

ANALISA POTENSI LIKUIFAKSI DARI DATA CPT (STUDI KASUS SINTER & COKE PLANT AREA KRAKATAU POSCO)

Rama Indera Kusuma¹⁾, Enden Mina²⁾, Nuri Kurniawan³⁾

¹⁾²⁾ Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jenderal Sudirman Km.3 Cilegon 42435.

E-mail : rama_sipil@yahoo.co.id, endenmina@yahoo.com

³⁾ Alumni Program Studi S-1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jenderal Sudirman Km.3 Cilegon 42435

ABSTRAK

Likuifaksi merupakan perhatian utama untuk struktur yang dibangun di tanah berpasir jenuh. Likuifaksi adalah fenomena dimana kekuatan dan kekakuan tanah berkurang dikarenakan gempa atau pembebanan cepat lainnya. Maka penting bagi kita untuk menganalisa potensi likuifaksi ketika akan mendirikan suatu bangunan di atas tanah yang sekiranya memiliki potensi tersebut

Analisa yang penulis gunakan untuk analisa potensi likuifaksi adalah data uji sondir (CPT), kemudian dianalisis dengan menggunakan metode evaluasi CRR dan CSR, untuk mengetahui potensi likuifaksi jika terjadi gempa pada lokasi proyek *Sinter Plant & Coke Plant Area*.

Hasil penelitian daerah yang dianalisa memiliki potensi besar terhadap likuifaksi, hal ini ditunjukkan oleh nilai faktor keamanan yang kecil dibandingkan nilai aman yang ditentukan. Rata-rata faktor keamanan yang dihasilkan oleh data CPT yang mengalami likuifaksi terdapat pada kedalaman 0 meter sampai 12 meter. Hasil perhitungan, daerah yang aman untuk peletakan pondasi diperkirakan pada nilai penetrasi konus lebih dari 120 kg/cm².

Kata kunci : Likuifaksi, Gempa, Data Sondir, CRR, CSR

ABSTRACT

Liquefaction potential has become a major concern in designing the structure that to be built on saturated sandy soil. Liquefaction is a phenomenon in which the strength and stiffness of soil is reduced due to an earthquake or other rapid loading. In this study the analysis of liquefaction potential using the data cone penetration test (CPT) which is calculated using evaluation of Cyclic Resistance Ratio (CRR) and the Cyclic Stress Ratio (CSR) method, by taking the project site Sinter Plant Area Coke Plant & Cilegon Krakatau Posco.

The results of liquefaction potential analysis showed that the area of the industrial park Cilegon Krakatau Posco has great potential to liquefaction, this is indicated by the value of the security is less than required (1.5). Critical value liquefaction potential based on CPT data contained in the depth of 0 meters to 12 meters. It was concluded that a safe zone for laying the foundation estimated in the cone penetration value of more than 120 kg/cm² with a small liquefaction potential at an average depth of over 12 meters.

Keyword: Liquefaction, earthquake, CPT data, CRR, CSR.

