the potential for liquefaction in the event of an earthquake.

The soil parameters analyzed, namely the examination of the type of soil at the site showed a medium soil type with an average N value = 30 and the total stress value and effective stress for each BH-1 drill point. Analysis of the calculations obtained for each drill point with variations in the MAT value and earthquake magnitude value, all of which show the value of the safety factor is more than one which means that for each drill point there is no potential for liquefaction with varying earthquake magnitudes.

Keywords: CPT; CRR; CSR; liquefaction; SPT; Surabaya

ABSTRAK

Likuifaksi (*liquefaction*) adalah suatu proses atau kejadian berubahnya sifat tanah dari keadaan padat menjadi keadaan cair, yang disebabkan oleh beban siklik pada waktu terjadi gempa sehingga tekanan air pori meningkat mendekati atau melampaui tegangan vertikal. Likuifaksi terjadi ketika tanah non-kohefif (lanau sampai pasir) jenuh air yang kehilangan kuat gesernya pada saat mengalami guncangan terutama disebabkan oleh gempa. Selama diguncang gempa tanah lebih berlaku sebagai cairan daripada sebagai padatan, sehingga terjadilah likuifaksi yang membahayakan bangunan di atasnya. Salah satu jenis gempa yang sering memicu terjadinya likuifaksi ialah gempa tektonik. Gempa bumi tektonik akibat patahan lempeng bumi, merambatkan gelombang gempa ke permukaan bumi, mengakibatkan terjadinya gaya geser searah bolak balik atau dua arah (siklik dinamik), sehingga setiap lapisan tanah akan terjadi perubahan parameter tanah di saat terjadinya gempa tersebut. Kerusakan dapat diakibatkan oleh percepatan dan kecepatan gempa pada permukaan tanah/bumi juga dapat terjadi akibat terjadinya peristiwa likuifaksi.

Hal ini yang juga melatarbelakangi penulis untuk menganalisis potensi likuifaksi pada rencana pembangunan gudang peti kemas di Tanjung Perak, Surabaya. Mencermati hal tersebut maka penulis akan menyajikan data serta analisis dari interpretasi data CPT dan SPT pada lokasi tersebut untuk mengetahui potensi likuifaksi jika terjadi gempa.

Parameter-parameter tanah yang dianalisis, yaitu pemeriksaan jenis tanah yang ada di lokasi menunjukkan jenis tanah sedang dengan nilai N rata-rata= 30 serta nilai tegangan total dan tegangan efektif untuk masing-masing titik bor BH-1. Analisis perhitungan yang didapat untuk setiap titik bor dengan variasi nilai MAT dan nilai magnitudo gempa, semuanya menunjukkan harga faktor keamanan lebih dari satu yang mengartikan untuk setiap titik bor tidak berpotensi terjadi likuifaksi dengan magnitudo gempa yang sudah divariasikan.

Kata kunci: CPT; CRR; CSR; likuifaksi; SPT; Surabaya

PENDAHULUAN

Salah satu jenis gempa yang sering memicu terjadinya likuifaksi ialah gempa tektonik. Gempa bumi tektonik akibat patahan lempeng bumi, merambatkan gelombang gempa ke permukaan bumi, mengakibatkan terjadinya gaya geser searah bolak balik atau dua arah (siklik dinamik), sehingga setiap lapisan tanah akan terjadi perubahan

parameter tanah di saat terjadinya gempa tersebut. Kerusakan dapat diakibatkan oleh percepatan dan kecepatan gempa pada permukaan tanah/bumi juga dapat terjadi akibat terjadinya peristiwa likuifaksi.

Dalam menentukan suatu daerah memiliki potensi likuifaksi atau tidak bisa dengan dua cara yaitu tes uji laboratorium dan tes uji lapangan yang nantinya akan dihitung faktor keamanannya. Pada tes uji

lapangan, tes yang sering dilakukan ialah tes CPT, SPT, BPT, dan Vs. Mengacu pada fenomena likuifaksi, maka penting bagi kita untuk menganalisis potensi likuifaksi ketika kita akan mendirikan suatu bangunan di atas tanah yang sekiranya memiliki potensi likuifaksi. Hal ini yang juga melatar belakangi penulis untuk menganalisis potensi likuifaksi pada rencana pembangunan gudang peti kemas di Tanjung Perak, Surabaya. Mencermati hal tersebut maka penulis akan menyajikan data serta analisis dari interpretasi data CPT dan SPT pada lokasi tersebut untuk mengetahui potensi likuifaksi jika terjadi gempa.

