



Evaluasi Metode Analisis Likuifaksi Berdasarkan *Cone Penetration Test* (Cpt) Studi Kasus Kota Padang

Muhammad Riyan Sabri^{a,*}, Muhamad Yusa^a, Gunawan Wibisono^a, Eko Soebowo^a

^aTeknik Sipil, Universitas Riau, Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Pekanbaru 28293 – Indonesia

INFO ARTIKEL

Tersedia Online : Desember 2022

ABSTRAK

Likuifaksi merupakan fenomena alam yang terjadi akibat tanah jenuh atau agak jenuh kehilangan kekuatannya yang disebabkan oleh gempa bumi atau perubahan tegangan secara mendadak, sehingga tanah yang padat berubah wujud menjadi cair. Padang merupakan daerah yang rawan terjadi likuifaksi karena letaknya dekat dengan pesisir pantai dan secara geologi tanah padang merupakan tanah aluvial (Iqbal dkk, 2014). Salah satu gempa besar yang terjadi di padang yaitu gempa 2009 dengan kekuatan 7,9 SR yang banyak mengakibatkan kerusakan pada struktur tanah baik itu *soil settlement*, *sand boil*, *lateral spreading*, dan *loss of bearing strength*. Untuk itu penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi potensi likuifaksi yang terjadi di kota padang dengan metode boulangier dan idriss, Olsen, dan Shibata & Teparaksa yang akan dibandingkan dengan kenyataan di lapangan dengan studi kasus 37 titik data CPT yang tersebar di kota padang. Dari analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa ketiga metode memiliki banyak kesesuaian pada kondisi setelah gempa dengan metode yang paling akurat adalah metode olsen. Jika dilihat dari nilai LPI mayoritas kota Padang berada pada $LPI > 15$ atau potensi likuifaksi $> 78\%$ menandakan bahwa Kota Padang memiliki potensi likuifaksi sangat tinggi.

Kata kunci: Potensi likuifaksi Padang; metode boulangier & idriss; Olsen; Shibata

E – MAIL

* m.riyansabri@gmail.com

ABSTRACT

Liquefaction is a natural phenomenon that occurs as a result of saturated or rather saturated soil loses its power caused by earthquakes or sudden changes in stress, so that dense soils become liquid. Padang is an area that is liable to liquefaction because it is located close to the coast and geologically Padang is an alluvial land (Iqbal dkk, 2014). One of the major earthquakes that occurred in Padang was the 2009 earthquake with a magnitude of 7.9 SR which caused a lot of damage to soil structures such as soil settlement, sand boil, lateral spreading, and loss of bearing strength. For this reason, this study aims to analyze and evaluate how much the potential liquefaction that occurs in the city of Padang with the method of boulangier and idriss, Olsen, and Shibata & Teparaksa which will be compared with the reality in the field with a case study of 37 CPT data points scattered in the city of Padang. From the analysis it can be concluded that the three methods have a lot of suitability in post earthquake condition with the most accurate method is the olsen method. When viewed from the LPI value, the majority of Padang city is at $LPI > 15$ or liquefaction potential $> 78\%$ indicating that Padang City has a very high liquefaction potential..

Keywords: *Potential of liquefaction in Padang; boulanger & idriss method; Olsen; Shibata*

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan daerah yang rawan terjadi gempa sejak dulu kala. Hal ini terjadi karena aktifitas gunung berapi atau pergerakan lempengan bumi. Indonesia terletak di simpang pertemuan tiga lempeng aktif yaitu, Indo Australia di selatan, Eurasia di utara dan Pasifik di timur yang menghasilkan lebih dari 290 sesar aktif dan belasan zona subduksi. Hal ini memunculkan jalur gempa dan rangkaian gunung aktif di seluruh Indonesia. Kota Padang merupakan wilayah Sumatera barat rawan gempa bumi yang lokasinya berada di antara pertemuan dua lempeng benua besar yaitu lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia dan patahan (sesar) semangko. Di sekitar pertemuan lempeng tersebut terdapat patahan Mentawai yang ketiganya merupakan seismic aktif yang apabila bergerak dapat berdampak tsunami di laut dan likuifaksi di daratan yang nantinya dapat merusak bangunan-bangunan sekitarnya. Likuifaksi adalah fenomena pada masa tanah yang kehilangan sebagian besar tahanan gesernya ketika mengalami pembebanan monotonik, siklik, mendadak dan mengalir menjadi cair sehingga tegangan geser pada masa tanah menjadi rendah seperti halnya tahanan gesernya [1].

Gempa besar yang pernah dialami Kota Padang yaitu pada tahun 2009 dengan kekuatan 7,9 skala richter di lepas pantai Sumatera Barat sekitar 50 km barat laut Kota Padang dengan percepatan gempa di permukaan 0,28g. Gempa ini menyebabkan banyak kematian, kerusakan bangunan, dan likuifaksi akibat besarnya tegangan siklik yang dihasilkan gempa tersebut.

Untuk menganalisis potensi likuifaksi suatu wilayah pada umumnya menggunakan data *standard penetration test* (SPT) dan *cone penetration test* (CPT). Metode dengan SPT harus mengeluarkan biaya yang tidak sedikit dan waktu yang relatif lama tidak seperti CPT yang semakin populer dengan biaya yang lebih terjangkau, mudah dalam pengangkutan dan pelaksanaan,

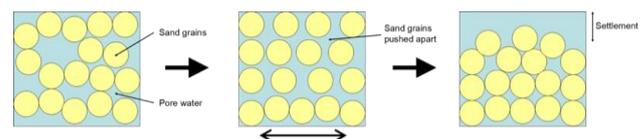
dapat ditafsirkan dalam empiris serta sebagai dasar analisis dalam menentukan potensi likuifaksi.

Penelitian ini menggunakan 37 data CPT yang tersebar di Kota Padang yang penulis dapatkan dari data-data penelitian terdahulu dan data dari LIPI ditambah dengan data topografi Kota Padang. Dengan data tersebut penulis dapat menganalisis potensi likuifaksi baik secara kualitatif maupun kuantitatif dengan metode Boulanger dan Idris, Olsen, dan Shibata dan Teparaksa untuk menghitung potensi likuifaksi, *settlement*, LPI, dan *probability*.

II. MATERIAL

2.1 Likuifaksi

Likuifaksi adalah fenomena yang terjadi ketika tanah jenuh atau agak jenuh kehilangan kekuatan atau kekakuan akibat adanya tegangan seperti gempa bumi atau perubahan ketegangan secara mendadak, sehingga tanah yang padat berubah wujud menjadi cairan. Sebelum terjadinya gempa, struktur tanah masih stabil dikarenakan adanya kontak antar butiran-butiran tanah. Selama gempa terjadi tekanan air pori meningkat secara mendadak yang mengakibatkan kontak antar butiran berkurang secara signifikan sehingga tanah seperti menjadi cair. Hal ini menyebabkan berkurangnya volume air pori pada tanah sehingga tanah menjadi lebih padat dan terjadi penurunan [2]. Hal ini dapat diilustrasikan sebagai berikut.



Gambar 1. Mekanisme Likuifaksi (a) sebelum (b) selama gempa (c) setelah gempa [2]

Tanah yang rentan kehilangan kepadatannya seperti tanah berpasir, lanau yang pada umumnya banyak terdapat di sungai, delta atau pesisir pantai. Likuifaksi gampang terjadi pada tanah yang muka air tanahnya dangkal. Dengan muka air tanah

yang dangkal, tanah akan mudah jenuh dan kehilangan kekuatan antar partikelnya. Berdasarkan topografi dan geografinya kemungkinan terjadinya likuifaksi pada suatu kawasan dapat diklasifikasikan sebagai berikut : Large (L), Medium (M), dan Small (S) [3], sebagaimana digambarkan sebagai berikut



Gambar 2. Probabilitas terjadinya likuifaksi berdasarkan topografi dan geografi [3]

Untuk menghitung besarnya potensi likuifaksi pada kota Padang selain metode kualitatif di atas, dapat juga dengan menggunakan menggunakan (2) metode kuantitatif baik dari data CPT maupun SPT. Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi likuifaksi dengan menggunakan data CPT adalah :

- Tegangan Vertikal Total (σ_v)
- Tegangan Vertikal Efektive (σ'_v)
- Faktor reduksi (rd)
- Indeks jenis tanah (I_c)
- Berat isi (γ)
- Magnitude gempa (M)
- Percepatan gempa permukaan (a_{max})
- Ukuran butiran tanah (D50)
- Fine content (%)
- Friction ratio (Fr)
- Kerapatan relatif (Dr)

2.2 Metode Kualitatif

Pendekatan metode ini pada umumnya berlaku untuk skala kecil atau formasi batuan. Hasil metode ini adalah gambaran secara umum tentang kecenderungan potensi likuifaksi yang dianalisis berdasarkan data morfologi atau topografi maupun data geologi. Menurut [4], dalam potensi likuifaksi secara kualitatif dipengaruhi oleh empat faktor antara lain :

- Ketebalan tanah pasiran kurang dari 12 m di bawah permukaan tanah

- Umur formasi batuan
- Kedalaman muka air tanah
- Estimasikan batas kritis percepatan gempa pemicu likuifaksi jika terdapat data bor.

Berdasarkan data Geografi dan Topografi, kota Padang banyak mengandung jenis tanah aluvium (Qa) dengan umur formasi batuan holosen awal-akhir dengan tingkat potensi likuifaksi tinggi - sangat tinggi.

2.3 Metode Kuantitatif

Untuk menganalisis potensi likuifaksi pada suatu titik tertentu khususnya pada penelitian ini menggunakan data CPT (*cone penetration test*) sebagai data utama dalam menganalisis likuifaksi. Adapun metode yang digunakan adalah :

- Metode Boulanger & Idriss

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

- Metode Olsen

$$CRR = CRR_1 \times MSF \times K_\sigma \times K_\alpha$$

- Metode Shibata & Teparaksa

$$(q_{c1})_{cr} = f(\tau/\sigma'_o)$$

$$CRR = \left(\frac{\tau}{\sigma'_o}\right)_{cr} = 0,1 + 0,2 \left\{ \frac{(q_{c1}/c_2) - 50}{250 - (q_{c1}/c_2)} \right\} \quad (3)$$

Ketiga metode di atas digunakan untuk mencari nilai angka keamanan (*safety factor*) setiap titik yang ditinjau. *Safety factor* atau faktor keamanan diperoleh dari hasil perbandingan CRR(*Cyclic resistance ratio*) dan CSR(*Cyclic shear ratio*). CSR didapat dengan menggunakan persamaan :

$$CSR_{M,\sigma'_v} = 0.65 \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \frac{a_{max}}{g} r_d \quad (4)$$

Perhitungan nilai *safety factor* dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

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

dengan :

- SF > 1 = Tidak terjadi likuifaksi
- SF = 1 = Kondisi kritis terjadi likuifaksi
- SF < 1 = Terjadi likuifaksi

2.4 Settlement

Likuifaksi dapat menyebabkan masalah serius terutama penurunan tanah yang terjadi karena

No	LPI	Potensi Likuifaksi
1.	LPI = 0	Sangat Rendah
2.	0 < LPI ≤ 5	Rendah
3.	5 < LPI ≤ 15	Tinggi
4.	LPI > 15	Sangat Tinggi

regangan yang relatif kecil (*small strain*) setelah likuifaksi (*post liquefaction*). Ishihara dan Yoshimine (1992) merumuskan suatu hubungan antara regangan volumetrik (ϵ_v), kerapatan relative (D_r), dan faktor keamanan terhadap likuifaksi (FS_L) berdasarkan uji laboratorium yang diujikan oleh Nagase dan Ishihara (1988). Nilai regangan volumetric tersebut sebagai akibat dari disipasi tekanan air pori saat guncangan gempa akan digunakan untuk perhitungan penurunan permukaan tanah. [5] mengganti kerapatan relatif dengan nilai tahanan ujung seismic (q_{c1N}). Penurunan permukaan tanah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$S = \sum_{i=1}^j \epsilon_{vi} \Delta z_i \tag{6}$$

Keterangan :

S = merupakan likuifaksi yang menyebabkan penurunan pada lokasi CPT

ϵ_{vi} = adalah regangan volumetric setelah lapisan tanah ke-i, sedangkan Δz_i adalah tebal lapisan ke-i, dan j merupakan jumlah lapisan tanah.

2.5 Indeks Potensi Likuifaksi dan Probabilitas

Indeks Potensi Likuifaksi atau *Liquefaction Potential Index* (LPI) adalah suatu indeks yang digunakan untuk estimasi potensi likuifaksi yang menyebabkan kerusakan pondasi. Indeks Potensi Likuifaksi (LPI) mengacu pada formula iwasaki [6] yang mengatakan bahwa likuifaksi akan terjadi hingga kedalaman 20 m di bawah permukaan tanah. Indeks potensi likuifaksi merupakan integrasi dari fungsi faktor keamanan dan kedalaman litologi yang terlikuifaksi.

$$LPI = \int_0^{20m} F \cdot w(z) dz \tag{7}$$

Jika faktor keamanan $F_L \leq 1$ maka $F = 1 - F_L$ dan jika $F_L > 1$ maka $F = 0$ dan $w(z) = 10 - 0.5z$ (z kedalaman dalam m)

Menurut [6], klasifikasi LPI terhadap resiko potensi likuifaksi adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Nilai LPI berdasarkan klasifikasi (iwasaki,1986)

Untuk menghitung probabilitasnya dapat menggunakan formula [3] sebagai berikut :

$$Prob(Liquefaction) = \left(\frac{1}{1 + e^{-(-3.092 + 0.218xLPI)}} \right) \tag{8}$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Berdasarkan Data Geologi & Topografi

Berdasarkan kondisi geologi dan topografi kota padang berada di daerah yang mayoritas mengandung jenis tanah aluvium (Qa) dan posisinya berada di daerah delta dengan formasi batuan holosen awal-akhir.

Tabel 2. Potensi Likuifaksi Setiap Titik Secara Kualitatif

Kode	Lokasi	Formasi Batuan	Umur Formasi	MAT	Potensi Likuifaksi
SD1	SMA2	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holosen awal-akhir	0.6	Tinggi-sangat tinggi
SD2	AlayPolri	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holosen awal-akhir	0.7	Tinggi-sangat tinggi
SD3	Simpangharu	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holosen awal-akhir	3.5	Tinggi-sangat tinggi
SD4	Kotobaru	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holosen awal-akhir	2.1	Tinggi-sangat tinggi
SD5	Bandarpuros	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holosen awal-akhir	1.8	Tinggi-sangat tinggi
SD6	Perum Belantiraya	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holosen awal-akhir	0.96	Tinggi-sangat tinggi
SD7	Ulakkarang	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holosen awal-akhir	0.87	Tinggi-sangat tinggi
SD8	Lapai	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holosen awal-akhir	1.2	Tinggi-sangat tinggi
SD9	Kuro,Seteba	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holosen awal-akhir	2.7	Tinggi-sangat tinggi
SD10	Tunggulhitam	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holosen awal-akhir	0.8	Tinggi-sangat tinggi
SD11	KpusUNP	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holosen awal-akhir	0.7	Tinggi-sangat tinggi
SD12	Dadok,Tghitam	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holosen awal-akhir	1.9	Tinggi-sangat tinggi
SD13	Pacuankuda	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holosen awal-akhir	1.8	Tinggi-sangat tinggi
SD14	BdaraTabing	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holosen awal-akhir	0.9	Tinggi-sangat tinggi
SD15	Perupukraya	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holosen awal-akhir	3.1	Tinggi-sangat tinggi
SD16	Rel,SMA3	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holosen awal-akhir	2.8	Tinggi-sangat tinggi
SD17	IAIN	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holosen awal-akhir	2	Tinggi-sangat tinggi
SD18	PerumAmpang	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holosen awal-akhir	1.3	Tinggi-sangat tinggi
SD19	TNITerendam	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holosen awal-akhir	3	Tinggi-sangat tinggi
SD20	HotelPadang	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holosen awal-akhir	2	Tinggi-sangat tinggi

SD21	SawahSHaru	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holoson awal-akhir	0.3	Tinggi-sangat tinggi
CPTu1	UNP	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holoson awal-akhir	1.1	Tinggi-sangat tinggi
CPTu2	PsirJambak	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holoson awal-akhir	1.3	Tinggi-sangat tinggi
CPTu3	KotoTengah	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holoson awal-akhir	1.9	Tinggi-sangat tinggi
CPTu4	BumiMinang	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holoson awal-akhir	0.1	Tinggi-sangat tinggi
CPTu5	Dahlan	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holoson awal-akhir	0.8	Tinggi-sangat tinggi
CPTu6	AirTawar	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holoson awal-akhir	0.7	Tinggi-sangat tinggi
CPTu7	Kurogadang	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holoson awal-akhir	1.2	Tinggi-sangat tinggi
CPTu8	KuroBarek	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holoson awal-akhir	0.9	Tinggi-sangat tinggi
CPT2	UNP gedung ICR	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holoson awal-akhir	1.54	Tinggi-sangat tinggi
CPT3	Gor haji Agus salim	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holoson awal-akhir	0.7	Tinggi-sangat tinggi
CPT4	RSUP M.Djamil	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holoson awal-akhir	2	Tinggi-sangat tinggi
CPT5	Gedung Telkomsel	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holoson awal-akhir	1.5	Tinggi-sangat tinggi
CPT6	Pasir Jambak Padang	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holoson awal-akhir	0.95	Tinggi-sangat tinggi
CPT7	G. Rokok Djarum	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holoson awal-akhir	2.5	Tinggi-sangat tinggi
CPT8	By Pass KM 12	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holoson awal-akhir	0.3	Tinggi-sangat tinggi
CPT9	U. Dharma Andalas	Aluvium & Endapan Pesisir (Qa)	Holoson awal-akhir	3.5	Tinggi-sangat tinggi

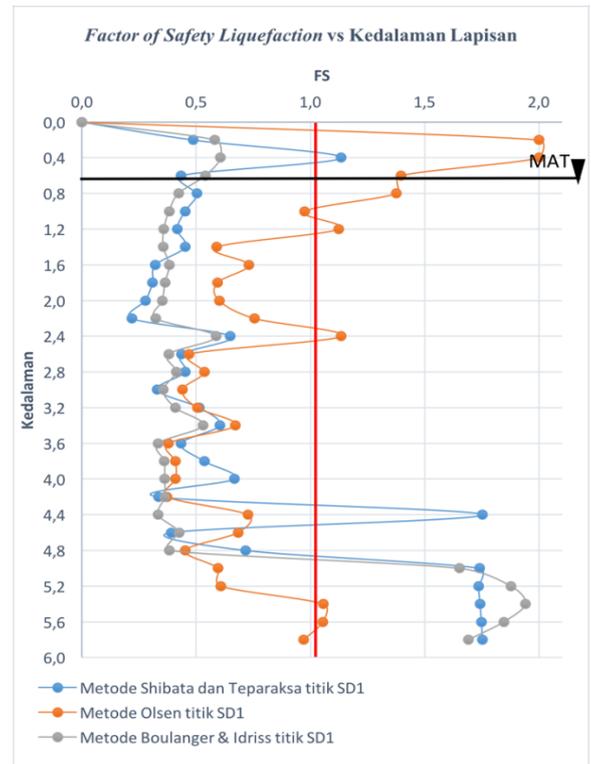
Dari tabel 2 dapat disimpulkan secara kualitatif kota Padang rata-rata daerahnya sangat berpotensi likuifaksi. Salah satu penyebabnya adalah, kondisi muka air tanah yang dangkal dan formasi batuan yang rata-rata merupakan jenis tanah aluvium dan endapan pasir.

3.2 Analisis Berdasarkan data CPT

Analisis berdasarkan CPT dipengaruhi beberapa faktor antara lain, tananan conus (q_c), berat isi (γ), tegangan efektif (σ'), magnitude gempa (M), percepatan gempa permukaan (a_{max}), ukuran butiran tanah (D_{50}), *fine content* (%), *friction ratio* (Fr), dan kerapatan relatif (Dr). Untuk menganalisis likuifaksi dengan CPT Dalam penelitian ini hanya menggunakan metode Boulanger & Idriss, Olsen, dan Shibata & Teparaksa.

3.2.1 Menghitung nilai FS (*safety factor*)

Untuk menghitung potensi likuifaksi, dibutuhkan nilai *safety factor* (SF) yang merupakan hasil perbandingan antara *cyclic resistance ratio* (CRR) terhadap *cyclic shear ratio* (CSR). Apabila nilai SF lebih kecil dari 1 maka terjadi likuifaksi, sedangkan SF lebih besar dari 1 maka tidak terjadi likuifaksi.



Gambar 3. Grafik *Factor of Safety* Titik SD 1

Gambar 3 di atas merupakan hasil nilai FS yang dihitung berdasarkan hasil nilai q_{c1Ncs} setiap penurunan 20 cm.

3.2.2 Mengitung Nilai Penurunan Tanah (*Settlement*)

Penurunan tanah dihitung berdasarkan hasil nilai q_{c1Ncs} dan FS titik tersebut memiliki daya dukung tanah q_c dan *local friction* yang paling jelek dibandingkan yang lain sehingga kemungkinan penurunan besar bisa terjadi beban siklik.

Tabel 3. Hasil Nilai Penurunan Tanah

Kode	Lokasi	MAT (m)	Settlement (cm)		
			S&T	Olsen	B&I
SD1	SMA2	0,6	14,36	9,66	11,67
SD2	AlayPolri	0,7	12,99	5,56	11,06
SD3	Simpangharu	3,5	0,50	0,00	2,24
SD4	Kotobaru	2,1	0,00	0,00	0,00
SD5	Bandarpuros	1,8	0,00	0,00	0,00
SD6	Perum Belantiraya	0,96	2,64	1,14	2,09
SD7	Ulakkarang	0,87	4,98	1,99	3,75
SD8	Lapai	1,2	2,72	1,25	2,50
SD9	Kuro,Seteba	2,7	0,00	0,00	0,00
SD10	Tungguhhitam	0,8	1,47	0,98	1,76
SD11	KpusUNP	0,7	0,00	0,00	0,22
SD12	Dadok,Tghitam	1,9	0,00	0,00	0,00
SD13	Pacuankuda	1,8	0,27	0,25	0,21
SD14	BdaraTabing	0,9	1,66	1,67	1,97
SD15	Perupukraya	3,1	0,17	0,47	0,69
SD16	Rel,SMA3	2,8	4,90	1,48	5,25
SD17	IAIN	2	0,0	0,00	0,00
SD18	PerumAmpang	1,3	5,33	1,71	4,40
SD19	TNITerendam	3	37,36	38,17	39,98
SD20	HotelPadang	2	0,87	1,12	1,15
SD21	SawahSHaru	0,3	2,22	0,37	1,68

Kode	Lokasi	MAT (m)	Settlement (cm)		
			S&T	Olsen	B&I
CPTu1	UNP	1,1	57,42	72,10	46,50
CPTu2	PsirJambak	1,3	68,94	73,80	58,21
CPTu3	KotoTengah	1,9	4,28	12,62	12,32
CPTu4	BumiMinang	0,1	13,79	4,72	8,26
CPTu5	Dahlan	0,8	56,43	43,85	39,83
CPTu6	AirTawar	0,7	55,74	66,63	49,62
CPTu7	Kurogadang	1,2	60,11	56,53	49,60
CPTu8	KuroBarek	0,9	109,45	79,96	58,44
CPT2	UNP gedung ICR	1,54	43,18	48,00	46,21
CPT3	Gor haji Agus salim	0,7	27,08	13,96	17,64
CPT4	RSUP M.Djamil	2	73,73	72,93	49,94
CPT5	Gedung Telkomsel Pasir Jambak	1,5	4,77	8,08	4,44
CPT6	Padang	0,95	5,05	4,13	5,89
CPT7	G. Rokok Djarum	2,5	0,09	0,20	0,18
CPT8	By Pass KM 12	0,3	23,70	13,20	18,72
CPT9	U. Dharma Andalas	3,5	38,11	41,29	31,96

Tabel 3 di atas merupakan hasil penurunan yang diakibatkan oleh beban siklik pada gempa 7,9 SR dengan percepatan puncak di permukaan tanah 2,8g. Dari hasil ketiga metode tersebut di atas bahwa penurunan yang paling tinggi terdapat pada titik CPTu8 (kuro barek) titik tersebut memiliki daya dukung tanah qc dan *local friction* yang paling jelek dibandingkan yang lain sehingga kemungkinan penurunan besar bisa terjadi.

3.2.3 *Liquefaction Potential Index (LPI)*

Analisis LPI dihitung untuk melihat seberapa besar kerentanan suatu wilayah terhadap likuifaksi. Nilai LPI dihitung berdasarkan nilai FS yang dihitung dalam perhitungan dengan metode

Boulanger & Idriss, Olsen, dan Shibata & Teparaksa dengan kedalaman yang ditinjau sampai 20 m.

Tabel 4. Hasil Nilai LPI Vs Kondisi Lapangan

Kode	Lokasi	LPI(%)			Gempa 2009
		S&T	Olsen	B&I	
SD1	SMA2	28,5 (96%)	14,1 (50%)	24,5 (91%)	G.S & S.B
SD2	AlayPolri	25,2 (92%)	6,4 (15%)	22,3 (85%)	G.S & S.B
SD3	Simpangharu	20,6 (80%)	0,2 (5%)	14,7 (53%)	G.S & S.B
SD4	Kotobaru	8,9 (24%)	0,0 (4%)	4,5 (11%)	No Liq
SD5	Bandarpuros Perum	7,0 (17%)	0,0 (4%)	3,3 (9%)	G.S & S.B
SD6	Belantiraya	10,6 (32%)	1,4 (6%)	6,0 (15%)	G.S & S.B
SD7	Ulakkarang	15,8 (59%)	1,4 (6%)	8,8 (24%)	G.S & S.B
SD8	Lapai	11,3 (35%)	1,5 (6%)	7,0 (17%)	G.S & S.B
SD9	Kuro,Seteba	0,9 (5%)	0,8 (5%)	0,8 (5%)	G.S & S.B
SD10	Tungguhhitam	3,8 (9%)	0,7 (5%)	4,2 (10%)	G.S & S.B
SD11	KpusUNP	3,2 (8%)	0,0 (4%)	2,6 (7%)	G.S & S.B
SD12	Dadok,Tghitam	2,2 (7%)	0,0 (4%)	1,7 (6%)	LS
SD13	Pacuankuda	0,4 (5%)	0,2 (5%)	0,5 (5%)	LS
SD14	BdaraTabing	3,2 (8%)	2,1 (7%)	3,8 (9%)	G.S & S.B
SD15	Perupukraya	12,1 (39%)	1,1 (5%)	8,1 (21%)	G.S & S.B
SD16	Rel,SMA3	26,0 (93%)	0,9 (5%)	16,4 (62%)	G.S & S.B
SD17	IAIN	6,5 (16%)	0,0 (4%)	3,0 (8%)	No Liq
SD18	PerumAmpang	19,0 (74%)	1,7 (6%)	10,8 (32%)	No Liq
SD19	TNITerendam	46,6 (100%)	17,0 (65%)	51,1 (100%)	G.S & S.B
SD20	HotelPadang	5,9 (14%)	1,0 (5%)	3,5 (9%)	G.S & S.B
SD21	SawahSHaru	6,4 (15%)	0,5 (5%)	4,1 (10%)	G.S & S.B

Kode	Lokasi	LPI(%)			Gempa 2009
		S&T	Olsen	B&I	
CPTu1	UNP	35,0 (99%)	46,2 (100%)	43,2 (100%)	G.S & S.B
CPTu2	PsirJambak	59,1 (100%)	59,3 (100%)	70,2 (100%)	G.S & S.B
CPTu3	KotoTengah	9,6 (27%)	15,7 (58%)	19,0 (74%)	No Liq
CPTu4	BumiMinang	19,2 (75%)	7,7 (20%)	18,1 (70%)	No Liq
CPTu5	Dahlan	56,3 (100%)	48,6 (100%)	57,7 (100%)	G.S & S.B
CPTu6	AirTawar	40,6 (100%)	45,8 (100%)	51,1 (100%)	G.S & S.B
CPTu7	Kurogadang	55,2 (100%)	54,5 (100%)	60,8 (100%)	G.S & S.B
CPTu8	KuroBarek	83,2 (100%)	75,3 (100%)	73,1 (100%)	G.S & S.B
CPT2	UNP gedung ICR Gor haji Agus salim	38,6 (100%)	19,0 (74%)	43,9 (100%)	G.S & S.B
CPT3	salim	40,0 (100%)	33,5 (99%)	36,6 (99%)	G.S & S.B
CPT4	RSUP M.Djamil Gedung	66,0 (100%)	54,7 (100%)	55,9 (100%)	G.S & S.B
CPT5	Telkomsel Pasir Jambak	16,3 (61%)	12,8 (43%)	11,0 (34%)	G.S & S.B
CPT6	Padang G. Rokok	13,4 (46%)	3,6 (9%)	11,9 (38%)	G.S & S.B
CPT7	Djarum	12,1 (39%)	0,0 (4%)	6,5 (16%)	No Liq
CPT8	By Pass KM 12 U. Dharma	35,5 (99%)	9,2 (25%)	35,6 (99%)	No Liq
CPT9	Andalas	53,0 (100%)	38,6 (100%)	45,7 (100%)	G.S & S.B

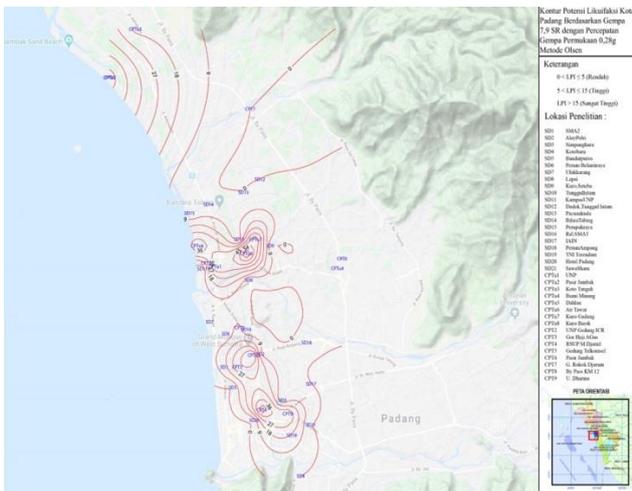
Keterangan :

G.S & S.B = *Ground Settlement and Sand Boiling*

LS = *Lateral Spreading*

No Liq = *No Liquefaction*

Dari Tabel 4 di atas bisa dilihat hasil perbandingan LPI di beberapa titik kota Padang terhadap kondisi yang terjadi setelah gempa Padang 2009 tersebut. Dari hasil analisis terdapat banyak kesesuaian dengan kondisi yang terjadi di lapangan. Adapun metode yang paling mendekati dengan kondisi yang telah terjadi adalah metode Olsen.



Gambar 4. Peta Kontur Potensi Likuifaksi di Kota Padang Berdasarkan Metode Olsen

Gambar 4 di atas bisa disimpulkan bawah daerah kota Padang mayoritas memiliki nilai LPI tinggi yang menandakan bahwa kota tersebut rentan terjadi likuifaksi terutama daerah-daerah yang dekat dengan pantai.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat di tarik kesimpulan :

1. Berdasarkan metode kualitatif maupun kuantitatif kota Padang merupakan daerah yang rentan terjadi likuifaksi dengan rata-rata nilai LPI lebih dari 15 atau potensi lebih dari 78% jika terjadi gempa atau guncangan tanah dengan 7,9 SR.
2. Berdasarkan data CPT, semakin besar nilai q_c dan f_s maka kemampuan tanah terhadap likuifaksi semakin besar. Semakin dalam muka air tanah, nilai CSR atau beban *cyclic* yang disebabkan oleh gempa akan semakin kecil yang dikarenakan tegangan efektif di atas muka air tanah sama dengan tegangan total.
3. Nilai CRR ketiga metode dari setiap titik banyak berbeda, namun ada juga beberapa yang mendekati sama. Untuk metode Shibata dan teparaksa nilai CRR sangat dipengaruhi oleh ukuran butiran dan q_c , metode Olsen sangat dipengaruhi oleh q_c dan Friction Ratio (Rf), sedangkan Metode Boulanger dan Idriss sangat dipengaruhi nilai oleh nilai q_c , fine content (FC), dan q_{c1Ncs} .
4. Berdasarkan ketiga metode tersebut, yang paling sesuai dengan keadaan di lapangan adalah metode Olsen.

5. Magnitude gempa, kondisi tanah, dan nilai percepatan gempa dipermukaan sangat mempengaruhi terjadinya likuifaksi sehingga apabila nilai FS tinggi maka LPI akan rendah, sebaliknya jika nilai FS rendah maka nilai LPI akan tinggi.
6. Berdasarkan peta kontur LPI, dapat disimpulkan kota padang adalah wilayah yang rentan sampai sangat rentan terhadap bahaya likuifaksi karena lokasinya yang dekat dengan pesisir pantai.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada orang tua yang selalu mendukung, dosen pembimbing 1 dan 2 yaitu Dr. Muhammad Yusa, M.Sc. dan Dr. Gunawan Wibisono, M.Sc., dosen dan seluruh staff Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau, serta tidak lupa kepada Bapak Ir. Eko Soebowo yang membantu dalam melengkapi data-data yang penulis perlukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. J. Sladen, D. Hollander, R., & Krahn, J. "The Liquefaction of Sands, a Collapse Surface Approach". *CAN, GEOTECH. J.* 1985.
- [2]. M. Yusa, "Develop a Calibration Framework Between SWST and CPT for a liquefaction hazard assessment". University of Riau, Civil Engineering, 2018.
- [3]. G. Papathanassiou, "LPI-based approach for calibrating the severity of liquefaction-induced failures and for assessing the probability of liquefaction surface evidence". *Journal of Engineering Geology* 96. 2008
- [4]. C. Hitchcock, R. Loyd, & W. Haydon, "Mapping liquefaction hazards in Simi Valley". *Environmental & Engineering Geoscience* 1999.
- [5]. G. Zhang, P. Robertson, & R. Brachman, "Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground", *Canadian Geotechnical Journal.* 2002.
- [6]. T. Iwasaki, "Soil Liquefaction Studies in japan : state-of-the-art". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 5. 1986.