

**BACK ANALYSIS FENOMENA LIKUIFAKSI  
AKIBAT GEMPA PADANG 2009  
MENGGUNAKAN METODE SEMI EMPIRIC**

**Rini Kusumawardani<sup>1)</sup>, Untoro Nugroho<sup>2)</sup>, Nurani Nanda Isnaeni<sup>3)</sup>**

<sup>1</sup>Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang  
email: rini.kusumawardani@mail.unnes.ac.id

<sup>2</sup>Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang  
email: untoro.nugroho@mail.unnes.ac.id

<sup>3</sup>Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang  
email: nurani.nanda@gmail.com

**Abstract**

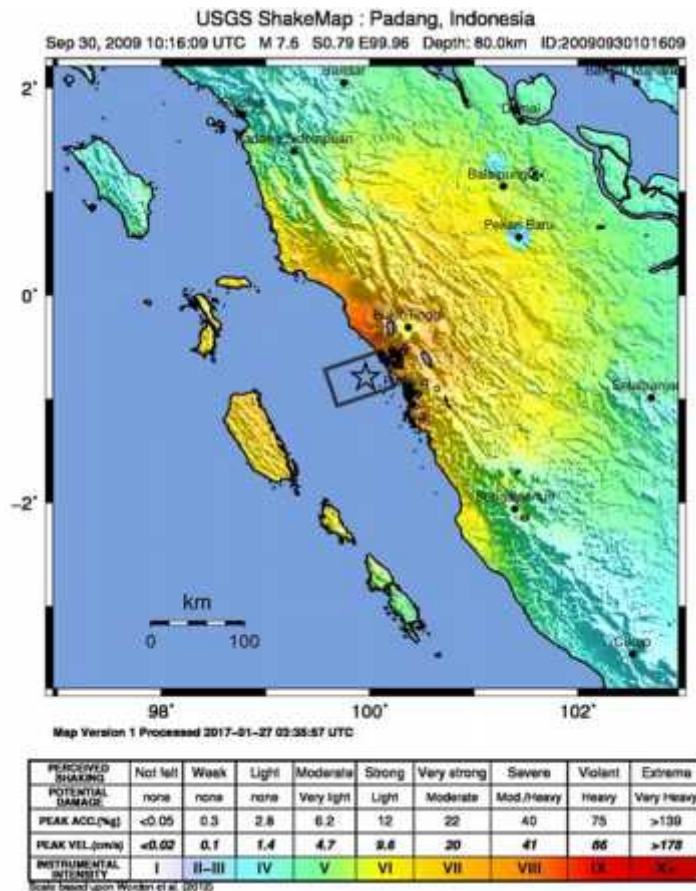
*Indonesia merupakan salah satu negara yang berpotensi mengalami kebencanaan terbesar di dunia selain Jepang. Salah satu daerah di Indonesia yang sering mengalami kejadian gempa adalah Padang, Sumatera Barat. Kejadian Gempa Padang 2009, merupakan gempa kekuatan besar dengan skala magnitudo 7,6. Peristiwa gempa ini, meluluhlantakkan kota Padang dengan menyebabkan kerusakan infrastruktur yang luar biasa dan korban jiwa yang tidak sedikit. Akibat gempa yang tersebut, diperoleh data di lapangan bahwa beberapa lokasi berpotensi mengalami likuifaksi. Bencana likuifaksi merupakan peristiwa yang belum populer di Indonesia, tetapi kejadiannya merupakan salah satu penyebab kerugian material dan nyawa yang tidak sedikit. Lokasi penelitian dilaksanakan di wilayah Padang dengan mengambil peristiwa Gempa Padang 2009 sebagai pemicunya. Berdasarkan dari penyelidikan tanah di lapangan, hasil analisa dengan menggunakan metode semi empiric menunjukkan bahwa daerah GOR Agus Salim, Lapai dan Pantai Padang memiliki potensi likuifaksi dengan nilai  $SF = 0.5$  hingga  $0.7$ . Percepatan tanah maksimal ( $a_{max}$ ) akibat gempa sebesar  $46,85\%$  g. Nilai CRR di daerah GOR Agus Salim berkisar antara  $0,095-0,088$ . Nilai CRR di daerah Lapai berkisar antara  $0,096-0,214$  dan di daerah Pantai Padang berkisar antara  $0,126 - 0,213$ . Sedangkan nilai CSR di daerah Lapai dan GOR Agus Salim berkisar  $0,340-0,560$  dan  $0,341-0,546$ . Nilai CSR untuk lokasi Pantai Padang berkisar antara  $0,271-0,533$ . Pada daerah penelitian di kota Padang menunjukkan bahwa di semua kedalaman tanah terindikasi mengalami likuifaksi.*

**Keywords:** gempa, likuifaksi, CRR, CSR

**1. PENDAHULUAN**

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang memiliki struktur tektonik yang unik dan kompleks. Hal ini karena Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik besar yaitu lempeng Indo-Australia yang relatif bergerak ke utara, lempeng Eurasia yang relatif bergerak ke selatan, dan lempeng Pasifik yang relatif bergerak ke barat. Pergerakan lempeng-lempeng tektonik inilah yang menjadi salah satu penyebab tingginya aktivitas kegempaan di Indonesia (Kusumawardani, 2013; 2014). Wilayah Indonesia yang sering mengalami kejadian gempa bumi adalah wilayah Sumatera Barat seperti pada tahun 2009 dengan kejadian gempa bumi dengan kekuatan Mw 7,6. Gempa tersebut terjadi di lepas pantai Sumatera, sekitar 50 km barat laut Kota Padang dengan episenter sejauh 80 kilometer (USGS, 2018). Intensitas gempa dilaporkan mencapai skala MMI VII-VIII di Kota Padang dan V-VI di kabupaten/kota sekitarnya. Kerusakan yang terjadi akibat gempa ini tersebar di 13 dari 19 kabupaten/kota dan memakan korban jiwa lebih dari 1.100 orang. Data final jumlah korban meninggal di Sumatera Barat adalah sebanyak 1.195 orang. Data korban

lainnya adalah luka berat 619 orang dan luka ringan 1.179 orang. Gempa juga memporak-porandakan sarana dan prasarana publik.



Gambar 1. Lokasi Episenter Gempa Padang, Sumatera Barat Tahun 2009  
( Sumber : [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov) )

Gempa bumi merupakan bencana alam yang terjadi di bawah permukaan tanah yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan, bukan hanya pada bangunan yang berdiri di atas tanah saja, melainkan pada struktur tanah pula. Kerusakan pada tanah ini diakibatkan oleh besarnya energi yang dilepaskan oleh pusat gempa (*hypocenter*) berupa getaran yang merambat di permukaan bumi. Salah satu dampak geologi yang disebabkan oleh gempa bumi adalah fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat getaran gempa yang disebut dengan likuifaksi. Fenomena likuifaksi merupakan salah satu bencana sekunder yang mengiringi kejadian bencana gempa yang dapat menimbulkan kerusakan struktur dan infrastruktur serta korban luka dan hilangnya nyawa.



Gambar 2. Contoh beberapa kerusakan yang diakibatkan oleh likuifaksi

## 2. KAJIAN LITERATUR

### a. Gempa

Katili (1963) menyatakan bahwa gempa bumi dibedakan menjadi 2 jenis. Pertama berdasarkan pusat sumber gempa, yaitu gempa bumi yang berpusat di darat atau dikenal dengan gempa daratan dan gempa bumi yang berpusat di lautan atau gempa lautan. Kedua, berdasarkan berdasarkan jarak episentral. Untuk gempa dengan jarak episentral kurang dari 10.000 km disebut gempa setempat, sedangkan gempa bumi dengan jarak episentral 10.000 km disebut sebagai gempa bumi jauh, selanjutnya gempa bumi sangat jauh berjarak episentral lebih dari 10.000 km. Gempa bumi dengan intensitas besar, umumnya memicu terjadinya fenomena likuifaksi. Likuifaksi merupakan salah satu bencana sekunder yang perlu diperhatikan. Fenomena likuifaksi terjadi ketika lapisan pasir berubah menjadi seperti cairan akibat meningkatnya tekanan air pori dalam rongga tanah sehingga tak mampu menopang beban bangunan di dalam atau di atasnya. Faktor-faktor yang menjadi syarat terjadinya likuifaksi adalah tanah bersifat lepas (tidak padat), lapisan tanah jenuh air, dan terjadi getaran yang kuat. Peristiwa likuifaksi dapat menimbulkan amblesan, keruntuhan, *tilting* pada bangunan, retakan tanah, kelongsoran, dan lain - lain. Sebagai contoh, gempa bumi yang memicu terjadinya likuifaksi dan menimbulkan korban jiwa yaitu gempa Niigata (Jepang) 1964, Alaska (USA) 1964, Flores 1992, Maumere 1 Desember 1992, Kobe 1995, Biak 1996, Taiwan 1999, Bengkulu 2000, India 2001, Turki 2002, Aceh dan Nias 26 Desember 2004, gempa bumi Yogyakarta 27 Mei 2006, serta gempa bumi Padang 30 September 2009.

### b. Likuifaksi

Gempa bumi Padang 30 September 2009 berdasarkan pendapat beberapa ahli dipicu oleh pelepasan energi di patahan Sumatera (sesar Semangko) yang melalui segmen Singkarak. Akibat desakan lempeng Indo-Australia menuju lempeng Eurasia yang pergerakannya diperkirakan 5-7 cm per tahun. Bagian barat bergerak ke selatan dan bagian timur bergerak ke utara. Jika pergerakan segmen itu sudah berlangsung cukup lama akan menjadi pemicu terjadinya gempa besar. Gempa yang terjadi di Padang berada pada lokasi di sebelah timur segmen Mentawai. Dimana, energi yang lepas masih di kawasan pinggir dari segmen mentawai. Segmen mentawai mulai dari pulau Siberut, pulau Sipora, sampai pulau Bagai. Menurut para ahli geologi secara historis pada segmen mentawai telah terjadi gempa besar dengan skala magnitudo lebih dari delapan, yaitu pada tahun 1833. dan gempa ini memiliki periode perulangan sekitar 200 tahunan. Diperkirakan pengumpulan energi pada segmen mentawai masih berlangsung hingga sekarang.

### c. Cyclic Stress Ratio (CSR)

Menghitung nilai rasio tegangan siklik (CSR) menggunakan persamaan sebagai berikut (Seed dan Idriss, 1971):

$$CSR = 0,65 \cdot \left( \frac{a_{max}}{g} \right) \left( \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) r_d$$

dengan :

- $a_{max}$  = percepatan horizontal maksimum pada permukaan lapisan tanah yang didapat dari data gempa dari USGS.
- $g$  = percepatan gravitasi (9,81 m/detik<sup>2</sup>)
- $\sigma_{vo}$  = tegangan beban vertikal total yang didapat dari data tanah
- $\sigma'_{vo}$  = tegangan beban vertikal efektif yang didapat dari data tanah
- $r_d$  = koefisien pengurangan tegangan yang didapat dari persamaan TF Blake (1996) dalam Youd dan Idriss (2001), sebagai berikut:

$$r_d = \frac{(1000 - 0,4113z^{0,5} + 0,04052z + 0,001753z^{1,5})}{(1000 - 0,4177z^{0,5} + 0,05729z - 0,006205z^{1,5} + 0,001210z^2)}$$

$z$  merupakan kedalaman di bawah permukaan tanah dalam satuan meter.

#### d. Cyclic Resistance Ratio (CRR)

Menghitung nilai  $CRR_{7,5}$  dengan persamaan AF Rauch (1998) dalam Youd dan Idriss (2001) sebagai berikut :

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

Persamaan ini hanya berlaku untuk  $(N_1)_{60} < 30$ . Untuk  $(N_1)_{60} \geq 30$ , butiran tanah halus terlalu padat untuk terlikuifaksi dan diklasifikasikan sebagai tanah *nonliquefiable*.

### 3. METODE PENELITIAN

#### a. Lokasi Penelitian

Pada artikel ini lokasi penelitian adalah beberapa wilayah di Sumatera Barat yang mengalami dampak akibat terjadinya gempa Padang 2009. Wilayah yang dianalisis adalah daerah GOR Agus Salim, daerah Lapai dan daerah Pantai Padang. Hasil analisa uji investigasi lapangan yang merupakan data sekunder dijadikan dasar perhitungan.

#### b. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dalam rangka pencapaian tujuan akhir penelitian akan dibagi menjadi tiga tahapan penelitian, yaitu :

- a. Tahap Persiapan
- b. Tahap Pengumpulan Data
- c. Tahap Pengolahan Data

### 4. HASIL PENELITIAN

Perhitungan analisis potensi likuifaksi menggunakan metode *semi empiric* ini menggunakan data  $qc$  yang didapat dari uji CPT/sondir dan nilai N-SPT yang didapat dari uji SPT. Kemudian dicari nilai  $(q_{1CN})_{CS}$  dan  $(N_1)_{60CS}$  lalu diplotkan bersama dengan nilai CSR kedalam kurva hubungan CSR vs  $(q_{1CN})_{CS}$  Robertson dan Wride (1998) untuk data CPT dan kurva CSR vs  $(N_1)_{60CS}$  pada kurva modifikasi Seed dkk (1985) untuk data SPT.

Perhitungan potensi likuifaksi untuk wilayah Padang menggunakan magnitude gempa bumi sebesar 7,6 menurut USGS dalam satuan  $M_w$  (*Moment Magnitude*). Magnitude gempa

ini digunakan karena merupakan magnitude gempa terbesar yang pernah terjadi di kawasan Padang dan sekitarnya dalam kurun waktu 20 tahun terakhir. Mengingat semakin besarnya gempa yang terjadi maka semakin besar pula getaran yang diterima oleh tanah yang akan menyebabkan likuifaksi, sehingga bisa kita lihat seberapa besar potensi likuifaksi yang akan terjadi pada daerah tersebut.

a. Nilai  $q_c$  dan CPT

Data tanah berupa nilai  $q_c$  dari uji CPT untuk perhitungan potensi likuifaksi wilayah Padang didapat berupa data sekunder yang diperoleh dari artikel Putra dkk (2009).

**Tabel 1** Nilai  $q_c$  dan  $R_f$  rata-rata Daerah GOR Haji Agus Salim, Padang (Putra et al, 2009)

Titik	Layer	Depth Range (m)	Depth (cm)	$q_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$R_f$ (%)
I	1	0,0 – 1,0	100	2,50	0,67
	2	1,2 – 2,0	200	3,00	0,56
	3	2,2 – 3,0	300	12,80	0,69
	4	3,2 – 4,0	400	47,60	0,88
	5	4,2 – 5,0	500	45,00	0,14
	6	5,2 – 6,0	600	72,20	0,25
	7	6,2 – 7,0	700	53,60	1,63
	8	7,2 – 8,0	800	54,80	1,96
II	1	0,0 – 1,0	100	3,33	1,25
	2	1,2 – 2,0	200	4,00	0,96
	3	2,2 – 3,0	300	4,80	0,89
	4	3,2 – 4,0	400	24,40	1,43
	5	4,2 – 5,0	500	40,00	1,00
	6	5,2 – 6,0	600	52,00	1,10
	7	6,2 – 7,0	700	63,00	0,76
	8	7,2 – 8,0	800	65,00	0,80

**Tabel 2** Nilai  $q_c$  dan  $R_f$  rata-rata Daerah Lapai, Padang (Putra et al, 2009)

Titik	Layer	Depth Range (m)	Depth (cm)	$q_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$R_f$ (%)
I	1	0,0 – 1,0	100	12,17	1,59
	2	1,2 – 2,0	200	8,00	0,87
	3	2,2 – 3,0	300	1,00	0,00
	4	3,2 – 4,0	400	26,40	1,16
	5	4,2 – 5,0	500	53,40	1,45
	6	5,2 – 6,0	600	60,20	1,27
	7	6,2 – 7,0	700	37,20	1,61
	8	7,2 – 8,0	800	23,20	1,64
	9	8,2 – 9,0	900	32,20	1,76
II	1	0,0 – 1,0	100	12,83	1,15
	2	1,2 – 2,0	200	7,40	1,09
	3	2,2 – 3,0	300	15,00	1,94
	4	3,2 – 4,0	400	25,60	1,59
	5	4,2 – 5,0	500	44,20	1,31
	6	5,2 – 6,0	600	59,00	1,46
	7	6,2 – 7,0	700	26,40	1,02
	8	7,2 – 8,0	800	26,80	1,94
	9	8,2 – 9,0	900	32,40	1,87

Untuk perhitungan potensi likuifaksi wilayah Padang, digunakan tinggi muka air 80 cm sesuai dengan yang tertera pada artikel Putra (2009) untuk daerah GOR Haji Agus Salim dan Lapai Padang.

b. CRR dan CSR

Tiga lokasi yang dianalisis di daerah Padang yaitu daerah GOR Haji Agus Salim, daerah Lapai dan Pantai Padang. Untuk daerah GOR Agus Salim, analisis likuifaksi didasarkan pada pengujian Cone Penetration Test (CPT) di lapangan. Untuk daerah Pantai Padang, analisis didasarkan pada hasil pengujian Standard Penetration Test (SPT). Hasil dari analisis likuifaksi di daerah GOR Haji Agus Salim dapat dilihat pada Tabel 3, untuk daerah Lapai Padang dapat dilihat pada Tabel 4. Untuk Tabel 5 merupakan hasil perhitungan analisis likuifaksi di daerah Pantai Padang

**Tabel 3.** Hasil analisa CSR dan CRR di daerah GOR Haji Agus Salim

Lapisan	Kedalaman (m)	Ketahanan konus (kg/cm <sup>2</sup> )	$f_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	CSR	CRR
1	0,0 – 1,0	2,50	0,02	0,341	0,088
2	1,0 – 2,0	3,50	0,02	0,453	NL
3	2,0 – 3,0	12,80	0,09	0,497	0,095
4	3,0 – 4,0	47,60	0,42	0,514	0,164
5	4,0 – 5,0	45,00	0,06	0,519	0,107
6	5,0 – 6,0	72,20	0,18	0,528	0,151
7	6,0 – 7,0	53,60	0,87	0,545	0,199

8	7,0 – 8,0	54,80	1,07	0,546	0,223
---	-----------	-------	------	-------	-------

**Tabel 4.** Hasil analisa CSR dan CRR di daerah Lapai Padang

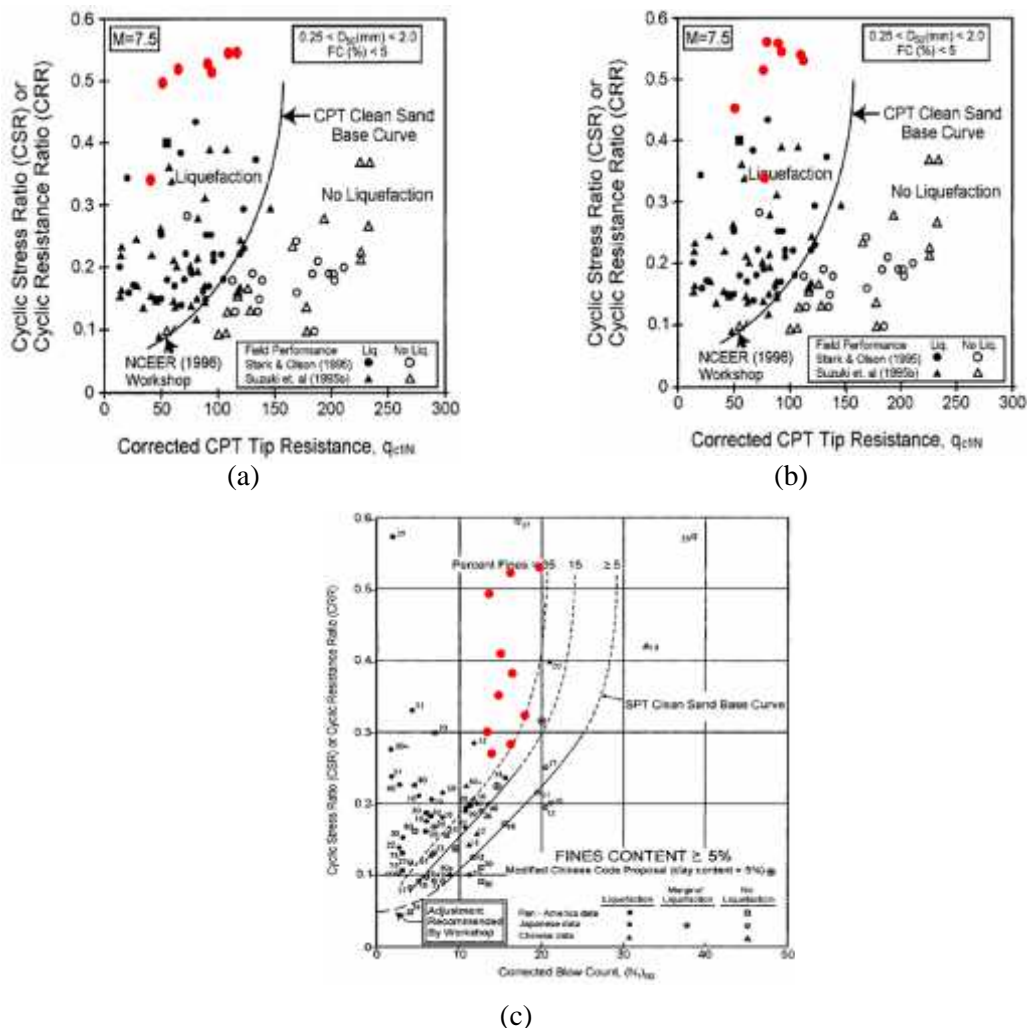
Lapisan	Kedalaman (m)	Ketahanan konus (kg/cm <sup>2</sup> )	$f_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	CSR	CRR
1	0,0 – 1,0	12,17	0,19	0,340	0,131
2	1,0 – 2,0	8,0	0,07	0,453	0,096
3	2,0 – 3,0	1,0	0,00	0,506	NL
4	3,0 – 4,0	26,40	0,31	0,514	0,14
5	4,0 – 5,0	53,40	0,77	0,530	0,214
6	5,0 – 6,0	60,20	0,76	0,540	0,204
7	6,0 – 7,0	37,20	0,60	0,545	0,152
8	7,0 – 8,0	23,20	0,38	0,560	0,124
9	8,0 – 9,0	32,20	3,16	0,558	0,143

**Tabel 5.** Hasil analisa CSR dan CRR di daerah Pantai Padang

Lapisan	Kedalaman (m)	N-SPT	Berat volume tanah (KN/m <sup>3</sup> )	CSR	CRR
1	0,0 – 2,0	28	20,0	0,426	NL
2	2,0 – 4,0	12	19,5	0,496	0,155
3	4,0 – 6,0	55	19,0	0,528	NL
4	6,0 – 8,0	16	19,0	0,533	0,213
5	8,0 – 10,0	10	19,0	0,525	0,169
6	10,0 – 12,0	12	25,0	0,412	0,146
7	12,0 – 14,0	15	25,0	0,380	0,155
8	14,0 – 16,0	14	25,0	0,353	0,139
9	16,0 – 18,0	20	25,0	0,325	0,163
10	18,0 – 20,0	14	25,0	0,302	0,124
11	20,0 – 22,0	20	25,0	0,284	0,145
12	22,0 – 24,0	17	25,0	0,271	0,126
13	24,0 – 26,0	60	19,5	0,316	NL
14	26,0 – 28,0	60	19,5	0,307	NL
15	28,0 – 30,0	60	19,5	0,299	NL

c. Identifikasi Likuifaksi

Semua lokasi pengujian CPT baik di GOR Haji Agus Salim maupun di Lapai Padang, berdasarkan analisa CRR dan CSR diplotkan pada kurva Robertson dan Wride (1998) dapat dilihat pada Gambar 3. Semua kedalaman tanah terindikasi mengalami likuifaksi yang ditunjukkan dengan persebaran titik-titik yang berada pada sebelah kiri kurva. Hasil analisa identifikasi likuifaksi pada ketiga lokasi penelitian ditandai dengan titik-titik merah yang berada di sebelah kiri garis kurva.



**Gambar 3** Plotting hasil perhitungan CSR dan  $(q_{1CN})_{CS}$  pada kurva Robertson dan Wride (1998) untuk daerah GOR AGus Salim, Padang (a), daerah Lapai Padang (b) dan daerah Pantai Padang (c)

## 5. SIMPULAN

Hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai potensi likuifaksi akibat gempa di beberapa daerah di Padang dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Semua lokasi pengujian CPT baik di GOR Haji Agus Salim maupun di Lapai Padang, selain pada kedalaman yang sudah diberi warna hijau pada tabel perhitungan sebelumnya yang diklasifikasikan sebagai tanah lempung, semua kedalaman tanah terindikasi mengalami likuifaksi yang ditunjukkan dengan persebaran titik-titik yang berada pada sebelah kiri kurva.
2. Pada lokasi pengujian SPT di Pantai Padang, selain pada kedalaman yang sudah diberi warna hijau pada tabel perhitungan sebelumnya yang diklasifikasikan sebagai butiran tanah halus yang terlalu padat untuk terlikuifaksi, semua kedalaman tanah terindikasi mengalami likuifaksi yang ditunjukkan dengan persebaran titik-titik yang berada pada sebelah kiri kurva.

## 6. REFERENSI

- Kusumawardani, R., Suryolelono, K.B., Suhendro, B., Rifa'i, A., *The Loading Frequency Effects of Yogyakarta Sand Under Cyclic Triaxial Testing*, International Journal of Civil & Environmental Engineering, Vol 14, No 02, (2014), 1-6
- Kusumawardani, R., Suryolelono, K.B., Suhendro, B., Rifa'i, A., *Dynamic Behaviour of Yogyakarta's Sand Under Cyclic Triaxial Testing*, International Journal of Civil & Environmental Engineering, Vol 13, No 02, (2013), 23-28
- USGS. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp0005j5a#shakemap>. 17 Mei 2018 (8:20).
- Robertson, P. K., dan C. E. Wride. 1998. Evaluating Cyclic Liquefaction Potential Using The Cone Penetration Test. *Canadian Geotechnical Journal* 35(3): 442–459.
- Putra, H. G., A. Hakam, dan D. Lastaruna. 2009. Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Pengujian Sondir (Studi Kasus Gor Haji Agus Salim dan Lapai, Padang). *Jurnal Rekayasa Sipil* 5(1).
- Seed, H. B., K. Tokimatsu, L. F. Harder, dan R. M. Chung. 1985. The Influence Of SPT Procedures In Soil Liquefaction Resistance Evaluations. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 111(12): 1425-1445.
- Youd, T. L., dan I. M. Idriss. 2001. Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from The 1996 NCEER and 1998 NCEER/NFS Workshops On Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 127(4):297-313.
- Katili, J.A dan P. Marks. 1963. Geologi. Bandung : Kiat Madju.