Ruang lingkup pembahasan hanya meliputi analisis likuifaksi setempat dengan menggunakan data CPT dan SPT yaitu di Terminal Peti Kemas, Tanjung Perak Surabaya. Dan hasil dari kedua data tersebut dibandingkan agar lebih terlihat apakah data (CRR, *Cyclic Resistance Ratio*) dari CPT dapat diaplikasikan dalam perhitungan CRR yang ada sekarang.

Penelitian ini bertujuan untuk dapat memberi pendalaman pemahaman, baik untuk penulis sendiri maupun masyarakat dalam bidang geoteknik khususnya untuk masalah analisis potensi likuifaksi pada suatu daerah dengan data CPT dan SPT.

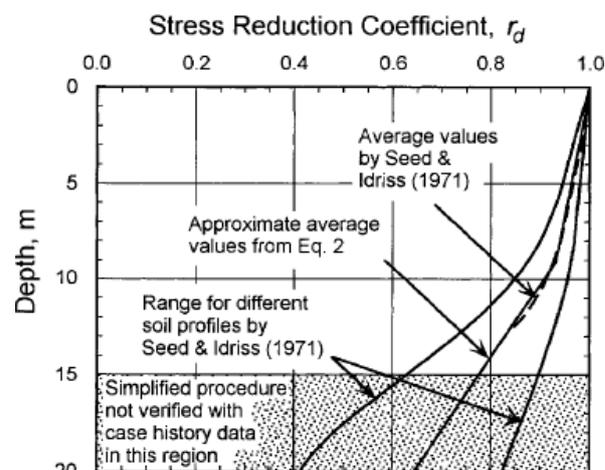
METODE

Dalam menganalisis potensi likuifaksi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu tes uji laboratorium dan pendekatan perhitungan dari data tes uji lapangan. Dalam penelitian ini penulis bertujuan untuk mendapatkan hasil nilai potensi likuifaksi dari hasil uji lapangan yaitu data CPT (sondir) dan SPT serta membandingkan nilai CRR yang didapat oleh masing-masing data. Adapun untuk menganalisis potensi likuifaksi dibutuhkan nilai rasio tegangan siklik (CSR) dan nilai rasio tahanan siklik (CRR) yang bisa didapatkan dari nilai CPT (sondir), SPT (bor dalam), Vs (*shearwave velocity*), dan beberapa uji tanah lainnya termasuk *Becker Penetration Test* (BPT). Namun dalam penelitian ini penulis hanya membatasi perhitungan dari data CPT dan SPT.

Metode untuk mengevaluasi potensi likuifaksi adalah dengan cara mendapatkan nilai faktor keamanan dari hasil perbandingan nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) yaitu nilai yang mencerminkan kekuatan tanah terhadap beban siklis yang biasanya diakibatkan oleh beban gempa bumi dengan CSR (*Cyclic Stress Ratio*) yaitu nilai tegangan yang disebabkan oleh gempa bumi. Faktor keamanan yang digunakan tidak boleh kurang dari satu, karena jika kurang dari satu maka tanah akan mengalami likuifaksi.