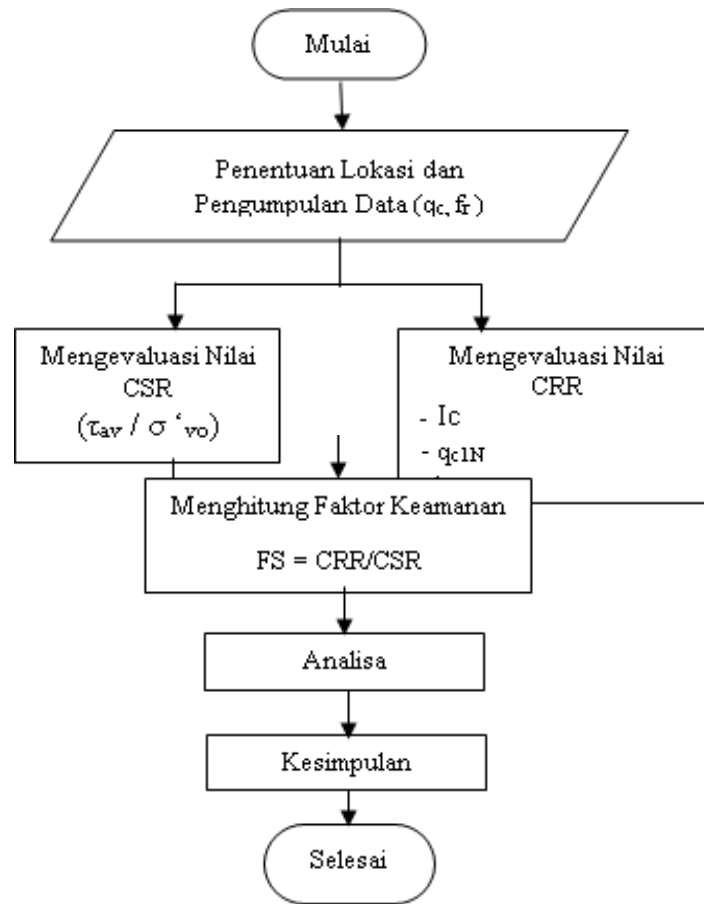
1. PENDAHULUAN

Salah satu penyebab dari terjadinya fenomena likuifaksi adalah gempa, dan Indonesia merupakan negara yang memiliki aktifitas gempa yang cukup tinggi sehingga analisa likuifaksi perlu dilakukan untuk menentukan potensi yang bisa terjadi pada lapisan tanah.

Likuifaksi adalah suatu proses atau kejadian berubahnya sifat tanah dari keadaan

padat menjadi keadaan cair, akibat terjadinya gaya geser bolak-balik (siklik dinamik) dari gelombang gempa.

Daerah yang dianalisa penulis berada pada proyek PT. Krakatau Posco Cilegon, yaitu *Sinter Plant & Coke Plant Area* Cilegon yang berada digugusan pegunungan cincin api merupakan lokasi berpotensi terjadi fenomena likuifaksi.



Gambar 2. Diagram Alir Metode Penelitian

Dalam analisis faktor keamanan dibutuhkan nilai-nilai yang harus dievaluasi terlebih dahulu. Adapun nilai tersebut ialah nilai CSR (*Cyclic Stress Ratio*) dan CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) yang dirumuskan sebagai berikut :

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (1)$$

Faktor keamanan yang < 1 menyatakan bahwatanah tersebut mengalami likuifaksi, sedangkan faktor kermanan = 1 adalah kondisi kritis tanah menuju likuifaksi, dan faktor kermanan > 1 menyatakan bahwapotensi likuifaksi tidak terjadi.

1. Nilai CSR (*Cyclic Stres Ratio*)

$$CSR = (\tau_{av} / \sigma'_{vo}) = 0.65 (a_{max} / g) (\sigma_{vo} / \sigma'_{vo}) r_d \quad (2)$$

Dimana nilai rd dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$r_d = 1.0 - 0.00765z \text{ untuk } z \leq 9.15 \text{ m} \quad (3)$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267z \text{ untuk } 9.15 \leq z \leq 23 \text{ m} \quad (4)$$

2. Nilai CRR

Adapun berikut langkah-langkah untuk mendapatkan nilai CRR dari data CPT :

- 1) Hitung nilai q_{c1N} , yaitu nilai tahanan ujung terkoreksi yang akan diformulasikan sebagai persamaan berikut.

$$q_{c1N} = C_Q (q_c / P_a) \quad (5)$$

dimana C_Q ialah factor normalisasi tahanan ujung konus. Dan P_a adalah tekanan pada 1 atm.

- 2) Lalu tentukan jenis tanah dengan iterasi ekponen “n” melalui nilai I_c agar diketahui jenis tanahapa yang sedang diuji. Karena teknik CPT tidak dapat memiliki sampel yang bisa diuji di laboratorium.

Persamaan untuk mendapatkan I_c sebagai berikut :

$$I_c = [(3.47 - \log Q)^2 - (1.22 + \log F)^2]^{0.5} \quad (6)$$

Jika nilai I_c yang didapatkan > 2.6 maka harus dilakukan iterasi kembali pada nilai Q atau eksponen "n", karena nilai $I_c > 2.6$ mengartikan bahwa tanah memiliki butiran halus yang banyak sehingga tanah padat dan sulit terlikuifaksi, oleh karena itu perhitungan tidak perlu dilanjutkan.

- 3) Hitung nilai Q dengan nilai iterasi "n" sama dengan satu yaitu mengartikan bahwa tanah diasumsikan sebagai tanah lempung.

