

EVALUASI POTENSI LIKUIFAKSI DI KOTA PADANG BERDASARKAN DATA INVESTIGASI TANAH DAN HUBUNGANNYA DENGAN FREKUENSI NATURAL TANAH

M.Darna Agung¹, Rusnardi Rahmat Putra²

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

E-mail : mdarmaagung@gmail.com

Abstrak: Penelitian ini membahas tentang evaluasi potensi likuifaksi di Kota Padang berdasarkan data investigasi tanah dan hubungannya dengan frekuensi natural tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengungkap tingkat kerentanan Kota Padang terhadap likuifaksi berdasarkan data investigasi tanah dan untuk mengetahui hubungan antara potensi likuifaksi di Kota Padang dengan frekuensi natural tanahnya. Jenis penelitian ini adalah penelitian evaluasi dengan pendekatan kuantitatif. Penelitian dilakukan dengan menganalisis 54 data investigasi tanah (CPT dan SPT) dan percepatan gempa untuk mendapatkan nilai faktor keamanan tanah (SF). Metode analisis data yang digunakan adalah metode deterministik. Evaluasi juga dilakukan dengan meninjau kembali nilai frekuensi natural tanah titik-titik tersebut dengan pengukuran mikrotremor kemudian menghubungkannya dengan potensi likuifaksi. Hasil penelitian menunjukkan tingkat potensi likuifaksi di Kota Padang berbeda-beda tergantung kepada kedalaman tanah yang ditinjau. Pada kedalaman 1 m, hampir seluruh wilayah penelitian berpotensi mengalami likuifaksi dengan daerah pesisir pantai memiliki tingkat kerentanan sangat tinggi. Pada umumnya potensi likuifaksi berkurang seiring bertambahnya kedalaman. Terdapat hubungan antara potensi likuifaksi dengan frekuensi natural tanah (f_0) di daerah penelitian, dimana tanah dengan nilai f_0 lebih dari 0,3912 hertz tidak berpotensi likuifaksi.

Kata Kunci: Likuifaksi, CPT, SPT, Mikrotremor, Frekuensi Natural Tanah

Abstract : *This study discusses the evaluation of the potential for liquefaction in Padang City based on soil investigation data and its relationship with the natural frequency of the soil. This study aims to reveal the level of vulnerability of Padang City to liquefaction based on soil investigation data and to determine the relationship between liquefaction potential in Padang City and the natural frequency of the soil.*

This type of research is an evaluation research with a quantitative approach. The research was conducted by analyzing 54 soil investigation data (CPT and SPT) and earthquake acceleration to obtain the value of the soil safety factor (SF). The data analysis method used is a deterministic method. Evaluation was also carried out by reviewing the natural frequency values of the soils at these points with microtremor measurements and then relating them to the liquefaction potential.

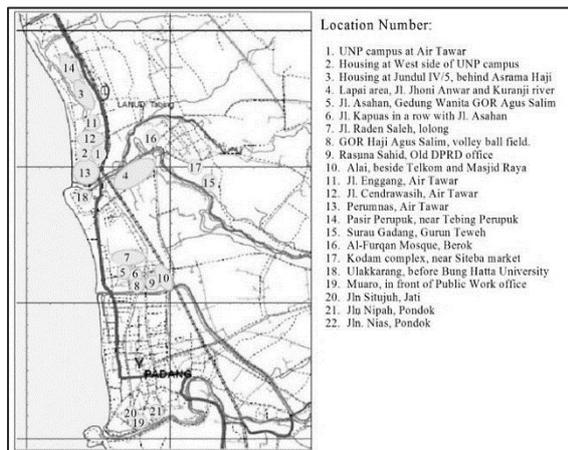
The results showed that the level of potential liquefaction in the city of Padang varies depending on the depth of the soil under review. At a depth of 1 m, almost the entire research area has the potential to experience liquefaction, with coastal areas having a very high level of vulnerability. In general, the liquefaction potential decreases with increasing depth. There is a relationship between the liquefaction potential and the natural frequency of the soil (f_0) in the study area, where the soil with an f_0 value of more than 0.3912 hertz does not have the potential for liquefaction.