Pada tahun 1971 Seed dan Idriss memformulasikan persamaan untuk rasio tegangan siklik sebagai berikut :

$$CSR = (\tau_{av} / \sigma'_{vo}) = 0.65 (a_{max} / g) (\sigma_{vo} / \sigma'_{vo}) r_d \quad (1)$$



Gambar 1. r_d versus Depth Curves Developed by Seed and Idriss (1971)

Sumber : Soil Liquefaction During Earthquakes by I.M Idriss and R.W. Boulanger

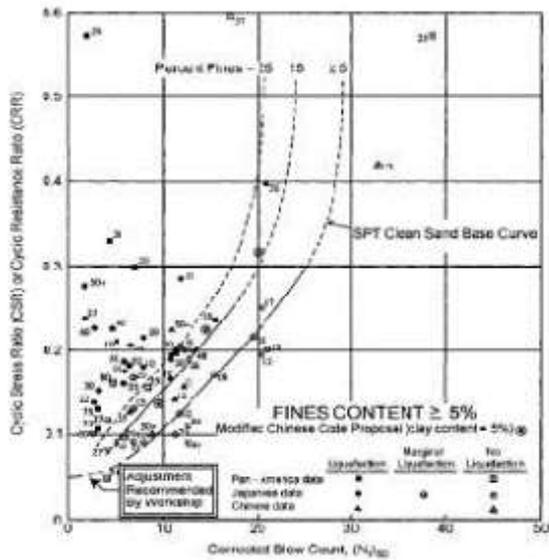
Untuk memudahkan perhitungan, Blake (1996) memperkirakan rata-rata (nilai tengah) plot kurva pada gambar 2.6 oleh persamaan berikut:

$$r_d = \frac{(1.000 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5})}{(1.000 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.001210z^2)} \quad (2)$$

Dalam mengevaluasi nilai CRR dilakukan pendekatan perhitungan CRR yang diambil dari konsensus NCEER/NSF tentang ketahanan tanah terhadap Likuifaksi tahun 1998 mengenai analisis likuifaksi dan literatur buku yang dibuat oleh Idriss dan Boulanger yang berjudul "*Soil Liquefaction During Earthquakes*" tahun 2008.

Beberapa uji lapangan telah memperoleh penggunaan umum untuk evaluasi potensi likuifaksi, termasuk tes penetrasi standar (SPT), uji penetrasi kerucut (CPT), kecepatan gelombang geser pengukuran (Vs), dan uji penetrasi Becker (BPT). Namun batasan pada tulisan ini hanya pada evaluasi data dari CPT dan SPT.

Diambil dari sebuah konsensus NCEER/NSF tentang ketahanan tanah terhadap Likuifaksi tahun 1998 mengenai analisis likuifaksi 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 (NI)₆₀ dan nilai CSR.



Gambar 2. Kurva SPT Clean Sand Base untuk Nilai Gempa Bumi 7.5 dengan data dari sejarah kasus Likuifaksi
Sumber: Modifikasi dari Seed dkk, 1985

Kurva CRR pada grafik ini adalah diposisikan untuk memisahkan daerah dengan data indikasi likuifaksi dengan data yang menunjukkan non-likuifaksi. Kurva dikembangkan untuk tanah butiran dengan *finer content* sebesar 5% atau kurang, 15%, dan 35% seperti yang ditunjukkan pada plot kurva. Kurva CRR untuk *finer content* <5% adalah kriteria penetrasi dasar untuk penyederhanaan prosedur dan selanjutnya disebut sebagai "kurva dasar SPT pasir murni". CRR pada Gambar 5 hanya berlaku untuk magnitudo gempa bumi sebesar 7.5.

Pada kurva SPT *clean-sand*, beberapa usulan perubahan kriteria SPT direkomendasikan oleh beberapa peneliti yang hadir dalam konsensus tersebut. Perubahan pertama adalah lintasan kurva *clean-sand base* pada (N1)60 untuk memproyeksikan nilai sekitar 0,05 (Gambar 5). Penyesuaian ini membentuk ulang yang kurva *clean-sand base* untuk mencapai konsistensi yang lebih besar dengan kurva CRR dan dikembangkan untuk prosedur *shear wave velocity* dan CPT. Seed dan Idriss (1982) mengembangkan kurva yang asli melalui data aslinya, tapi ada sedikit data yang membatasi kurva di bagian bawah dari plot.

