

PETA PROBABILITAS LIKUIFAKSI KAWASAN LEMPUING KOTA BENGKULU BERDASARKAN DATA UJI SONDIR

Rena Misliniyati¹⁾, Makmun R. Razali²⁾, Samsul Bahri³⁾

^{1,2,3)}Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik UNIB, Jl.WR. Supratman, Kandang
Limun Bengkulu 38371 A

Abstrak

Sebagai salah satu kota di pantai barat Pulau Sumatra yang berada di jalur seismik aktif, menyebabkan Kota Bengkulu menjadi wilayah yang berpotensi untuk terjadi gempa bumi. Potensi ini memungkinkan turut terjadinya bahaya likuifaksi ketika peristiwa gempa terjadi. Salah satu kawasan di Kota Bengkulu yang dilalui jalur ini adalah Kelurahan Lempuing. Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi likuifaksi di Kelurahan Lempuing dengan menggunakan metode probabilistik prosedur *simplified*. Model probabilitas yang digunakan adalah model probabilitas yang dikembangkan oleh Haldar dan Tang (1979). Data hasil penyelidikan geoteknik dikumpulkan dari 6 titik sondir yang tersebar di Kelurahan Lempuing. Parameter tahanan tanah pada analisis ini didasarkan pada data uji sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT). Data kecepatan gelombang geser diperoleh dari hasil korelasi Vs terhadap data CPT. Parameter beban gempa yang digunakan diperoleh dari Peta Zonasi Gempa Indonesia tahun 2010 dan riwayat kegempaan Kota Bengkulu. Hasil analisis menunjukkan tingkat probabilitas terhadap bahaya likuifaksi pada lokasi penelitian hampir mencapai 100%. Hal ini menunjukkan bahwa pada lokasi penelitian berpotensi besar untuk terjadi bahaya likuifaksi saat gempa terjadi.

Kata kunci: likuifaksi, *cone penetration test*, probabilistik prosedur *simplified*.

Abstract

As one of the cities on the west coast of Sumatra Island is located in an active seismic lines, causing Bengkulu city into an area that has the potential for an earthquake. This allows also the potential danger of liquefaction when the earthquake occurred. One of the areas in Bengkulu city is the pathway through which the village Lempuing. This study aimed to analyze the potential for liquefaction at the Village Lempuing using probabilistic methods *simplified* procedure. Probability model used is the probability model developed by Haldar and Tang (1979). The data collected from the results of the geotechnical investigation sondir 6 point spread in the Village Lempuing. Soil resistance parameters in this analysis are based on test data sondir or *Cone Penetration Test* (CPT). Shear wave velocity data obtained from the correlation of the data CPT Vs. Seismic load parameters used were obtained from the Indonesian Earthquake Zoning Map of 2010 and the seismic history of the city of Bengkulu. The analysis shows the level of probability of liquefaction hazards at the study site is close to 100%. This suggests that the study site has great potential for liquefaction hazards occur when an earthquake occurs.

Keywords: liquefaction, *cone penetration test*, probabilistic *simplified* procedure.

PENDAHULUAN

Salah satu fenomena yang sering menyertai ketika peristiwa gempa terjadi adalah likuifaksi (Misliniyati, 2013). Likuifaksi adalah suatu kejadian dimana tanah mengalami kehilangan kekuatan geser efektif karena meningkatnya tegangan air pori sebagai akibat terjadinya beban siklik (beban gempa) yang sangat cepat dan dalam waktu sesaat (Idriss dan Boulanger, 2008).

Beberapa metode untuk mengevaluasi potensi likuifaksi telah dikembangkan oleh para ahli geoteknik. Metode yang sudah ada terus dilakukan koreksi dan penyempurnaan guna mendapatkan prosedur sederhana (*simplified procedure*). Prosedur sederhana (*simplified procedure*) memudahkan praktisi dalam menganalisis kondisi lapangan akan potensi terjadinya likuifaksi.