Keywords: *Liquefaction, CPT, SPT, Microtremor, Natural frequency of the soil*

1. PENDAHULUAN

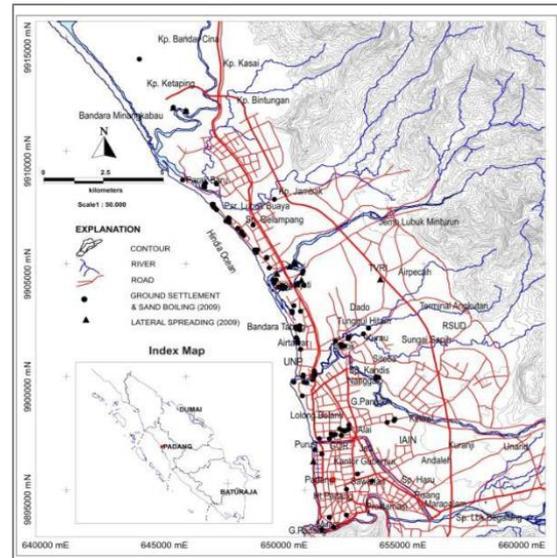
Gempa yang terjadi di lepas pantai Sumatera, sekitar 50 km dari barat laut pada kedalaman 71 km di Kota Padang pada 30 September 2009, telah menyebabkan kerusakan terhadap infrastruktur berupa gedung pemerintahan, pemukiman, jalan, sarana pengairan, jalan dan jaringan komunikasi. Gempa yang bermagnitudo 7,6 ini telah menimbulkan kerugian berupa 1.195 korban jiwa dan total properti sebesar 4,8 triliun rupiah (Kompas, 2009). Kerusakan diperparah dengan adanya likuifaksi yang terjadi di beberapa titik di Kota Padang.

Likuifaksi yang telah terjadi di beberapa titik di Kota Padang dibuktikan dengan adanya semburan tanah dan air ke permukaan tepat setelah terjadinya Gempa 30 September 2009. Likuifaksi yang berhasil diidentifikasi oleh Hakam (2012) dan Tohari (2013) di berbagai wilayah yang padat penduduk disekitar sepanjang aliran sungai dan rawa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Peta Kejadian Likuifaksi Akibat Gempa Padang 30 September 2009

(Sumber : Hakam, 2012)



Gambar 2. Peta Kejadian Likuifaksi Akibat Gempa Padang 30 September 2009

(Sumber : Tohari, 2013)

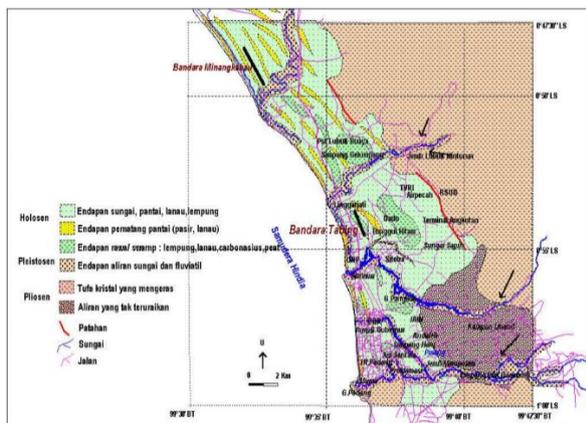
Likuifaksi adalah peristiwa berkurang atau hilangnya tegangan efektif tanah akibat beban siklik dari guncangan gempa. Beban siklik mentransfer tegangan pada pori ke tegangan efektif tanah. Fenomena ini terjadi jika tanah berjenis pasir lepas yang jenuh air atau tersaturasi. Akibatnya, tanah tidak mampu menahan beban yang terjadi sehingga terjadinya deformasi (Idriss, 2008). Hilangnya tahanan geser tanah terjadi akibat proses transfer tegangan pori ke tegangan efektif antar partikel tanah secara langsung. Dalam waktu yang singkat, terjadinya penambahan tegangan dalam pori, sedangkan tegangan efektif antar partikel tanah bernilai konstan (Hakam, 2012).