Di University of Texas, Rauch (1998), memperkirakan plot kurva *clean-sand base* pada Gambar 2 oleh persamaan berikut :

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (3)$$

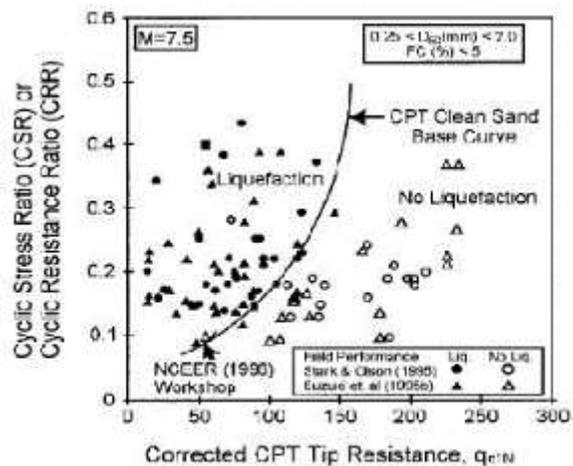
Tabel 1. Tabel Faktor Koreksi untuk (N1) 60

Factor	Equipment variable	Term	Correction
Overburden pressure	—	$C_{\sigma'v}$	$(P_{\sigma'v}/\sigma'v_0)^{0.5}$
Overburden pressure	—	$C_{\sigma'v}$	$C_{\sigma'v} \leq 1.7$
Energy ratio	Donut hammer	C_E	0.5–1.0
Energy ratio	Safety hammer	C_E	0.7–1.2
Energy ratio	Automatic-trip Donut-type hammer	C_E	0.8–1.3
Borehole diameter	65–115 mm	C_D	1.0
Borehole diameter	150 mm	C_D	1.05
Borehole diameter	200 mm	C_D	1.15
Rod length	<3 m	C_L	0.75
Rod length	3–4 m	C_L	0.8
Rod length	4–6 m	C_L	0.85
Rod length	6–10 m	C_L	0.95
Rod length	10–30 m	C_L	1.0
Sampling method	Standard sampler	C_s	1.0
Sampling method	Sampler without liners	C_s	1.1–1.3

Sumber : Skempton (1986) ditulis kembali oleh Robertson dan Wride (1998)

Keuntungan utama dari CPT ialah tahanan penetrasi profil yang terus menerus dapat dikembangkan menjadi interpretasi stratigrafi. Data yang dihasilkan oleh CPT umumnya lebih konsisten dan memiliki repeatability yang baik sehingga data yang didapatkan relatif mendekati satu sama lain. Stratigrafi yang didapatkan dari CPT memiliki kemampuan lebih dalam interpretasi data tahanan likuifaksi dibandingkan SPT.

Berdasarkan beberapa sejarah kesalahan kasus dari tahun 1989 Gempa Loma Prieta, Idriss menyarankan bahwa kurva *clean sand* pada Gambar 3 berikut harus bergeser ke kanan sebesar 10-15%.