Secara garis besar, metode yang telah dikembangkan dibagi menjadi dua yaitu metode deterministik dan probabilistik. Dalam metode deterministik, hasil analisis dan evaluasinya hanya berupa kesimpulan terjadi atau tidak terjadinya likuifaksi yang diinterpretasikan melalui besarnya angka keamanan terhadap bahaya likuifaksi (Arifin, 2002).

Kendala yang dihadapi dalam metode ini adalah sulitnya menentukan besarnya resiko terjadinya likuifaksi. Sementara itu, metode probabilistik bisa digunakan untuk memprediksi seberapa besar probabilitas kemungkinan terburuk akan terjadi di suatu lokasi. Metode ini memungkinkan untuk memperhitungkan pengaruh faktor-faktor ketidakpastian dalam analisis ukuran, lokasi, dan frekuensi kejadian gempa.

Parameter yang diperlukan dalam evaluasi potensi likuifaksi suatu lokasi adalah parameter beban gempa dan parameter resistensi tanah. Parameter beban gempa diperoleh dari hasil analisis dan riwayat kegempaan lokasi yang ditinjau, sedangkan parameter resistensi tanah dapat diperoleh

dari hasil pengujian lapangan maupun laboratorium. Hasil pengujian lapangan yang biasa digunakan dalam analisis potensi likuifaksi adalah data tanah yang diperoleh dari hasil uji sondir CPT dan SPT (*Standard Penetration Test*).

Kota Bengkulu terletak di pesisir bagian barat Pulau Sumatera merupakan kota yang sangat rentan terhadap gempa besar karena berada di dekat 2 sumber gempa yaitu gempa zona subduksi akibat pertemuan Lempeng Samudera Hindia-Australia dengan Lempeng Benua Eurasia dan zona patahan aktif Pulau Sumatera. Kondisi demikian menyebabkan wilayah ini kemungkinan berpotensi terhadap bahaya likuifaksi ketika terjadi gempa. Untuk itu perlu dilakukan analisis probabilitas likuifaksi di Kota Bengkulu yang diawali pada beberapa titik lokasi pengujian lapangan. Penelitian ini dapat menjadi awal bagi pembuatan peta potensi likuifaksi Kota Bengkulu dengan cakupan data yang lebih banyak dan luas sebarannya.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besarnya nilai probabilitas likuifaksi Kelurahan Lempuing Kota Bengkulu dengan menggunakan data insitu *Cone Penetration Test* (CPT).

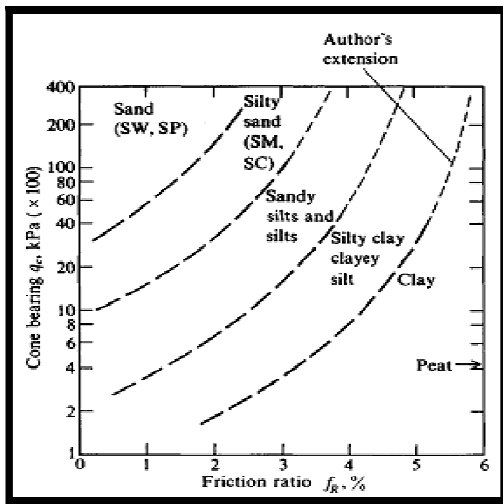
METODE PENELITIAN

Penentuan jenis tanah di setiap lapisan dari tes CPT digunakan grafik korelasi antara Friction Ratio dengan tahanan ujung CPT (Sondir) dari Robertson dan Campanella (1983) yang dapat dilihat pada Gambar (1). Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR), nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR), probabilitas likuifaksi dengan model probabilitas Haldar dan Tang (1979) dan yang terakhir menganalisis hubungan parameter tanah dan parameter gempa terhadap probabilitas likuifaksi. Pada tahapan ini akan dilakukan analisis hubungan antara parameter tanah yang

menggambarkan tahanan terhadap bahaya likuifaksi dan kekuatan gempa sebagai parameter beban dengan besarnya probabilitas likuifaksi yang terjadi.

Penentuan Jenis Tanah di setiap Lapisan.

