

**ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI AKIBAT GEMPA BUMI
MENGUNAKAN DATA CPT (*CONE PENETRATION TEST*) DI
KABUPATEN TULUNGAGUNG**
*(Liquefaction Potential Analysis of Earthquake Using The CPT (Cone Penetration Test)
in Tulungagung district)*

Firda Zettyara, Harimurti, Yulvi Zaika
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: firdazettyara@gmail.com

RINGKASAN

Gempa bumi dapat menyebabkan bencana alam yang terjadi di bawah permukaan tanah yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada struktur tanah. Resiko kegagalan pada struktur tanah memiliki dampak tanah tidak dapat mendukung atau menopang struktur bangunan di atasnya. Salah satu daerah yang rawan terkena bencana alam gempa bumi adalah Kabupaten Tulungagung yang terletak di Provinsi Jawa Timur. Hasil penelitian yang dilakukan nilai *Safety Factor* yang diperoleh dari perbandingan antara *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) terhadap *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dengan nilai CRR yang diperoleh berdasarkan data gempa 5,5 skala richter dan PGA 24,94 gal yang terjadi relatif besar dibandingkan dengan nilai CSR pada setiap kedalaman, sehingga tidak ada zona kedalaman tertentu yang menghasilkan angka keamanan lebih kecil dari satu. Perhitungan potensi likuifaksi di Kabupaten Tulungagung juga dilakukan dengan kemungkinan terjadi peristiwa gempa yang cukup besar dengan gempa rencana 7,1 skala richter akan menghasilkan PGA sebesar 91,145 gal saat kedalaman 10 km dan jarak episenter 162 km menghasilkan zona-zona likuifaksi pada kedalaman lapisan tanah yang bervariasi antara 2,4 meter hingga 16,4 meter. Analisis dilakukan juga dengan gempa rencana 6,4 dengan kondisi gempa dangkal menghasilkan zona likuifaksi pada kedalaman bervariasi antara 4,4 meter hingga 12,6 meter

Kata Kunci: *Peak Ground Acceleration* (PGA), Likuifaksi, CPT, CSR, CRR.

ABSTRACT

Earthquakes can cause natural disasters that occur below the surface of the soil which could lead to the occurrence of the damage to the structure of the soil. The risk of failure in the soil structure have an impact the land cannot support or prop up structures on it. One of the areas that were exposed to the danger of natural disasters of earthquakes was located Tulungagung district, East Java. The research results were values Safety Factor obtained from the comparison between Cyclic Resistance Ratio (CRR) of Cyclic Stress Ratio (CSR) with the CRR values were obtained based on the richter scale earthquake data 5.5 and PGA 24.94 gal that happens relatively large compared to the value of CSR at any depth, therefore there is no specific depth zones that produce safety factor smaller than one of security. Calculation of potential liquefaction in Tulungagung district also is carried out with the possibility of going on a big enough earthquake events with earthquake plan 7.1 richter scale will result in a PGA of 91.145 gal when the depth of 10 km and the distance of the epicenter of the 162 km produce zones of liquefaction soil layer at a depth that varies between 2.4 meters to 16.4 meters. the research on the analysis as well as with an earthquake plan 6.4 with the condition of shallow earthquake generating zones of liquefaction at a depth varying between 4.4 metres up to 12.6 metres.

Keywords: : *Peak Ground Acceleration* (PGA), liquefaction, CPT, CSR, CRR

PENDAHULUAN

Gempa bumi dapat menyebabkan bencana alam yang terjadi di bawah permukaan tanah yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada struktur tanah. Resiko kegagalan pada struktur tanah memiliki dampak tanah tidak dapat mendukung atau menopang struktur bangunan di atasnya.

Permasalahan kegagalan pada struktur tanah yang diakibatkan oleh gempa bumi yaitu likuifaksi. Likuifaksi adalah suatu kejadian di mana suatu massa mengalami kehilangan daya dukungnya pada jenis tanah yang non-kohefif (kepadatan sedang sampai lepas) saat kondisi tanah yang jenuh air, yang disebabkan oleh kenaikan nilai tegangan air pori pada saat mengalami beban siklik akibat gempa bumi, dimana tanah tersebut mengalami perubahan sifat dari *solid* ke *liquid*.

Likuifaksi memiliki potensi cukup besar yang menyebabkan keruntuhan bangunan sipil, oleh karena itu, para ahli mengembangkan beberapa metode dalam menganalisis potensi likuifaksi akibat beban gempa. Analisis likuifaksi yang digunakan dalam laporan skripsi ini menggunakan metode uji sondir di Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur.

TINJAUAN PUSTAKA

Percepatan Gempa

Percepatan tanah yang dipilih untuk dapat menentukan tingkat kerusakan yang paling parah di suatu wilayah akibat terjadinya gempabumi adalah percepatan tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA). Berikut ini adalah rumusan empiris yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Donovan (1973)

$$a_{\max} = \frac{1080 e^{0,5 M}}{(R+25)^{1,32}}$$

2. Mc. Guire (1963)

$$a_{\max} = \frac{472,3 \times 10^{0,278 M s}}{(R + 25)^{1,301}}$$

3. Matuscha (1980)

$$a_{\max} = 119 x e^{0,81 M} x (R+25)^{-1,15}$$

4. Liu and Dong (1996)

$$a_{\max} = (a \cdot e^{(b \times M)}) \cdot (E + 25)^{-c}$$

$$a = 2,154 \times 10^6 \times E^{-2,1}$$

$$b = 0,046 + 0,455 \text{ Log } E$$

$$c = 2,515 - 0,486 \text{ Log } E$$

Muka Air Tanah

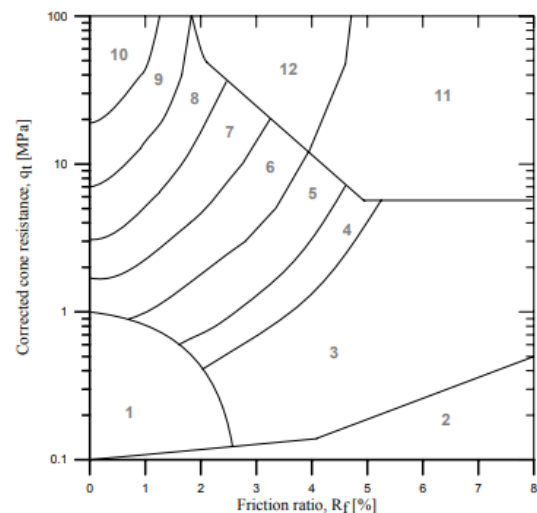
Identifikasi muka air tanah (M.A.T) dilaksanakan untuk memberikan perkiraan kedalaman lapisan tanah yang jenuh air karena perilaku likuifaksi potensial terjadi pada tanah yang jenuh air. Tanah dengan kondisi jenuh air memiliki daya dukung ntanah yang relatif rendah daripada tanah dengan kondisi tak jenuh air

Tegangan Vertikal Total

Tegangan vertikal total merupakan tegangan pada lapisan tanah yang diakibatkan oleh beban dari tanah yang ada di atasnya tanpa memperhitungkan tegangan air pori yang diakibatkan oleh air (u). Semakin jauh kedalaman tanah maka semakin besar tegangan vertikal totalnya. Tegangan vertikal total dapat dihitung dengan rumus:

$$\sigma_v = \Sigma (\gamma \cdot h)$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{G_s \gamma_w + e \gamma_w}{1 + e}$$



Gambar 1 Klasifikasi 12 Tanah Berdasarkan Nilai q_c dan *Friction Ratio*

Zone	Soil Behavior Type
1	Sensitive fine grained
2	Organic material
3	Clay
4	Silty Clay to clay
5	Clayey silt to silty clay
6	Sandy silt to clayey silt
7	Silty sand to sandy silt
8	Sand to silty sand
9	Sand
10	Gravelly sand to sand
11	Very stiff fine grained*
12	Sand to clayey sand*

Tabel 1 Klasifikasi Tanah

The Estimation of Unit Weight Based Soil Description	
Zone	Approximate of Unit Weight (kg/cm ³)
1	0,00175
2	0,00125
3	0,00175
4	0,00180
5	0,00180
6	0,00180
7	0,00185
8	0,00190
9	0,00195
10	0,00200
11	0,00250
12	0,00190

Tabel 2 Berat Volume Estimasi

Soil Type	Range of G _s
Sand	2.63–2.67
Silts	2.65–2.7
Clay and silty clay	2.67–2.9
Organic soil	less than 2

Tabel 3 Rentang Umum nilai G_s untuk Berbagai Jenis Tanah

Soil type	Void ratio, e		Dry unit weight, γ _d	
	Maximum	Minimum	Minimum (kN/m ³)	Maximum (kN/m ³)
Gravel	0.6	0.3	16	20
Coarse sand	0.75	0.35	15	19
Fine sand	0.85	0.4	14	19
Standard Ottawa sand	0.8	0.5	14	17
Gravelly sand	0.7	0.2	15	22
Silty sand	1	0.4	13	19
Silty sand and gravel	0.85	0.15	14	23

Tabel 4 Hasil Angka Pori dari Tipe Tanah Granular

Tegangan Vertikal Efektif

Tegangan vertikal Efektif merupakan tegangan pada lapisan tanah yang diakibatkan oleh beban dari tanah yang ada di atasnya dengan memperhitungkan tegangan air pori yang diakibatkan oleh air (u).

$$\sigma'_v = \sigma_v - u = (h \times \gamma) - (h_w \times \gamma_w)$$

Faktor Reduksi (r_d)

Koefisien tegangan reduksi (r_d) ditentukan berdasarkan kedalaman yang ditinjau (Liao and Whitemann, 1986) rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$r_d = 1.0 - 0.00765 \times z \text{ untuk } z < 9.15$$

$$r_d = 1.174 - 0.026 \times z \text{ untuk } 9.15 \text{ m} < z < 23 \text{ m}$$

$$r_d = 0.744 - 0.008 \times z \text{ untuk } 23 \text{ m} < z < 30 \text{ m}$$

$$r_d = 0.5 \text{ untuk } z > 30 \text{ m}$$

Cyclic Stress Ratio (CSR)

CSR merupakan nilai perbandingan antara tegangan geser rata-rata yang diakibatkan oleh gempa dengan tegangan vertikal efektif di tiap lapisan.

$$CSR = 0,65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) r_d$$

Cyclic Resistant Ratio (CRR)

Nilai Cyclic Resistance Ratio (CRR) merupakan nilai ketahanan suatu lapisan tanah terhadap tegangan cyclic. Nilai CRR dapat diperoleh dengan beberapa cara, diantaranya berdasarkan hasil pengujian lapangan yaitu hasil pengujian CPT. Berdasarkan teori Youd dan Idriss (1997) nilai tahanan ujung terkoreksi yang akan diformulasikan, menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$q_{c1N} = C_Q \times \left(\frac{qc}{Pa} \right)^n$$

$$C_Q = \left(\frac{Pa}{\sigma'_v} \right)^n$$

Perhitungan nilai ekuivalen normalisasi clean sand CPT (q_{c1N})_{cs} dihitung dengan persamaan berikut :

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c \cdot q_{c1N}$$

Untuk I_c < 1,64 maka :

$$K_c = 1,0$$

Untuk I_c > 1,64 maka :

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88$$

Dimana I_c pada persamaan diatas merupakan indeks perilaku tanah yang didefinisikan sebagai persamaan berikut :

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

Perhitungan nilai Q Untuk pasir murni (clean-sand), nilai eksponen pakai n=0,5 dan untuk tanah jenis lempung

menggunakan nilai eksponen pakai $n=1$. Setelah tanah yg diuji telah di klasifikasikan jenisnya maka dihitung dengan persamaan di bawah ini (Youd dan Idriss, 1997):

$$Q = \left[\frac{(q_c - \sigma_v)}{P_a} \right] \times \left[\left(\frac{P_a}{\sigma'_v} \right)^n \right]$$

Rasio friksi CPT (f_s) umumnya meningkat dengan meningkatnya *finer content* dan sifat plastisitas tanah, yang memungkinkan perkiraan kasar dari jenis tanah dan *finest content* dapat ditentukan dari data CPT (Robertson and Wride, 1997).

$$F = \left(\frac{f_s}{q_c - \sigma_v} \right) \times 100\%$$

untuk menentukan nilai CRR (*Cyclic Resistant Ratio*) berdasarkan Robertson dan Wride (1998) sebagai berikut :

Jika nilai $q_{c1N} < 50$,

$$CRR_{7,5} = 0,833 \times \left(\frac{q_{c1N}}{1000} \right) + 0,05$$

Jika nilai $50 < q_{c1N} < 160$

$$CRR_{7,5} = 93 \times \left(\frac{q_{c1N}}{1000} \right)^3 + 0,08$$

Magnitude Scaling Factor (MSF)

MSF adalah faktor pengali magnitudo gempa dalam skala momen agar setara dengan CRR untuk gempa $M_w = 7,5$. *Magnitude Scaling Factor* digunakan untuk menyesuaikan perhitungan CRR dengan gempa rencana yang ditentukan. Besarnya MSF yang diusulkan dalam Youd dan Idriss (2001) yaitu:

$$M_w < 7,5, \quad MSF = \frac{10^{2,24}}{M^{2,56}}$$

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

Tinjauan Potensi Likuifaksi

Terjadi Likuifaksi:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} < 1$$

Kondisi kritis:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} = 1$$

Tidak terjadi likuifaksi:

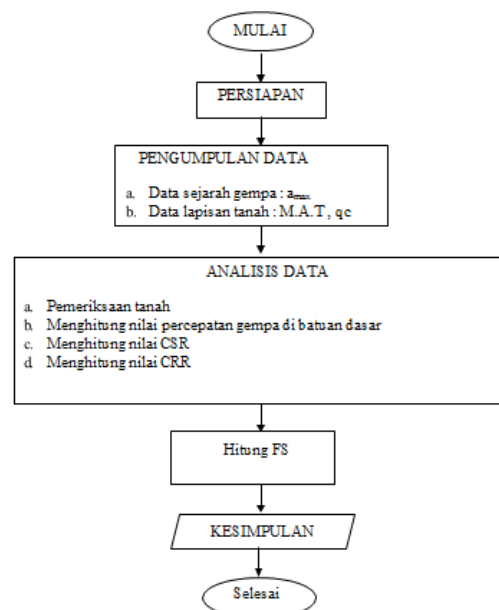
$$FS = \frac{CRR}{CSR} > 1$$

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini pengumpulan data dimulai dari data primer pokok yang dibutuhkan dalam analisis ini ada dua macam yaitu :

- Data sejarah gempa yang pernah terjadi di Kabupaten Tulungagung.
- Data lapisan tanah di Kabupaten Tulungagung.

Penelitian likuifaksi yang dilakukan di Kabupaten Tulungagung diawali dengan menghitung percepatan tanah di batuan dasar. Hal ini dapat dilakukan dengan menganalisis data gempa yang pernah terjadi di daerah Kabupaten Tulungagung.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

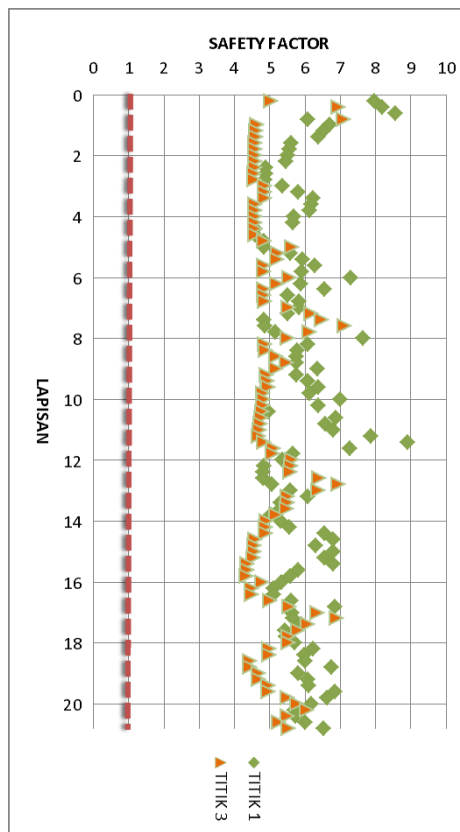
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari data gempa yang ada, percepatan gempa paling besar yang terjadi di kabupaten Tulungagung adalah 24,9 gal dengan magnitudo 5,5 pada kedalaman 10 km dan epicenter 162 km.

Data Gempa				
Magnitude (SR)	Depth (Km)	Epicenter (Km)	R (km)	PGA (gal)
5	17	140	141,0	19,1
3,5	10	116	116,4	6,8
4,6	45	77	89,1	21,2
4,9	126	126	178,1	13,9
4,8	45	89	99,7	22,5
5,5	10	162	162,3	24,9

Tabel 5 Nilai PGA dengan Rumus Matucha

Untuk analisis likuifaksi, tidak semua titik bor dianalisis. Di dalam penelitian ini diambil 2 (dua) titik bor saja yaitu satu dilokasi titik 1 dan satu lainnya di lokasi titik 3.



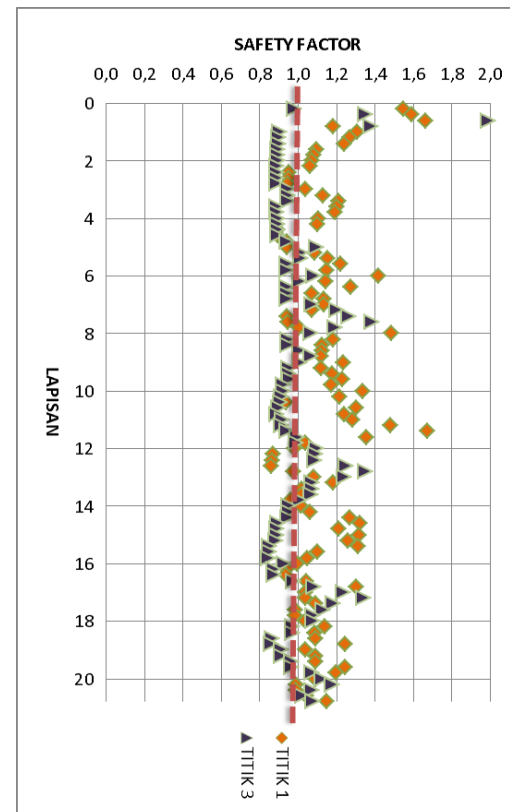
Gambar 3 Nilai Safety Factor untuk Titik 1 dan Titik 3 tidak berpotensi likuifaksi

Penelitian ini juga membuat analisis perhitungan kembali terhadap potensi likuifaksi di Kabupaten Tulungagung akibat pengaruh dari magnitudo gempa yang dapat menghasilkan zona likuifaksi.

Data Gempa				
Magnitude (SR)	Depth (Km)	Epicenter (Km)	R (km)	PGA (gal)
7,1	10	162	162,308	91,145

Tabel 6 Nilai PGA dengan Magnitude yang telah di tingkatkan.

Jika di Kabupaten Tulungung terjadi gempa yang cukup besar dengan magnitudo 7,1 menghasilkan Peak Ground Acceleration 91,145 gal dengan jarak episenter termasuk gempang menengah, akan menimbulkan terjadinya likuifaksi pada zona-zona kedalaman tertentu.

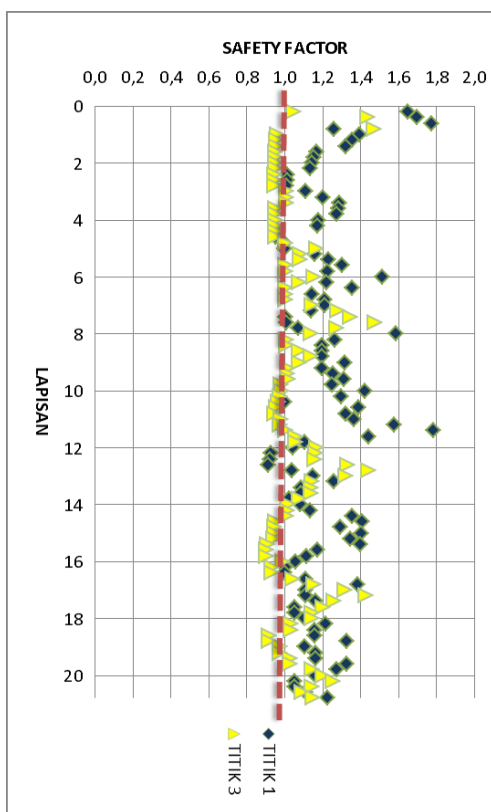


Gambar 4 Nilai Safety Factor untuk Titik 1 dan Titik 3 berpotensi likuifaksi

Data Gempa				
Magnitude	Depth	Epicenter	R	PGA
(SR)	(Km)	(Km)	(km)	(gal)
6,4	45	70	83,2	97,161

Tabel 7 Nilai *PGA* dengan Kedalaman dan Epicenter yang diubah

Jika di Kabupaten Tulungung terjadi gempa dengan magnitudo 6,4 skala ritcher menghasilkan *Peak Ground Acceleration* 97,161 gal dengan jarak episenter termasuk gempang dangkal, akan menimbulkan terjadinya likuifaksi pada zona-zona kedalaman tertentu.



Gambar 5 Nilai *Safety Factor* untuk Titik 1 dan Titik 3 berpotensi likuifaksi

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal mengenai potensi likuifaksi akibat gempa bumi yang terjadi di Kabupaten Tulungagung sebagai berikut :

1. Berdasarkan data gempa bumi yang pernah terjadi di Kabupaten Tulungagung, magnitudo gempa yang terjadi dari tahun 2013 hingga

tahun 2017 memiliki magnitudo dengan skala terbesar yaitu 5,5 skala *richter* akibat gempa tektonik.

2. Berdasarkan data peristiwa gempa yang telah terjadi di Kabupaten Tulungagung dan CPT, nilai CSR relatif kecil berkisar antara 0,022 sampai dengan 0,0259 pada titik 1. Nilai tersebut sangat kecil jika dibandingkan dengan harga CRR yang berkisar antara 0,052 sampai dengan 0,093 dan menghasilkan nilai FS berkisar antara 4,57 sampai dengan 8,54. Sehingga zona likuifaksi tidak terjadi pada semua kedalaman.
3. Dari hasil analisis perhitungan potensi likuifaksi di Kabupaten Tulungagung yang dihitung kembali, lapisan tanah menghasilkan potensi terjadi likuifaksi ($FS < 1$) pada kondisi magnitudo gempa bumi di tingkatkan dari 5,5 SR, kedalam 10 km dan jarak episenter 162 km menjadi 7,1 SR dengan kedalaman dan jarak episenter yang sama dan magnitudo 6,4 SR dengan kedalaman 45 km dan jarak episenter 70 km .

Saran yang bisa diberikan sebagai berikut:

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, disarankan beberapa hal berikut:

1. Hasil perhitungan analisis potensi likuifaksi dengan data CPT yang diperoleh sebaiknya dibandingkan dengan metode perhitungan lainnya, seperti perhitungan menggunakan data pengujian laboratorium atau pengujian penetrasi standar (SPT).
2. Diharapkan dengan hasil perhitungan analisis potensi likuifaksi di Kabupaten Tulungagung dengan magnitudo gempa bumi rencana yang ditingkatkan hingga 7 SR, dapat membantu perencanaan pembangunan infrastruktur yang akan dilakukan pada daerah Kabupaten Tulungagung

DAFTAR PUSTAKA

- Engineering, ASCE, 97(9), pp.1249-1273.
- [1] Febi, Dwi, dkk. 2004. *Analisis Potensi Soil Liquefaction Di Daerah Pesisir Kota Pacitan Berdasarkan Data CPT*. Institut Teknik Surabaya.
- [2] Lastaruna, Dody. 2009. *Analisa Potensi Likuifaksi berdasarkan Data Pengujian Sondir (studi Kasus GOR Haji Agus Salim dan Lapai, Padang)*. Jurnal Rekayasa Sipil Vol. 5.
- [3] Lunne, T., Robertson, P.K. and Powell, J.J.M., 1997. *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*. EF Spon/Blackie Academic, Routledge Publishers, London, 312 p.
- [4] Robertson, P.K., 1990. *Soil classification using the cone penetration test*. Canadian Geotechnical J. 27(1), 151–58.
- [5] Robertson, P. K., and Wride, C. E., 1997. *Cyclic liquefaction and its evaluation based on SPT and CPT*. in Proceedings, NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils.
- [6] Robertson, P.K. and Wride, C.E., 1998. *Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test*. Canadian Geotechnical Journal, 35:442-459
- [7] Romadiana, Dwi. 2018. *Analisis Nilai Percepatan Tanah Maksimum di Wilayah Sumatera Barat Menggunakan Persamaan Mc. Guire, Si and Midorikawa dan Donovan*. Pillar of Physics, Vol. 11, No 1
- [8] Seed, H.B., and Idriss, I.M., 1971. *Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential*. Journal of Geotechnical and Foundation Engineering, ASCE, 97(9), pp.1249-1273.
- [9] Youd, T.L. et.al., 2001. *Liquefaction Resistance of soils: Summary Report from The 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 127, No.8, August 2001, pp.817-833.