Untuk tanah berpasi murni (*clean-sand*) eksponen yang sesuai yaitu 0.5. Persamaan untuk mencari nilai Q adalah sebagai berikut : $Q = [(q_c - \sigma_{vo})/P_a][P_a / \sigma'_{vo}]^{1.0}$

$$= [(q_c - \sigma_{vo}) / \sigma'_{vo}] \quad (7)$$

Nilai Q juga dapat dikorelasikan dengan nilai F_R (*friction ratio*) yang akan ditampilkan pada grafik berikut.

- 4) Lalu hitung nilai

$$F = [f_s / (q_c - \sigma_{vo})] \times 100\% \quad (8)$$

- 5) Poin selanjutnya yaitu menghitung nilai CSR dan selanjutnya menghitung nilai CRR dengan persamaan sebagai berikut.

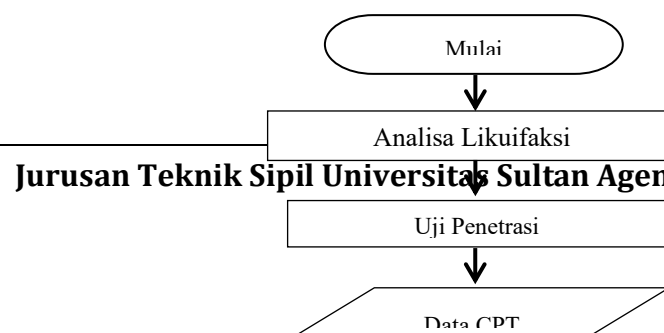
Jika nilai $(q_{c1N})_{cs} < 50$ maka nilai

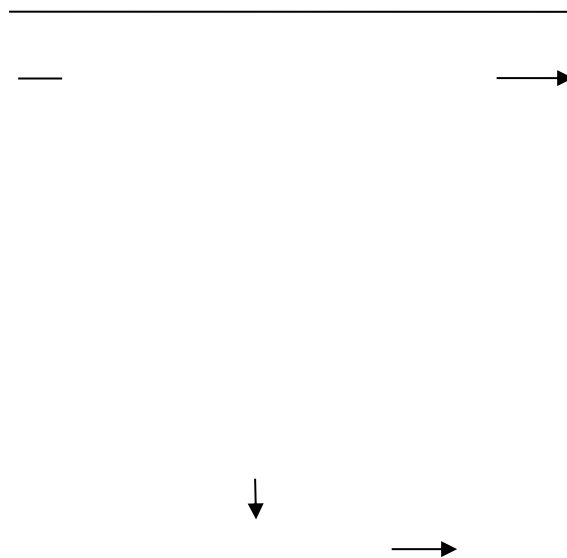
$$CRR = 0.833[(q_{c1N})_{cs} / 1.000] + 0.05 \quad (9)$$

Dan jika $50 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 160$ maka

$$CRR = 93[[(q_{c1N})_{cs} / 1.000]^3 + 0.08] \quad (10)$$

Secara ringkas metode CPT akan digambarkan oleh diagram alir sebagai berikut :





Gambar3. Diagram alirperhitungan Likuifaksi menggunakan data CPT

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Data uji sondir

Data pengujian sondir dilapangan berjumlah 29 titik dari *Sinter Plant & Coke Plant*

Area. Salah satu data investigasi yang ada, ditunjukkan pada tabel 1 berikut :

Tabel 1. Data CPT Proyek *Sinter Plan Area*

Titik	Kedalaman	q _c	R _f
69	1,00	15	9,95
	4,00	2	9,95
	7,00	5	11,95
	10,00	14	8,52
	13,00	330	0,55

Sumber : Surver for main facility design JV KS-Posco Project, Krakatau Engineering, 2011

Contoh perhitungan berikut adalah dari salah satu data titik sondir pada lapisan tanah atas kedalaman 20 cm dari permukaan tanah, dengan data dan ketentuan berikut :

a. Data

- Nomor Lapisan : 2
- Kedalaman lapisan: 20 cm
- GWL (Ground Water Level) : - 40 cm
- Berat Volume tanah (γ) : 0,00144 kg/cm³
- q_c : 3,98
- Percepatan gravitasi (g) : 980 cm/det²

b. Tegangan Total (σ_o)

$$\sigma_o = h \times \gamma = (20 \text{ cm}) (0,00144 \text{ kg/cm}^3) = 0.0288 \text{ kg/cm}^2$$

c. Tegangan Efektif (σ_o')