Untuk penentuan jenis tanah dari hasil tes CPT digunakan grafik korelasi antara *Friction Ratio* (F) dengan tahanan ujung CPT (q_c) dari Robertson dan Campanella (1983) yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik korelasi sifat tanah dengan CPT yang dinormalisasi (Robertson dan Wride, 1998)

Perhitungan Nilai Cyclic Stress Ratio (CSR) Setiap Lapisan Tanah.

Perhitungan *Cyclic Stress Ratio* (CSR) yang dirumuskan oleh Seed dan Idriss (1971) dalam Yulman (2010) sebagai berikut:

$$CSR = 0,65 \frac{\sigma_{vc}}{\sigma'_{vc}} \frac{\alpha_{max}}{g} r_d \tag{1}$$

dimana:

σ_{vc} = tekanan vertikal total lapisan tanah saat konsolidasi

σ'_{vc} = tekanan vertikal efektif dari lapisan tanah saat konsolidasi

α_{max} = percepatan gempa maksimum di lapisan tanah

r_d = koefisien reduksi tekanan geser

g = percepatan gravitasi bumi

Analisis untuk mendapatkan parameter r_d sebagai fungsi dari kedalaman (z) dan magnitudo gempa (M) dilakukan dengan persamaan sebagai berikut (Misliniyati, 2013).

$$r_d = M \exp(\alpha(z) + \beta(z)) \tag{2}$$

$$\alpha(z) = -1,012 - 1,126 \sin\left(\frac{z}{11,73} + 5,133\right) \tag{3}$$

$$\beta(z) = 0,106 + 0,118 \sin\left(\frac{z}{11,28} + 5,142\right) \tag{4}$$

dimana:

z = kedalaman dalam meter

M = momen magnitudo

α dan β = nilai sinus dalam radian

Nilai percepatan gempa maksimum di permukaan tanah (a_{max}) dilakukan dengan menggunakan data percepatan gempa maksimum di batuan dasar berdasarkan peta *hazard* gempa Indonesia tahun 2010 dan nilai faktor amplifikasi dari ASCE (07-2010) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.. Berdasarkan peta *hazard* gempa Indonesia tahun 2010, nilai percepatan gempa di batuan dasar untuk Kota Bengkulu adalah 0,4g (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010). Distribusi *Magnitude* gempa yang digunakan dalam analisis, ditentukan berdasarkan data riwayat kejadian gempa Kota Bengkulu tahun 2007 dengan *Magnitude* 7,9 (Misliniyati, 2013).

Tabel 1. Klasifikasi Site Didasarkan Atas Korelasi Penyelidikan Tanah Lapangan dan Laboratorium

Klasifikasi Site (Sesuai Tabel 2.1)	S_{PGA}				
	$PGA \leq 0,1$	$PGA = 0,2$	$PGA = 0,3$	$PGA = 0,4$	$PGA \geq 0,5$
Batuan Keras (S_A)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (S_B)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak (S_C)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang (S_D)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah Lunak (S_E)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9

Sumber: Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010)

Tabel 2. Faktor Amplifikasi

Klasifikasi Site	\bar{V}_v (m/dt)	\bar{N}	\bar{S}_u (kPa)
A Batuan Keras	$\bar{V}_v \geq 1500$	N/A	N/A
B Batuan	$750 < \bar{V}_v \leq 1500$	N/A	N/A
C Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \bar{V}_v \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
D Tanah Sedang	$175 < \bar{V}_v \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
E Tanah Lunak	$\bar{V}_v < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u \leq 50$

Perhitungan Nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) Setiap Lapisan Tanah.

Tahanan penetrasi CPT pada pasir meningkat seiring dengan kenaikan *confining stress*, dimana nilai q_c dari kedalaman dan lokasi yang berada tidak bisa secara langsung dibandingkan satu sama lainnya (Misliniyati, 2013). Faktor koreksi dari nilai CPT adalah C_N , dimana:

$$q_{C1} = C_N \cdot q_c \quad (5)$$

Adapun nilai C_N didapat dengan rumus yang diusulkan oleh Idriss dan Boulanger (2003b) dalam Yulman (2010), yaitu:

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{vc}} \right)^{1,338 - 0,249 (q_c)^{0,264}} \leq 1,7 \quad (6)$$