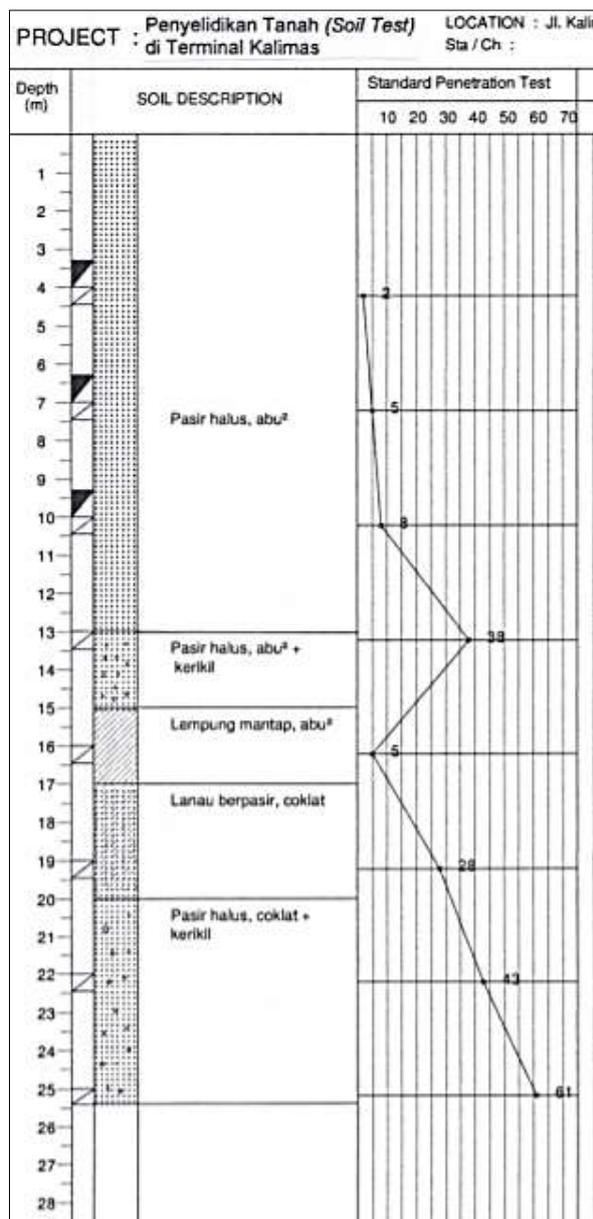


Gambar 3. Kurva yang direkomendasikan untuk perhitungan CRR dari data CPT sepanjang data empiris likuifaksi dari gabungan sejarah kasus
Sumber : Soil Liquefaction During Earthquakes by I.M Idriss and R.W. Boulanger

HASIL

Data tanah di lokasi yang ada adalah data dari pengujian Standard Penetration Test (SPT), maka yang dilihat adalah nilai standar penetrasi rata-rata (\bar{N}). Berikut ini adalah tabel pemeriksaan tanah yang

ada di titik bor lokasi penelitian.



Gambar 4. Borlog penyelidikan tanah terminal kalimas

Dari hasil yang ditunjukkan dalam tabel, menunjukkan bahwa nilai standar penetrasi rata-rata berada di $15 \leq \bar{N} < 50$ dan sesuai dengan Tabel 2 menandakan bahwa jenis tanah di lokasi yang ditinjau memiliki jenis tanah sedang. Menghitung nilai Cyclic Stress Ratio (CSR) yang disebabkan oleh gempa bumi. Nilai CSR dihitung dengan melihat seberapa besar nilai percepatan gempa yang terjadi.

Nilai percepatan gempa yang didapat untuk daerah penelitian yang sudah dihitung menggunakan rumus fungsi atenuase didapat harga percepatan gempa di permukaan tanah sebesar 0,24875g dan dibulatkan menjadi 0,25g

Tabel 2. Perhitungan Nilai CRR7.5 pada titik BH 1

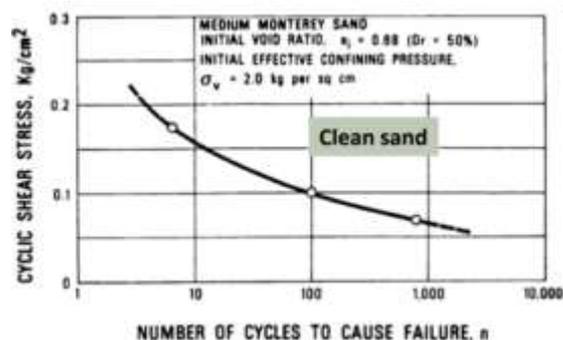
N1(60)	Relative Density Dr (%)	Simplified CSR	CSR_I&B	CRR7.5 Boulanger & Idriss	CRR7.5 (ave)
6	39.2	0.226	0.226	-	-
18	62.8	0.271	0.271	0.19	0.19
13	52.3	0.306	0.306	0.14	0.14
26	75.6	0.322	0.322	0.33	0.33
75	100	0.328	0.328	0.79	0.79
86	100	0.329	0.329	0.79	0.79
84	100	0.329	0.329	0.79	0.79

Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan dalam tabel di atas, bisa dilihat untuk setiap lapisan tanah dengan variasi magnitudo gempa, bisa dilihat bahwa semakin nilai MSF akan semakin kecil seiring dengan bertambahnya besaran skala magnitudo gempa yang terjadi. Setelah didapat nilai MSF untuk masing-masing magnitudo gempa, maka dicari nilai Cyclic Resistance Ratio (CRR) dengan faktor koreksi MSF.