$$\sigma_o' = \sigma_o - u = (h \times \gamma) - (h_w \times \gamma_w) = (20 \times 0,00144) - (0 \times 0,000981) = 0.0288 \text{ kg/cm}^2$$

d. Mencari nilai I_c

$$I_c = [(3.47 - \log Q)^2 - (1.22 + \log F)^2]^{0.5}$$

$$Q = [(q_c - \sigma_o) / P_a] [(P_a / \sigma'_{vo})^n]$$

$$= [(q_c - \sigma_o) / P_a] [(P_a / \sigma'_{vo})]^{1.0} = [(q_c - \sigma_o) / \sigma'_{vo}]$$

$$= [(3,98 - 0.0288) / 0.0288] = 137,194$$

$$F = [f_s / (q_c - \sigma_o)] \times 100\% = [12,4 / (3,98 - 0.0288)] \times 100\% = 3.152$$

$$I_c = [(3.47 - \log Q)^2 - (1.22 + \log F)^2]^{0.5}$$

$$= [(3.47 - \log 137,194)^2 - (1.22 + \log 3.152)^2]^{0.5}$$

$$= 1.085 \quad \text{untuk } I_c \leq 1.64, K_c =$$

$$1.0$$

e. Normalisasi dari tahanan penetrasi konus

$$q_{c1N} = C_Q (q_c / P_a)$$

$$\blacksquare C_Q = (P_a / \sigma'_{vo})^n$$

$$\blacksquare C_Q = (1 / 0.0288)^1 = 34.722$$

$$C_Q q_{c1N} = C_Q (q_c / P_a) = 34.722 (3.98 / 1) = 138.194$$

f. $(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N}$

$$= 1 \times 138.194$$

$$= 138.194$$

g. $CRR = 93 [(q_{c1N})_{cs} / 1.000]^3 + 0.08$

$$= 93 (138.194 / 1000)^3 + 0.08$$

$$= 0.325$$

h. $CSR = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) r_d$

$$\blacksquare r_d = 1 - 0.00765z$$

$$r_d = 1 - 0.00765 \times 0.2$$

$$= 0.9985$$

$$= 0.65 \left(\frac{0.18}{0.981} \right) \left(\frac{0.0288}{0.0288} \right) 0.9985$$

$$= 0.1191$$

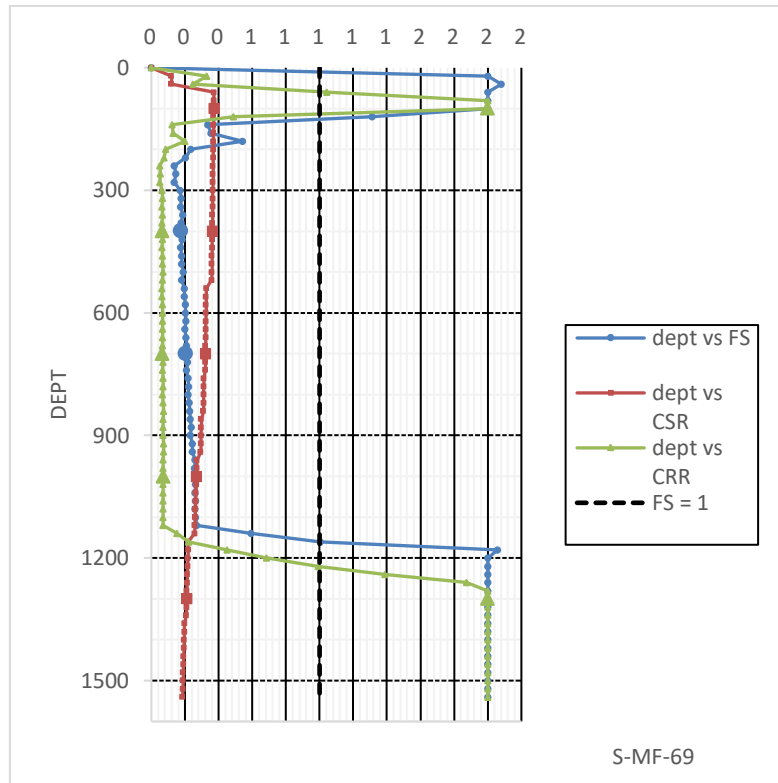
$$i. FS = \frac{CRR}{CSR} = \frac{0.325}{0.1191} = 2,772 > 1$$

(tidak terlikuifaksi)

Dari contoh perhitungan salah satu data sondir di atas, perhitungan data lainnya ditabelkan dan contoh tabel 2 seperti dibawah ini.

Tabel 2. Tabel Contoh Hasil Perhitungan Analisa Likuifaks

No.	Titik Lokasi	Kedalaman Potensi Likuifaksi (m)	CRR (Terkecil)	CSR (Terkecil)	FS	Keterangan
1	BH-MF-069	1,40 -11,40	0,050	0,119	0,136	Terlikuifaksi
2	BH-MF-070	0 -9,80	0,051	0,079	0,171	Terlikuifaksi
3	BH-MF-071	0,8-6,60	0,063	0,079	0,205	Terlikuifaksi
4	BH-MF-072	1,0-12,00	0,062	0,137	0,149	Terlikuifaksi
5	BH-MF-073	0,00-12,2	0,058	0,137	0,135	Terlikuifaksi
6	BH-MF-089	0,4-7,60	0,050	0,079	0,161	Terlikuifaksi
7	BH-MF-090	0-10,00	0,064	0,079	0,217	Terlikuifaksi
8	BH-MF-091	1,0-9,60	0,063	0,079	0,218	Terlikuifaksi
9	BH-MF-092	1,20-11,60	0,065	0,079	0,229	Terlikuifaksi
10	BH-MF-093	1,20-11,40	0,050	0,079	0,152	Terlikuifaksi
11	BH-MF-094	0,8-10,80	0,050	0,079	0,164	Terlikuifaksi
12	BH-MF-095	1,40-10,80	0,050	0,079	0,164	Terlikuifaksi
13	BH-MF-096	1,60-11,40	0,050	0,079	0,164	Terlikuifaksi
14	BH-MF-097	1,40-8,20	0,064	0,079	0,267	Terlikuifaksi
15	BH-MF-098	0,80-10,60	0,050	0,079	0,147	Terlikuifaksi
16	BH-MF-099	1,2	0,271	0,079	0,799	Terlikuifaksi
17	BH-MF-116	1,00-4,40	0,064	0,079	0,224	Terlikuifaksi
18	BH-MF-149	0,00-7,40	0,050	0,079	0,142	Terlikuifaksi
19	BH-MF-150	0,00-10,60	0,050	0,079	0,140	Terlikuifaksi
20	BH-MF-059	0,00-9,80	0,050	0,079	0,140	Terlikuifaksi
21	BH-MF-060	0,00-11,20	0,050	0,079	0,140	Terlikuifaksi
22	BH-MF-061	0,00-12,00	0,050	0,079	0,140	Terlikuifaksi
23	BH-MF-062	0,00-8,40	0,050	0,079	0,142	Terlikuifaksi
24	BH-MF-063	0,00-9,60	0,050	0,079	0,142	Terlikuifaksi
25	BH-MF-064	0,00-10,20	0,050	0,079	0,140	Terlikuifaksi
26	BH-MF-065	0,00-5,80	0,050	0,079	0,140	Terlikuifaksi
27	BH-MF-066	0,00-5,40	0,050	0,079	0,147	Terlikuifaksi
28	BH-MF-067	0,00-8,40	0,050	0,079	0,150	Terlikuifaksi
29	BH-MF-068	0,00-8,60	0,050	0,079	0,192	Terlikuifaksi



Gambar 4. Contoh Grafik CSR, CRR, FS vs Depth S-MF-069

Hasil analisa perhitungan yang dilakukan, menunjukkan daerah *Sinter Plant & Coke Plant Area* Cilegon memiliki nilai faktor keamanan yang sangat kecil ($<0,5$) pada kedalaman yang bervariasi, antara 0,4 sampai ± 11 meter kedalam tanah, dibanding faktor keamanan yang ditetapkan, yaitu $FS=1$.

Hal ini berarti bahwa titik-titik yang dianalisa mengalami likuifaksi. Perlawanan konus yang memiliki nilai lebih besar dari 100 kg/m^2 pada kedalaman ± 9 meter sampai dengan ± 11 meter, menghasilkan nilai CRR yang lebih besar dibanding nilai CSR kemudian dari nilai CRR dibandingkan CSR maka nilai dari faktor keamanannya menjadi aman ($FS \geq 1$).

Jika pada lapisan tanah tidak terindikasi terjadi likuifaksi, dan untuk mengkonfirmasi bahwa tanah adalah *nonliquefable* contoh tanah harus diambil dan diuji apakah jenis tanah yang baik atau tidak sebagaimana didefinisikan oleh Seed dan Idriss (1982), likuifaksi hanya terjadi jika kondisi berikut terpenuhi :

- Kandungan lempung lebih kecil 15% dari beratnya
- Batas cairnya kurang dari 35%

- Kandungan kelembaban naturalnya lebih besar dari 0.9 batas cairnya.

Untuk mengurangi dampak terjadinya likuifaksi yaitu menghindari konstruksi pada tanah rawan likuifaksi, dan meningkatkan tanah dengan meningkatkan kekuatan, kepadatan, atau darinase karakteristik dari tanah. Hal tersebut menggunakan berbagai teknik perbaikan tanah, seperti *vibroflotation*, *dynamic compaction*, *stone column*, drainase teknik, dan kolom-kapur.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil perhitungan yang dilakukan dari data uji sondir (CPT) dengan jumlah 29 titik dapat diambil kesimpulan mengenai analisis potensi likuifaksi pada *Sinter dan Coke Plant Area* Krakatau Posco Cilegon sebagai berikut :

1. Muka air tanah yang dangkal memperbesar potensi likuifaksi pada tanah.
2. Daerah penelitian memiliki potensi besar terhadap likuifaksi, hal ini ditunjukkan oleh nilai faktor keamanyang kecil dibandingkan nilai aman yang ditentukan.
3. Rata-rata faktor keamanan yang dihasilkan $0.140 - 0.996$, tanah mengalami likuifaksi pada kedalaman 0 meter samapi 12 meter.

4. Dari hasil perhitungan, daerah yang aman untuk peletakan pondasi diperkirakan pada nilai penetrasi konus lebih dari 190 kg/cm^2 , dengan potensi likuifaksi yang kecil.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2002). SNI 03-1726-2002 :Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung.
- Candigliota, Elena., Immordino, Francesco., Martini, Guido., Ceccaro, Carmela. (2012). *Sand liquefaction phenomena induced by the May 2012 Emilia Romagna Earthquake: geomorphological features and relations with the territory and building stability*.<http://www.enea.it/it/produzione-scientifica/EAI/anno-2012/n.-4-5-luglio-ottobre-parte-II/sand-liquefaction-phenomena-induced-by-the-may-2012-emilia-romagna-earthquake-geomorphological-features-and-relations-with-the-territory-and-building-stability>. Diakses 02 September 2013
- Ikhsan, Rifa. (2011). *Analisa Potensi Likuifaksi dari Data CPT dan SPT dengan Studi Kasus PLTU Ende Nusa Tenggara*. Depok : Universitas Indonesia
- Johansson, Jorgen. (2000). *The Soil Liquefaction*.<http://www.ce.washington.edu/~liquefaction/html/main.html>. Diakses 02 September 2013
- Kramer, L. Steven. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. New Jersey : University of Wahington
- Lastaruna, Dody. (2012). *Analisa Potensi Likuifaksi Berdasarkan Pengujian Sondir (Studi Kasus Gor Haji Agus Salim dan Lapai Padang*. Padang : Universitas Andalas
- Mabrur, Muhammad. (2009). *Analisa Potensi Likuifaksi pada Area Apron Bandar Udara Medan Baru*.Medan : Universitas Sumatera Utara
- M. Das, Braja. (1985). *Mekanika Tanah Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis Jilid 2*.Jakarta : Erlangga
- Robertson, P.K. and Wride, C.E. (1998).*Evaluating Cyclic Liquefaction Potential Using The Cone Penetration Test*. Edmonton : University of Alberta
- Rine Hartuti, Evi. (2009). *Buku Pintar Gempa*.Yogyakarta : Diva Press
- Santosa, Budi., Suprpto, Heri., H.S. Suryadi. (1998). *Dasar Mekanika Tanah*.Depok : Universitas Gunadarma
- Terzaghi, Karl., B. Peck, Ralph. (1987). *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa*.Jakarta : Erlangga
- Verhoef, P.N.M. (1994). *Geologi untuk Teknik Sipil*.Jakarta : Erlangga
- Youd, T.L., Idriss, I.M. (2001). *Liquefaction Resistance of Soils : Summary Report from The 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soil*