Magnitude scaling factor (MSF) digunakan untuk menentukan CSR dan/atau CRR yang menggunakan nilai M yang biasa (secara konvensional diambil M = 7.5). Nilai MSF pada nilai M yang berbeda dapat dihitung dengan menggunakan pendekatan yang dipakai oleh Idriss (1999) dalam Yulman (2010) seperti berikut:

$$MSF = 6,9 \exp \left(\frac{-M}{4} \right) - 0,058 \leq 1,8 \quad (7)$$

Overburden correction factor (K_σ) diperkenalkan oleh Seed (1983) untuk menentukan CSR dan/atau CRR terhadap nilai *effective overburden stress* yang biasa, karena CRR pada pasir bergantung pada *effective overburden stress*. Kebanyakan nilai K_σ didapat dari hasil tes laboratorium. Tetapi hubungan K_σ yang direkomendasikan oleh para ahli yaitu :

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln \left(\frac{\sigma'_{vc}}{P_a} \right) \leq 1,1 \quad (8)$$

dimana koefisien C_σ didapat dari korelasi dengan overburden penetration resistance yang diusulkan oleh Idriss dan Boulanger (2004) sebagai berikut :

$$C_\sigma = \frac{1}{18,9 - 8,27 (q_{C1})^{0,264}} \leq 0,3 \quad (9)$$

Koefisien C_σ dibatasi maksimum dengan nilai 0,3 dengan membatasi nilai $q_{C1} \leq 211$.

Seperti yang diketahui kekuatan dan kekakuan pada tanah berdasarkan tes lapangan salah satunya bisa didapat dari nilai CPT. Kekuatan inilah yang akan menghasilkan nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR). Korelasi antara nilai CRR dengan CPT yang diusulkan oleh Boulanger (2004) berdasarkan hasil studinya adalah sebagai berikut:

$$CRR_{M=7,5; \sigma'_{vc}=1} = \exp \left\{ \frac{q_{C1cs}}{540} + \left(\frac{q_{C1cs}}{67} \right)^2 - \left(\frac{q_{C1cs}}{80} \right)^3 + \left(\frac{q_{C1cs}}{114} \right)^4 - 3 \right\} \quad (10)$$

Pada istilah q_{C1cs} , cs mengindikasikan nilai *clean sands*. Korelasi ini bisa diaplikasikan pada M=7,5 dan *effective overburden stress* $\sigma'_{vc} = 1$ atm. Korelasi di atas untuk CRR dengan M dan σ'_{vc} yang lain digunakan faktor korelasi dari *Magnitude Scaling Factor* (MSF) dan overburden correction factor, K_σ . Dimana korelasinya dapat dilihat dengan persamaan berikut :

$$CRR_{M, \sigma'_{vc}} = CRR_{M=7,5; \sigma'_{vc}=1atm} \cdot MSF \cdot K_\sigma \quad (11)$$

Untuk mendapatkan nilai q_{C1cs} dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$q_{C1cs} = q_{C1} + \Delta q_{C1} \quad (12)$$

$$\Delta q_{C1} = \left(5,4 + \frac{q_{C1}}{16} \right) \cdot \exp \left(1,63 + \frac{9,7}{FC + 0,01} - \left(\frac{15,7}{FC + 0,01} \right)^2 \right) \quad (13)$$

Nilai FC (*Finest Content*) didapat dari nilai I_c , dimana:

$$I_c = \{ (3,47 - \log Q)^2 + (\log F + 1,22)^2 \}^{0,5} \quad (14)$$

Untuk mendapatkan nilai Q dan F dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q = \left(\frac{q_c - \sigma_{vc}}{P_a} \right) \left(\frac{P_a}{\sigma'_{vc}} \right) \quad (15)$$

$$F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vc}} \cdot 100\% \quad (16)$$

Selanjutnya jika:

$I_c < 1,26$, maka nilai $FC = 0\%$

$1,26 < I_c < 35$, maka $FC = 1,75 I_c^{3,25} - 3,7$

$I_c > 35$, maka $FC = 100$

Perhitungan Probabilitas Likuiifikasi

Besarnya probabilitas likuifikasi dalam evaluasi ini ditentukan dengan model probabilitas Haldar dan Tang (1979). Model probabilitas yang digunakan adalah model yang menganggap bahwa parameter CSR dan CRR mengikuti distribusi log normal, dimana probabilitas bersyarat yang digunakan adalah $P(CRR \leq CSR)$, dengan $\Phi(\beta)$ standar normal kumulatif distribusi fungsi dan (Ω) koefisien variansi yang merupakan parameter statistik tanpa dimensi. Pemilihan ini didasarkan bahwa pada metode Haldar dan Tang, perhitungannya lebih kompleks dibandingkan dengan metode probabilitas lain, sehingga perhitungannya menunjukkan hasil yang lebih akurat (Arifin, 2002).

$$P_f = P(CRR \leq CSR) = 1 - \Phi(\beta)$$

$$= 1 - \Phi \left\{ \frac{\ln \left(\frac{CRR}{CSR} \sqrt{\frac{1 + \Omega^2 CSR}{1 + \Omega^2 CRR}} \right)}{\sqrt{\ln (1 + \Omega^2 CRR)(1 + \Omega^2 CSR)}} \right\} \quad (17)$$

dimana:

β = indeks keandalan

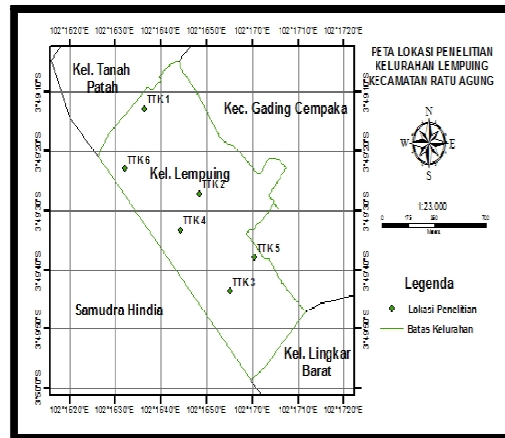
$\Phi(\beta)$ = standar normal kumulatif distribusi fungsi

$\Omega_{CSR}, \Omega_{CRR}$ = koefisien variansi CSR & CRR

adalah koefisien variansi dari CSR dan CRR

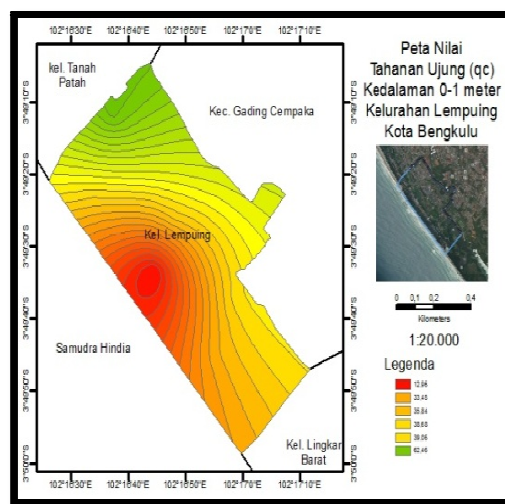
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 menunjukkan sebaran enam titik lokasi penelitian probabilitas likuifikasi di Kelurahan Lempuing Bengkulu.

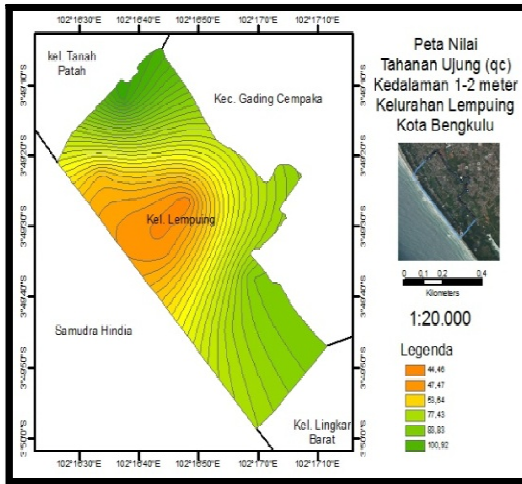


Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian (Misliniyati dkk., 2013)

Hasil uji insitu dengan CPT di lokasi penelitian diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Misliniyati dkk. (2013). Peta nilai tahanan ujung (q_c) lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



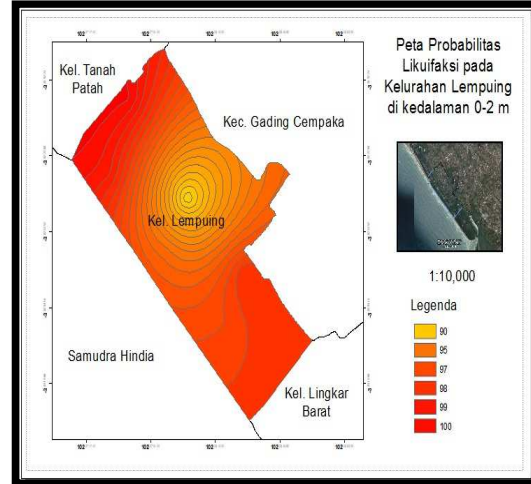
Gambar 3. Peta Nilai Tahanan Ujung (q_c) dalam kg/cm^2 pada Kedalaman 0-1 meter (Misliniyati, 2013)



Gambar 4. Peta Nilai Tahanan Ujung (q_c) dalam kg/cm^2 pada Kedalaman 1-2 meter (Misliniyati, 2013)

Hasil Analisis Probabilitas Likuifaksi

Analisis probabilitas likuifaksi prosedur simplified di kelurahan Lempuing Kota Bengkulu menghasilkan nilai probabilitas yang hampir mencapai 100% di seluruh lokasi pengambilan data tanah. Nilai ini menunjukkan bahwa Kelurahan Lempuing sebagai salah satu wilayah yang berada di Kota Bengkulu berpotensi besar untuk terjadi bahaya likuifaksi saat gempa terjadi. Sebaran nilai probabilitas likuifaksi di lokasi penelitian ditunjukkan oleh peta probabilitas likuifaksi pada Gambar 5.



Gambar 5. Peta probabilitas likuifaksi dalam (%) pada Kedalaman 0-2 meter

KESIMPULAN

Dari hasil analisis probabilitas likuifaksi yang dilakukan pada kawasan Lempuing Kota Bengkulu, dapat disimpulkan bahwa nilai probabilitas likuifaksi yang diperoleh hampir mencapai 100% sebagaimana yang ditampilkan pada peta probabilitas likuifaksi Kelurahan Lempuing. Nilai ini menunjukkan bahwa pada lokasi tersebut memiliki potensi besar untuk terjadi bahaya likuifaksi ketika gempa terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, B., 2002, “Analisis Probabilitas Prosedur *Simplified* untuk Mengevaluasi Potensi Likuifaksi”, Tesis Magister, Fakultas Geoteknik, Program Studi Rekayasa Sipil, Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- Idriss I.M., dan Boulanger R.W., 2004, “Semi-Empirical Procedures For Evaluating Liquefaction Potential During Earthquakes”, Department Of Civil and Environmental Engineering University Of California.

- Idriss I.M., dan Boulanger R.W., 2008, **“Soil Liquefaction During Earthquake”**, Earthquake Engineering Reseach Institute (EERI) Publication No. MNO-12. California.
- Kementerian Pekerjaan Umum, 2010, **“Peta Hazard Gempa Indonesia 2010”**.
- Mislinyati. dkk., 2013, **“Pemetaan Potensi Likuifaksi Wilayah Pesisir Berdasarkan Data Cone Penetration Test di Kelurahan Lempuing, Kota Bengkulu”**, Jurnal Inersia Vol. 5 No.2.
- Robertson, P.K., dan Wride, C.E., 1998, **”Evaluating Cyclic Liquefaction Potential Using The Cone Penetration Test”**, Canadian Geotechnical. J. 35: 442-459.
- Yulman, M.A., 2010, **“Studi potensi likuifaksi dengan metedologi deterministik kasus kota padang”**, Tugas Akhir,Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung: Bandung.