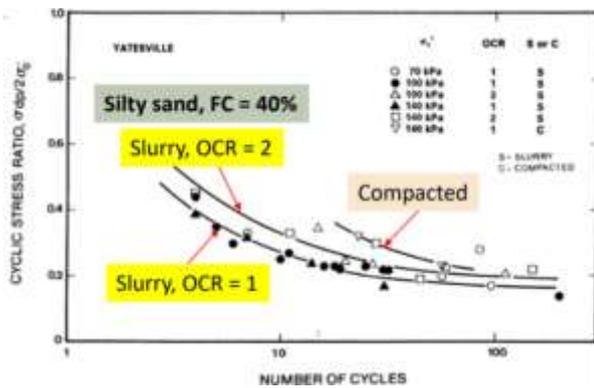
Tabel 3. Hasil perhitungan FS pada BH 1

CRR7.5 Boulanger & Idriss	CRR7.5 (ave)	Safety Factor Boulanger & Idriss	Safety Factor
-	-	-	-
0.19	0.19	0.78	0.78
0.14	0.14	0.5	0.5
0.33	0.33	1.12	1.12
0.79	0.79	2.69	2.69
0.79	0.79	2.66	2.66
0.79	0.79	2.65	2.65

Hasil pengujian likuifaksi di laboratorium



Gambar 5. Grafik hubungan antara CSS dan jumlah siklik



Gambar 6. Grafik hubungan antara CSSR dan jumlah siklus

SIMPULAN

Parameter-parameter tanah yang dianalisis, yaitu pemeriksaan jenis tanah yang ada di lokasi menunjukkan jenis tanah sedang dengan nilai N rata-rata = 30 serta nilai tegangan total dan tegangan efektif untuk masing-masing titik bor BH-1

Analisis perhitungan yang didapat untuk setiap titik bor dengan variasi nilai MAT dan nilai magnitudo gempa, semuanya menunjukkan harga faktor keamanan lebih dari satu yang mengartikan untuk setiap titik bor tidak berpotensi terjadi likuifaksi dengan magnitudo gempa yang sudah divariasikan.

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai potensi likuifaksi terhadap lokasi proyek dengan metode lain yang mempertimbangkan pengaruh beban.
2. Selain dengan menggunakan data insitu SPT ataupun CPT untuk menganalisis potensi likuifaksi pada underpass ini sebaiknya digunakan juga metode gradasi butiran yang mempertimbangkan ukuran dan kerapatan butiran dalam analisisnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Craig, R.F. and Susilo, B. (1991). *Mekanika Tanah*.
 Idriss, I.M. and Boulanger, R.W. (2008). *Soil Liquefaction During Earthquakes*.
 Jefferies, M. G., and Been, K. (2006). *Soil liquefaction, a critical state approach*,
 Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 653.
 Kumar, K. (2008). *Basic Geotechnical Earthquake Engineering*. New Delhi : New Age International (P) Ltd., Publishers
 Michael K. Sharp, Ricardo Dobry, and Ryan Phillips. (2010). *CPT-Based Evaluation of Liquefaction and Lateral Spreading in Centrifuge*. *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. <http://www.ascelibrary.org>
 Robert, W.D. (2002). *Geotechnical Earthquake Engineering Handbook*, McGRAW-HILL.
 Robertson, P.K. (2011). *Evaluation of Flow Liquefaction and Liquefied Strength Using the Cone Penetration Test*". *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. <http://www.ascelibrary.org>.
 Robertson, P.K. and Wride, C.E. (1998). "Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test". *Canadian Geotechnical Journal*.
 Taylor and Francis, L. (1997). *National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER). Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistances of Soils*, T.L. Youd dan I.M. Idriss, editors, Technical Report NCEER-97-022, 41-88
 Tim Dosen Geoteknik DTS-FTUI. *Bahan Kuliah Dinamika Tanah*
 Tim Penyusun (2001). *SNI 03-1726-2002 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
 Tohwata, I. (2008). *Geotechnical Earthquake Engineering*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg