

**ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN
DATA CONE PENETRATION TEST DENGAN METODE SHIBATA
DAN TEPARAKSA (STUDI KASUS: SEKOLAH AL-AZHAR PEKANBARU)**

Fitri Herawati¹⁾, Muhamad Yusa²⁾, Agus Ika Putra²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas Km 12.5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : fitri.herawati5928@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Liquefaction is a condition where the ground loses the shear strength because increased pore water effect from cyclic loads (earthquake loads) very quickly and in a moment. The influence of soil characteristics, Cyclic Stress Ratio (CSR), Cyclic Resistance Ratio (CRR), Factor of Safety (FS), Liquefaction Potential Index (LPI), and settlement soil are crucial to determine the potential liquefaction. The liquefaction analysis using Cone Penetration Test (CPT) data has developed, namely from a mechanical sondir (CPTm) developed into an electrical sondir (CPTe). The calculation method used is the Shibata and Teparaksa Method (1988). The purpose of this research to compare the potential liquefaction based on the results of CPTm and CPTm which was converted to CPTe. This research data is secondary data for the results of CPTm testing taken from the results of soil testing at the time of the construction of the Al-Azhar Pekanbaru School Jl. Swakarya, Pekanbaru City. According to the analysis, it can be conclude a higher liquefaction potential is obtained when using CPTm data that has been converted (CPTe). As a results it shows that the Liquefaction Potential Index (LPI) calculated based on converted CPTm data (CPTe) is dominantly greater than the LPI value based on CPTm data with a LPI_m / LPI_e ratio < 1 .

Keywords: Keywords : Liquefaction, LPI, Shibata and Teparaksa (1988), Electrical Sondir, Mechanical Sondir.

A. PENDAHULUAN

Indonesia termasuk salah satu daerah rawan gempa bumi. Gempa bumi tektonik akibat patahan lempeng bumi, dapat merambatkan gelombang gempa kepermukaan bumi yang mengakibatkan terjadinya gaya geser searah bolak-balik atau dua arah (siklik dinamik) sehingga setiap lapisan tanah terjadi perubahan parameter (Ikhsan, 2011). Permasalahan yang ditimbulkan akibat gempa bumi bukan hanya berupa kegagalan struktur bangunan, namun akibat lain yang ditimbulkan dapat berupa kegagalan pada struktur tanah yang disebut dengan likuifaksi.

Likuifaksi terjadi ketika tanah non-kohesif yang jenuh air kehilangan kekuatan

dan kekakuannya pada saat mengalami guncangan atau pergerakan lempeng, misalnya gempa bumi atau perubahan ketegangan lain secara mendadak, sehingga tanah yang padat berubah wujud menjadi cairan. Proses pergerakan lempeng tektonik menyebabkan Pulau Sumatera cukup rawan terjadi gempa bumi, termasuk Provinsi Riau yang berada diantara Provinsi Sumatera Utara dan Sumatera Barat yang notabene merupakan daerah yang rawan gempa. Pertumbuhan Kota Pekanbaru yang semakin berkembang berbanding lurus dengan kegiatan konstruksi yang ada seperti pembangunan di bidang perekonomian, pemerintahan, pendidikan, sarana dan prasarana umum. Proyek pembangunan Sekolah Al-Azhar

merupakan merupakan contoh konstruksi yang dibangun di Kota Pekanbaru.

Melihat potensi kerugian yang ditimbulkan oleh likuifaksi sangat besar, para ahli telah mengembangkan beberapa metode untuk menganalisis potensi likuifaksi salah satunya yaitu uji sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT). CPT merupakan jenis pengujian yang banyak dipilih untuk daerah yang berkembang seperti daerah Pekanbaru karena pengujian ini memiliki kelebihan yaitu mudah dalam pelaksanaannya dan biaya operasional lebih ekonomis. Metode CPT juga memiliki kualitas data yang sangat baik (Youd & Idriss, 2001). Seiring perkembangan zaman, para ahli telah melakukan pengembangan terhadap pengujian CPT. Pengujian CPT yang biasa dilakukan disebut dengan CPT mekanik (CPTm) kini mengalami peningkatan menjadi CPT elektrik (CPTe) yang memiliki tingkat akurasi lebih tinggi.

Banyak metode yang dapat digunakan dalam menganalisis likuifaksi, salah satunya yaitu metode Shibata dan Teparaksa (1998). Nilai yang diperlukan untuk mengetahui tingkat likuifaksi yaitu dengan menghitung *Liquefaction Potential Index* (LPI). Nilai LPI bisa didapatkan dengan beberapa cara yaitu dengan menganalisis karakteristik butiran tanah, nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR), nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dan *Factor of Safety* (FS) terlebih dahulu. Analisis likuifaksi diperlukan sebelum perencanaan guna mengetahui suatu tanah tersebut rentan atau tidak terhadap likuifaksi.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Likuifaksi

Likuifaksi menurut (Sladen, 1985) diartikan sebagai fenomena dimana massa tanah hilang dalam persentase yang sangat besar pada tahanan gesernya akibat beban monotik, siklik, maupun beban kejutan dimana beban tersebut mengalir seperti sebuah cairan sehingga tegangan geser

partikel tersebut dan daya dukung gesernya berkurang.

B.2 Cone Penetration Test (CPT)

Cone Penetration Test (CPT) merupakan metode yang umum digunakan untuk menentukan sifat-sifat geoteknik tanah (*geotechnical properties*) dan menilai susunan lapisan batuan dengan lebih menghemat waktu dan biaya. Keuntungan utama dari CPT ialah data yang dihasilkan umumnya lebih konsisten dan memiliki *repeatability* yang baik sehingga data yang didapat relatif mendekati satu sama lain. Akan tetapi, sejak tahun 1932 metode CPT terus mengalami perkembangan dalam segi peralatan dan kriteria interpretasi. Dalam beberapa waktu terakhir CPT dapat diidentifikasi dalam dua jenis yaitu CPT mekanik (CPTm) dan CPT elektrik (CPTe).

B.3 Cone Penetration Test elektrik (CPTe)

CPT elektrik (CPTe) merupakan peningkatan yang signifikan dari CPT mekanik (CPTm) karena hasil yang didapat dari CPT elektrik lebih akurat dalam memperkirakan potensi likuifaksi. Metode berbasis CPT yang paling baru dalam estimasi likuifaksi mengacu pada data yang diperoleh dari *cone penetrometers* atau *piezocone* mengikuti Uji Referensi Internasional dan prosedur ASTM (ASTM D5778-12, 2012) (lihat *database* yang disusun oleh Moss 2003; Juang et al. 2006; Boulanger dan Idriss 2014) (Facciorusso, Madaia, & Vannucchi, 2017). Metode CPT elektrik mengikuti prosedur yang ditentukan oleh *American Society for Testing and Materials* (1986). Analisis likuifaksi dilakukan dengan beberapa metode diantaranya Robertson (1986), Robertson and Campanella (1985), Shibata and Teparaksa (1998), Robertson (1990), and Mitchell and Tseng (1990) (Kayen, Mitchell, Seed, & Lodge, 1992).

Metode berbasis CPT elektrik diterapkan pada data CPT mekanik tanpa bentuk koreksi yang mengarah pada perkiraan yang salah dari tahanan likuifaksi dan hasil secara signifikan tidak konservatif (Farrar, 1990). Adapun ketidakpastian yang mempengaruhi potensi

likuifaksi menggunakan metode yang disederhanakan terdiri dari tiga faktor yaitu, bahaya gempa, karakteristik tanah dan metode likuifaksi yang digunakan. Ketidakpastian karakteristik dari data CPT mekanik dapat dikoreksi dengan menggunakan Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Statistik Dasar dari Ratio Elektrik ke Mekanik Terhadap Parameter yang Dipilih

	q_{ce}/q_{cm}	F_{se}/f_{sm}	R_{fe}/R_{fm}	Q_{cne}/Q_{cnm}	F_e/F_m	I_{ce}/I_{cm}	q_{c1Ncse}/q_{c1Ncsm}
<i>Mean</i>	1,01	0,62	0,69	1,08	0,71	0,95	0,99 (0,92)
<i>Standard Deviation</i>	0,45	0,72	0,89	1,50	0,92	0,11	0,31 (0,14)
<i>Median</i>	0,93	0,51	0,56	0,92	0,56	0,96	0,93 (0,93)
<i>10th Percentile</i>	0,59	0,22	0,20	0,55	0,19	0,80	0,73 (0,74)
<i>90th Percentile</i>	1,50	1,03	1,21	1,63	1,25	1,08	1,31 (1,07)
<i>Skewness</i>	2,75	22,46	25,98	25,71	24,45	0,09	4,62 (0,13)

Sumber : (Facciorusso et al., 2017)

B.4 Parameter Likuifaksi

B.4.1 Cyclic Stress Ratio (CSR)

Cyclic Strtess Ratio (CSR) merupakan nilai perbandingan antara tegangan geser siklik yang terjadi akibat gempa dengan tegangan efektif di tiap lapisan. Shibata & Teparaksa (1988) menunjukkan bahwa nilai CSR dapat dinyatakan dalam Tokimatsu and Yoshimi (1983) dengan Rumus (1) sebagai berikut:

$$CSR = \frac{\tau}{\sigma'_v} = 0,1 (M - 1) \frac{\sigma'_v a_{max}}{\sigma'_v g} (1 - 0,015) \quad (1)$$

dengan:

σ_v = Tegangan total vertikal tanah (kN/m²)

σ'_v = Tegangan efektif vertikal tanah (kN/m²)

a_{max} = Percepatan horizontal maksimum tanah

g = Percepatan gravitasi

M = *Magnitude* gempa

B.4.2 Cyclic Resistance Ratio (CRR)

Cyclic Resistance Ratio (CRR) merupakan nilai yang mencerminkan kekuatan tanah terhadap beban siklik yang biasanya diakibatkan oleh gempa bumi atau dapat diartikan sebagai nilai ketahanan untuk menahan likuifaksi. Shibata & Teparaksa (1988) mengusulkan metode evaluasi potensi likuifaksi berdasarkan data sondir. Metode ini berlaku untuk pasir bersih ($D_{50} > 0,25$ mm) maupun untuk pasir kelanauan. Nilai CRR dapat dinyatakan dalam Rumus (2) sebagai berikut :

$$CRR = 0,1 + 0,2 \left\{ \frac{\left(\frac{q_{c1}}{C_2} - 50 \right)}{250 - \left(\frac{q_{c1}}{C_2} \right)} \right\} \quad (2)$$

dengan :

q_{c1} = Tahanan ujung yang telah dikoreksi terhadap tegangan efektif 1 kg/cm²

C_2 = Nilai C_2 diambil dari :

Jika $D_{50} > 0,25$, $C_2 = 1$ untuk pasir bersih, sedangkan jika $D_{50} < 0,25$, $C_2 = D_{50}/0,25$ untuk pasir halus. Adapun nilai D_{50} dapat dilihat dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Nilai D_{50} untuk Semua Jenis Tanah

D_{50} (mm)	Soil Texture Class
0,023	Clay
0,024	Silty Clay
0,066	Sandy Clay
0,025	Silty Clay Loam
0,018	Clay Loam
0,091	Sandy Clay Loam
0,019	Silt
0,027	Silt Loam
0,035	Loam
0,035	Very Fine Sandy Loam
0,08	fine Sandy Loam
0,098	Sandy Loam
0,16	Coarse Sandy Loam
0,09	Loamy Very Fine Sand
0,12	Loamy Fine Sand
0,135	Loamy Sand
0,18	Loamy Coarse Sand
0,14	Very Fine Sand
0,16	Fine Sand
0,17	Sand
0,2	Coarse Sand

Sumber : (Munoz & Parsons, 2000)

Nilai q_{c1} dapat dinyatakan dalam Rumus (3) sebagai berikut :

$$q_{c1} = C_1 \times q_c \quad (3)$$

dengan :

C_1 = Fungsi kedalaman dari σ' (kN/m^2)

q_c = Tahanan ujung (kN/m^2)

Nilai C_1 dapat dinyatakan dalam Rumus (4) sebagai berikut :

$$C_1 = \frac{1.7}{0.7 + \sigma'_v} \quad (4)$$

dengan :

σ'_v = Tegangan efektif vertikal tanah (kN/m^2)

B.4.3 Factor of Safety (FS)

Factor of Safety (FS) merupakan komponen terpenting dalam perhitungan untuk memprediksi terjadi atau tidaknya likuifaksi. Nilai faktor keamanan diperoleh

B.4.5 Penurunan Tanah

Penurunan permukaan tanah dapat dihitung dengan melakukan integral

dari hasil perbandingan CRR dan CSR. Perhitungan nilai *Factor of Safety* (FS) dapat dinyatakan dalam Rumus (5) sebagai berikut :

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (5)$$

dengan :

$FS > 1$ = Tidak terjadi likuifaksi

$FS = 1$ = Kondisi kritis terjadi likuifaksi

$FS < 1$ = Terjadi likuifaksi

B.4.4 Liquefaction Potential Index (LPI)

Liquefaction Potential Index (LPI) merupakan metode paling umum digunakan yang dikembangkan oleh (Iwasaki, Arakawa, & Tokida, 1984). LPI menggunakan nilai *Factor of Safety* (Fs) dan fungsi kedalaman tanah (Wz). Interpolasi dari analisis tersebut menghasilkan kontur batas-batas zona dengan potensi likuifaksi rendah (*low*), potensi likuifaksi tinggi (*high*) dan potensi likuifaksi sangat tinggi (*very high*).

Iwasaki et al.,(1984) menyatakan bahwa LPI untuk evaluasi potensi likuifaksi didefinisikan dalam Rumus (6) sebagai berikut :

$$LPI = \int_0^{20m} Fw(z)dz \quad (6)$$

dengan :

LPI = Nilai *Liquefaction Potential Index* (tanpa dimensi)

F = Potensi kejadian likuifaksi, ditentukan dengan persamaan,

$F = (1 - FS)$ untuk $FS < 1$

$F = 0$ untuk $FS > 1$

$w(z)$ = Faktor bobot kedalaman, dimana $w(z) = 10 - 0,5z$; dengan z adalah kedalaman ditinjau, maksimum 20 m.

$LPI = 0$ = Potensi likuifaksi sangat rendah

$0 < LPI < 5$ = Potensi likuifaksi rendah

$5 < LPI < 15$ = Potensi likuifaksi tinggi

$LPI > 15$ = Potensi likuifaksi sangat tinggi

regangan vertikal untuk setiap lapisan tanah pada seluruh kedalaman seperti

dituliskan dalam (Zhang et al., 2002b) dengan Rumus (7). Penentuan nilai *volumetric strain* (regangan seismik) dapat juga ditentukan dengan menggunakan nilai dari persamaan empirik yang telah ditabulasikan pada Tabel 3.

$$S = \int_0^z \varepsilon_v dz = \sum_{i=1}^j \varepsilon_{v,i} \Delta z_i \quad (7)$$

dengan :

$\varepsilon_{v,i}$ = Regangan volumetrik pasca likuifaksi pada lapisan tanah ke-*i*

Δz_i = Tebal lapisan tanah ke-*i*

Tabel 3. Persamaan Empirik Volumetric Strain

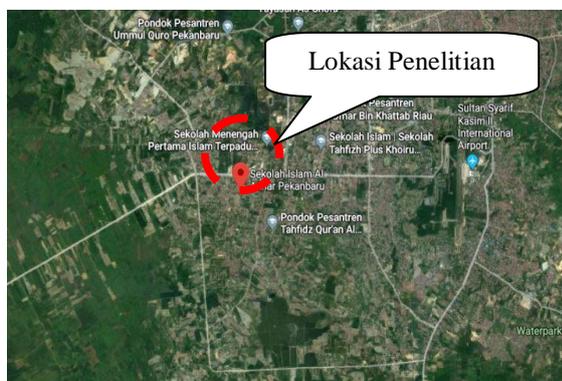
Faktor Aman (FS)	Nilai Tahanan Ujung Seismik $(q_{c1N})_{cs}$	Regangan Seismik (ε_v)
≤ 0.5	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$102 (q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$
0.6	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 147$	$102 (q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$
0.6	$147 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$2411 (q_{c1N})_{cs}^{-1.45}$
0.7	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 110$	$102 (q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$
0.7	$110 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$1701 (q_{c1N})_{cs}^{-1.42}$
0.8	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 80$	$102 (q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$
0.8	$80 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$1690 (q_{c1N})_{cs}^{-1.46}$
0.9	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 60$	$102 (q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$
0.9	$60 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$1430 (q_{c1N})_{cs}^{-1.48}$
1.0	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$64 (q_{c1N})_{cs}^{-0.93}$
1.1	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$11 (q_{c1N})_{cs}^{-0.65}$
1.2	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$9.7 (q_{c1N})_{cs}^{-0.71}$
1.3	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$7.6 (q_{c1N})_{cs}^{-0.71}$
2.0	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 20$	0

Sumber : (Zhang, et al)

C. METODELOGI PENELITIAN

C.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada Proyek Pembangunan Sekolah Al-Azhar Pekanbaru Jalan Swakarya, Kelurahan Tuah Karya, Kecamatan Tampan, Kota Pekanbaru. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian Sekolah Al-Azhar Pekanbaru

C.2 Metode Pengumpulan Data

Data yang diperlukan untuk menganalisis potensi likuifaksi yaitu sebagai berikut :

1. Data sejarah gempa berupa data sejarah gempa yang pernah terjadi dalam radius 500 km pada lokasi penelitian.
2. Data lapisan tanah yang didapat dari CPT yang pada penelitian ini diambil dari 1 titik pada lokasi penelitian di Sekolah Al-Azhar Pekanbaru.

C.3 Metode Pengambilan Data

Metode pengambilan data di Sekolah Al-Azhar Pekanbaru dilakukan dengan menggunakan uji CPT. Pada pengujian CPT diambil 1 (satu) titik untuk kemudian dilakukan analisis. Titik tersebut yaitu CPT-1 dengan kedalaman 8 m dan Muka Air Tanah (MAT) 4 m. Titik pada lokasi tersebut dianggap daerah yang paling kritis untuk berpotensi likuifaksi. Lapisan tanah secara keseluruhan pada lokasi penelitian didominasi oleh *sands* (*fine sand to dense*

sand) and sands mixtures (silty sand to sandy silt).

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) berdasarkan Data CPTm dan CPTe

Rentang nilai CSR yang didapat dari data CPT mekanik (CSRm) dibandingkan dengan CSR yang didapat dari data CPT mekanik yang telah dikonversi (CSRe) pada Sekolah Al-Azhar Pekanbaru menunjukkan bahwa nilai CSRm cenderung lebih kecil dibandingkan dengan CSRe. Rentang nilai perbandingan CSRm/CSRe untuk Titik 1 dapat dilihat seperti pada Tabel 4. Hasil yang didapat nilai rentang perbandingan untuk Mw yang berbeda adalah sama dan semakin dalam variasi Muka Air Tanah (MAT) maka nilai perbandingan CSRm/CSRe semakin mendekati 1.

Tabel 4. Perbandingan Nilai CSRm/CSRe di Sekolah Al-Azhar Pekanbaru

Data CPT	Depth (m)	MAT (m)	CSRm/CSRe	
			Mw = 5,4	Mw = 6,7
Titik 1	0 - 8	0	0,795 - 0,960	0,795 - 0,960
		2	0,975 - 1,000	0,975 - 1,000
		4	0,985 - 1,000	0,985 - 1,000

Sumber : Hasil Perhitungan

D.2 Nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) berdasarkan Data CPTm dan CPTe

Nilai CRR pada Sekolah Al-Azhar Pekanbaru yang dihitung menggunakan data CPT mekanik (CRRm) lebih besar dibandingkan dengan yang dihitung menggunakan data CPTm yang telah dikonversi (CRRc). Semakin besar nilai CRR yang didapat maka ketahanan tanah terhadap likuifaksi juga semakin kuat. Berdasarkan nilai perbandingan CRR yang didapat menggambarkan bahwa data CPTm lebih aman terhadap likuifaksi dibandingkan dengan data CPTm yang telah dikonversi (CPTe).

Nilai perbandingan CRRm/CRRc di Sekolah Al-Azhar Pekanbaru pada Titik 1 dapat dilihat dengan jelas pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Nilai CRRm/CRRc di Sekolah Al-Azhar Pekanbaru

Data CPT	Depth (m)	MAT (m)	CRRm/CRRc	
Titik 1	0 - 8	0	0,940	1,334
		2	0,870	6,072
		4	0,872	7,223

Sumber : Hasil Perhitungan

D.3 Nilai *Factor of Safety* (FS) berdasarkan Data CPTm dan CPTe

Semakin tinggi MAT maka mengindikasikan bahwa kedalaman lapisan tanah tersebut jenuh air yang diartikan sebagai kondisi tanah memiliki daya dukung relatif rendah. Daya dukung yang rendah tersebut ditandai dengan nilai *Factor Safety* (FS) yang relatif kecil. Selain itu, Momen magnitudo (Mw) juga berpengaruh terhadap potensi terjadinya likuifaksi atau tidak. Semakin besar nilai Mw akan menimbulkan terjadinya likuifaksi pada zona-zona kedalaman tertentu

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai FS yang dihitung menggunakan data CPT mekanik yang telah dikonversi (FSc) cenderung lebih berpotensi terjadi likuifaksi ($FS < 1$) dibandingkan dengan nilai FS yang dihitung menggunakan data CPTm (FSm). Hal itu dapat dilihat di dalam tabel perbandingan FSm terhadap FSc pada Sekolah Al-Azhar Pekanbaru di Titik 1 yang ditunjukkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Nilai FSm/FSc di Sekolah AL-Azhar Pekanbaru

Data CPT	Depth (m)	MAT (m)	FSm/FSc	
			Mw = 5,4	Mw = 6,7
Titik 1	0 - 8	0	0,982 - 1,396	0,982 - 1,396
		2	0,904 - 3,779	0,890 - 4,852
		4	0,929 - 3,779	0,929 - 4,579

Sumber : Hasil Perhitungan

D.4 Nilai *Liquefaction Potential Index* (LPI) berdasarkan Data CPTm dan CPTe

Perbedaan nilai LPI yang diperoleh menggunakan data CPT mekanik (LPI_m) dengan nilai LPI yang diperoleh menggunakan data CPT mekanik yang telah dikonversi (LPI_e) di lokasi penelitian cukup signifikan dan cenderung pada kategori potensi likuifaksi “Sangat Tinggi”. Nilai LPI_m/LPI_e yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai LPI berbanding lurus dengan magnitudo gempa dan MAT. Semakin kecil nilai FS yang diperoleh maka semakin besar pula nilai LPI yang didapat. Nilai LPI_e cenderung lebih besar dibandingkan dengan berdasarkan data CPTm. Hal itu dapat dilihat di dalam tabel perbandingan LPI_m terhadap LPI_e di titik 1 yang ditunjukkan dalam Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Perbandingan Nilai LPI_m/LPI_e di Sekolah AL-Azhar Pekanbaru Mw=5,4

Data CPT	MAT (m)	CPT Mekanik		CPT Elektrik		LPI _m /LPI _e
		LPI	Potensi Likuifaksi	LPI	Potensi Likuifaksi	
	0	43,86	Sangat Tinggi	44,97	Sangat Tinggi	0,975
Titik 1	2	24,37	Sangat Tinggi	28,83	Sangat Tinggi	0,845
	4	15,33	Sangat Tinggi	21,13	Sangat Tinggi	0,725

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 8. Perbandingan Nilai LPI_m/LPI_e di Sekolah AL-Azhar Pekanbaru Mw=6,7

Data CPT	MAT (m)	CPT Mekanik		CPT Elektrik		LPI _m /LPI _e
		LPI	Potensi Likuifaksi	LPI	Potensi Likuifaksi	
	0	50,13	Sangat Tinggi	50,98	Sangat Tinggi	0,983
Titik 1	2	34,13	Sangat Tinggi	38,48	Sangat Tinggi	0,887
	4	26,64	Sangat Tinggi	32,52	Sangat Tinggi	0,819

Sumber : Hasil Perhitungan

D.5 Nilai Penurunan Tanah berdasarkan Data CPTm dan CPTe

Nilai penurunan tanah meningkat seiring dengan bertambahnya nilai magnitudo gempa. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi nilai magnitudo gempa artinya semakin tinggi pula percepatan gempa di permukaan tanah, sehingga menimbulkan guncangan

yang semakin kuat dan menghasilkan penurunan permukaan tanah yang besar pula. Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin dekat elevasi MAT dengan permukaan tanah maka semakin besar nilai penurunan tanah yang didapat. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai penurunan tanah yang diperoleh dengan data CPT mekanik yang telah dikonversi (Se) lebih besar dibandingkan penurunan tanah yang diperoleh menggunakan data CPT mekanik (Sm). Selain itu, dapat disimpulkan juga bahwa data CPTm kurang disarankan jika digunakan langsung pada metode analisis likuifaksi berdasarkan data CPTe. Tanah yang dianalisis dengan menggunakan data CPTm digambarkan memiliki kekuatan tanah yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan data CPTe. Hasil analisis perbandingan Sm/Se dapat dilihat dalam Tabel 9 dan 10.

Tabel 9. Perbandingan Nilai Sm/Se di Sekolah AL-Azhar Pekanbaru Mw=5,4

Data CPT	Depth (m)	MAT (m)	Total Penurunan Tanah (cm)		Sm/Se
			CPTm	CPTe	
		0	7,5	7,6	0,981
Titik 1	0 - 8	2	3,8	4,3	0,873
		4	1,7	1,9	0,868

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 10. Perbandingan Nilai Sm/Se di Sekolah AL-Azhar Pekanbaru Mw=6,7

Data CPT	Depth (m)	MAT (m)	Total Penurunan Tanah (cm)		Sm/Se
			CPTm	CPTe	
		0	7,9	7,9	1,000
Titik 1	0 - 8	2	5,3	5,8	0,926
		4	2,5	2,8	0,881

Sumber : Hasil Perhitungan

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1. Kesimpulan

Hasil analisis berdasarkan data CPT di Sekolah Al-Azhar memperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Klasifikasi karakteristik butiran tanah yang diperoleh pada lokasi penelitian

menunjukkan bahwa tanah rentan terhadap likuifaksi.

2. Nilai FSe cenderung lebih berpotensi terjadi likuifaksi dibandingkan dengan nilai FSm. Perbandingan rata-rata nilai FSm/FSe yang diperoleh pada Sekolah Al-Azhar Pekanbaru sebesar 0,880-4,084.
3. Nilai LPI pada variasi magnitudo gempa 5,4 dan 6,7 memiliki potensi likuifaksi “sangat tinggi”.
4. Nilai penurunan tanah yang terbesar diperoleh berdasarkan data CPT mekanik yang dikonversi (Se) pada MAT 0 dan magnitudo gempa 6,7 Mw sebesar 7,9 cm.

E.2. Saran

Adapun saran dari penelitian ini adalah

1. Sebaiknya dalam perencanaan lebih mempertimbangkan potensi likuifaksi dengan cara menganalisis perhitungan likuifaksi terlebih dahulu, maka dapat diketahui klasifikasi jenis tanah bergradasi baik atau buruk. Jika diketahui jenis tanah dengan gradasi buruk maka diperlukan perbaikan tanah dapat dilakukan dengan teknik pemadatan, *injection grouting* dan sebagainya.
2. Penelitian lebih lanjut disarankan untuk menggunakan data CPT elektrik (yang bukan dikonversi) melainkan data asli yang diperoleh dari lapangan dikarenakan beberapa metode tertentu menggunakan data CPT elektrik dalam menganalisis likuifaksi untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

F. DAFTAR PUSTAKA

Ikhsan, R. (2011). Analisis Potensi Likuifaksi dari Data CPT dan SPT dengan Studi Kasus PLTU Ende Nusa Tenggara Timur. Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

Youd, T. ., & Idriss, I. . (2001). Liquefaction Resistance Of Soils: Summary Report From The 1996

NCEER And 1998 NCEER/NSF Workshops On Evaluation Of Liquefaction Resistance Of Soils, 127.

Shibata, T., & Teparaksa, W. (1988). *Evaluation Of liquefaction of Soils Using Cone Penetration Test*, 28((2)), 49–60.

Sladen, J. A. et al. (1985). *Back Analysis of The Nerlerk Berm Liquefaction Slides. Canadian Geotechnical Journal*, 22,4, 579–558.

ASTM D5778-12. (2012). *Standard Test Method for Electronic Friction Cone and Piecozone Penetration Testing of Soils*. West Conshohocken.

Facciorusso, J., Madiari, C., & Vannucchi, G. (2017). *Corrections To Mechanical CPT Results For Use In Liquefaction Evaluation. Bulletin of Earthquake Engineering*, 15(9), 3505–3528.
<https://doi.org/10.1007/s10518-017-0093-y>

Farrar, J. (1990). *Study of in Situ Testing for Evaluation of Liquefaction Resistance. Report N. R-90-60, Denver,CO: U.S. Bureau of Reclamation, Geotechnical Service Branch, Denver Office.*

Tokimatsu, K., & Yoshimi, Y. (1983). *Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT N-Value and Fines Content.*

Iwasaki, T., Arakawa, T., & Tokida, K.-I. (1984). *Simplified Procedures For Assessing Soil Liquefaction During Earthquakes.* Southampton: International Journal of Soil Dynamics and Earthquake.

Zhang, G., Robertson, P. K., & Brachman, R. W. I. (2002b). *Estimating liquefaction Induced ground settlements from CPT for level ground*, 1180, 1168–1180.
<https://doi.org/10.1139/T02-047>