Menurut Hakam (2012), likuifaksi hanya terjadi pada tanah pasir *semi-impermeable* seperti pasir berlumpur, pasir liat dan pasir halus. Hal ini karena jenis tanah-tanah tersebut memiliki pori/rongga yang besar sehingga sulit untuk mencapai kepadatan maksimal. Tanah dengan pori yang besar memiliki sifat porositas yang baik sehingga memicu terjadinya keadaan jenuh air.

1.1 Kondisi Geologi dan Penduduk Kota Padang

Kota Padang, dengan jumlah penduduk, adalah ibu kota Provinsi Sumatera Barat. Lokasi pusat kota berada di $100,38^{\circ}\text{BT}$, $0,95^{\circ}\text{S}$. Data geologi menunjukkan bahwa Kota Padang sebagian besar berdiri di atas tanah yang berdasar endapan yang terdiri dari endapan pematang pantai, endapan *swamp* dan endapan aluvial

(Gambar 3). Gambaran geologi pesisir ini dicirikan oleh endapan pasir yang lepas, kerikil dengan ketidakmenerusan lapisan lanau dan lempung dimana sebaran pematang pantai sisi barat laut lebih dominan yang ditafsirkan sebagai zona sumber endapannya (Pramono, 2014). Adapun tanah yang memiliki struktur berpasir lepas dan jenuh air rentan terhadap likuifaksi. Selain itu, Kota Padang memiliki muka air tanah yang termasuk dangkal dalam rentang 2 m hingga 4,89 m sehingga keadaan jenuh air dapat dengan mudah terjadi (Fauzi, 2017).



Gambar 3. Peta Geologi Kota Padang
(Sumber : Pramono, 2014)

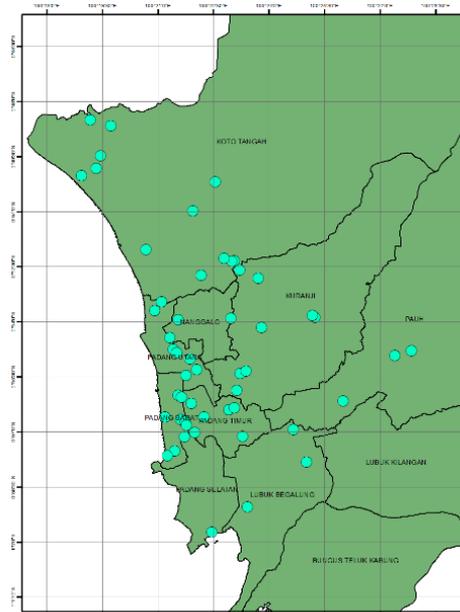
Kota Padang terdiri dari 11 kecamatan dengan luas wilayah keseluruhan sejumlah 694,96 km². Kecamatan dengan luas wilayah terbesar adalah Kecamatan Koto Tengah (232,25 km²) atau sepertiga luas wilayah Kota Padang dan wilayah kecamatan dengan luas terkecil yaitu Kecamatan Padang Barat (7 km²). Dari data sensus penduduk tahun 2020, jumlah penduduk Kota Padang yaitu 973.152 jiwa. Wilayah dengan jumlah penduduk terbesar yaitu Kecamatan Koto Tengah (203.842 jiwa), sedangkan wilayah kecamatan dengan jumlah penduduk terkecil yaitu Kecamatan Bungus Teluk Bungus (25.867 jiwa). Kepadatan penduduk rata-rata Kota Padang pada tahun yang sama, yaitu sebesar 1.370 jiwa/km² (BPS Kota Padang, 2021)

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan jenis penelitian deskriptif kuantitatif, dimana penelitian ini membutuhkan penjelasan data dan angka-angka untuk menganalisisnya secara statistik.

Penelitian ini dilakukan di Kota Padang. Pada lokasi ini dilakukan uji resistensi tanah berdasarkan data investigasi tanah berupa *Cone Penetration Test* (CPT) dan *Standard Penetration Test* (SPT) sejumlah 54 titik. Untuk mengetahui potensi likuifaksi di Kota Padang, dilakukan analisis metode deterministik berdasarkan rumusan yang dipublikasikan oleh Idriss dan Boulanger tahun 2008. Metode ini menggunakan perbandingan dari *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) yang menggambarkan resistensi tanah terhadap *Cyclic Stress Ratio* (CSR) yang menggambarkan beban gempa yang terjadi.

Penelitian juga menggunakan pengukuran mikrotremor untuk mengetahui gerakan akibat gelombang seismik tanpa memerlukan informasi geologi lainnya. Pengukuran dilakukan di lokasi yang sama dari data investigasi tanah yang telah dikumpulkan. Pengukuran mikrotremor menghasilkan parameter frekuensi natural (f_0). Hal ini bertujuan untuk mengetahui keterkaitan antara frekuensi natural tanah dengan potensi likuifaksi.



Gambar 4. Lokasi Penelitian

Kriteria resistensi dari masing-masing metode evaluasi potensi likuifaksi di lapangan akan memberikan hasil yang umumnya konsisten, tidak peduli metode mana yang dipilih, akan tetapi SPT dan CPT lebih dianjurkan karena database yang lebih luas dan pengalaman masa lalu. Metode yang lain dapat diterapkan di

lokasi yang dipenuhi oleh sedimen berkerikil dengan akses jalan yang sulit. (Youd, 2001).

2.1 Evaluasi Berdasarkan Data Investigasi Tanah

2.1.1 Nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) Pada Setiap Lapisan Tanah

CSR adalah normalisasi tegangan lapisan tanah yang diakibatkan oleh gempa bumi. Karena CSR merupakan fungsi langsung dari *total overburden pressure* σ_{vo} yang nilainya kecil pada lapisan atas dan membesar di lapisan bawah, maka kejadian likuifaksi cenderung dimulai dari lapisan atas. Pada penelitian ini tanah dianalisis setiap 1 meter hingga kedalam 7 m. Nilai CSR didapatkan menggunakan persamaan Oleh Seed dan Idriss (1971) :

$$CSR = 0,65 \frac{a_{max} \times \sigma}{g \times \sigma'} r_d \quad (1)$$

dimana a_{max} adalah percepatan tanah maksimum, σ adalah tegangan total tanah, σ' adalah tegangan efektif tanah dan r_d adalah faktor koreksi berdasarkan kedalaman tanah (Liao, 1986).

$$r_d = 1 - 0,00765Z ; Z < 9,15 \text{ m}$$

$$r_d = 1.174 - 0,00267Z ; 9,15 \text{ m} < Z < 23 \text{ m} \quad (2)$$

Adapun nilai percepatan tanah maksimum a_{max} berdasarkan SNI 1726 : 2019 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung dan Nongedung. Berdasarkan pedoman tersebut nilai a_{max} untuk kota Padang berkisar antara 0.50 – 0.60 g.

2.1.2 Nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) Pada Setiap Lapisan Tanah

Perhitungan nilai CRR berbeda untuk masing-masing data CPT dan SPT. Untuk data CPT, Robertson dan Wride (1998) memberikan persamaan empiris untuk menghitung nilai CRR berdasarkan nilai penetrasi konus terkoreksi q_{c1} sebagai berikut :

$$CRR = 0,833 (q_{c1}/1000)^3 + 0,05 ; q_{c1} < 50 \quad (3)$$

$$CRR = 93 \times (q_{c1}/1000)^3 + 0,08 ; 50 < q_{c1} < 160$$

Adapun untuk data SPT, nilai CRR ditentukan berdasarkan persamaan

$$CRR = \frac{1}{(34 - N_{60})} + \frac{N_{60}}{135} + \frac{50}{[10N_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (4)$$

dimana N_{t60} adalah jumlah pukulan SPT yang telah dikoreksi dengan tekanan overburden yang nilainya mendekati 100 kPa dengan efisiensi energi pukulan 60%. Nilai N_{t60} diperoleh dari persamaan berikut.

$$N_{t60} = N_m C_N C_E C_B C_R C_S \quad (5)$$

Tabel 1 menunjukkan nilai-nilai koreksi untuk perhitungan N_{t60} .

Tabel 1. Faktor koreksi pada pengujian SPT

Faktor	Variabel peralatan	Istilah	Koreksi
Tekanan Overburden	-	C_N	$(P/\sigma'_{vo})^{0.5}$
Tekanan Overburden	-	C_N	$C_N \leq 1.7$
Rasio energi	Donut Hammer	C_E	0.5 – 1.0
Rasio energi	Safety Hammer	C_E	0.7 – 1.2
Rasio energi	Automatic – trip donut – type hammer	C_E	0.8 – 1.3
Diameter lubang bor	16-115 mm	C_B	1.0
Diameter lubang bor	150 mm	C_B	1.05
Diameter lubang bor	200 mm	C_B	1.15
Panjang rod	< 3 m	C_R	0.75
Panjang rod	3-4 m	C_R	0.8
Panjang rod	4-6 m	C_R	0.85
Panjang rod	6-10 m	C_R	0.95
Panjang rod	10-30 m	C_R	1.0
Metode Sampling	Standard	C_S	1.0
Metode Sampling	Pengambilan sampel tanpa garis batas	C_S	1,1 – 1,3

Sumber : Robertson, 1998

2.1.3 Faktor Keamanan (SF)

Untuk mengevaluasi potensi likuifaksi suatu tanah ditunjukkan dari nilai faktor keamanan yang merupakan hasil perbandingan nilai CRR terhadap nilai CSR. Tanah berpotensi mengalami likuifaksi jika nilai SF kecil dari 1,0 dan aman jika besar dari 1,0. SF diekspresikan dengan persamaan berikut.

$$SF = \frac{CRR}{CSR} MSF \quad (6)$$

dimana MSF adalah *Magnitude Scaling Factor* oleh Seed & Idriss yang nilainya ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

$$MSF = \frac{10^{2.56}}{M_w^{2.24}} \quad (7)$$

2.2 Pengukuran Mikrotremor

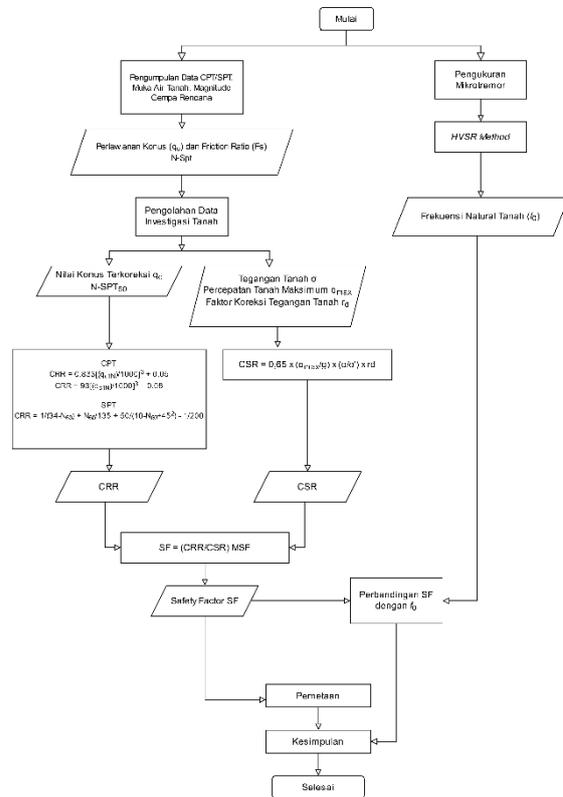
Pengukuran mikrotremor dilakukan di titik ditemukannya data CPT atau SPT. Gelombang seismik diukur menggunakan mikrotremor sensor GPL-6A3P. Data mikrotremor diproses menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Metode ini didasarkan pada analisis rasio spektral antara spektrum amplitudo Fourier horizontal (H) dan vertikal (V) komponen gelombang seismik yang direkam. Periode puncak HVSr merupakan periode resonansi dari tanah yang ditinjau.. Komponen horizontal (NS dan EW) dan vertikal (UD) direkam secara bersamaan selama 10 menit dengan frekuensi sampling 100 Hz sesuai dengan panduan *Site Effects Assessment Using Ambient Excitations* (SESAME) 2004. Salah satu hasil yang bisa didapatkan dari pengukuran mikrotremor pada suatu situs adalah frekuensi dominan (f_0) pada grafik HVSr

Nilai frekuensi natural suatu tanah dipengaruhi oleh ketebalan lapisan lapuk (H) dan kecepatan gelombang geser (V_s), sehingga pada daerah yang memiliki lapisan sedimen yang lebih tebal akan cenderung memiliki nilai frekuensi natural yang lebih kecil.



Gambar 5. Mikrotremor Sensor GPL-6A3P

Adapun diagram alir pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

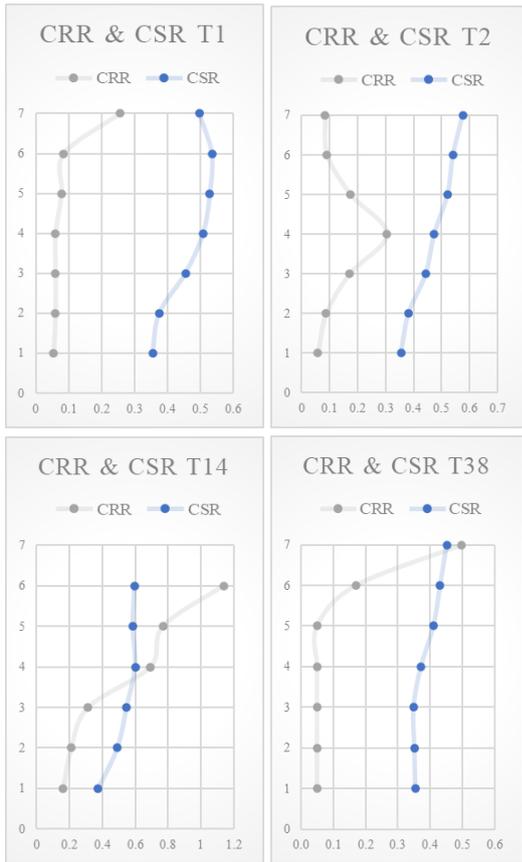


Gambar 6. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

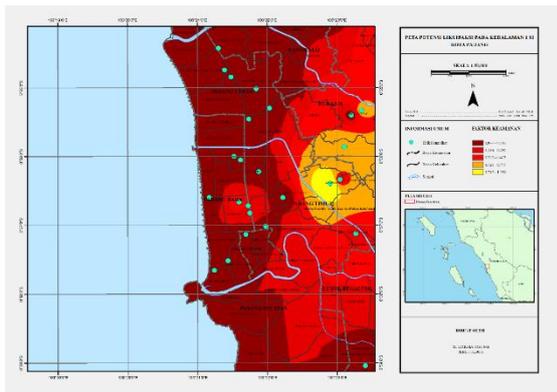
3.1 Evaluasi Berdasarkan Data Investigasi Tanah

Berdasarkan data investigasi tanah di 54 titik yang dianalisis, nilai CRR dan CSR dapat ditentukan. Nilai CRR dan CSR dihitung per 1 m hingga kedalaman 7 m. Nilai CRR berada pada rentang 0,493 – 2,125 sedangkan untuk CSR adalah 0.316 – 1.0485. Gambar 7 memperlihatkan perbandingan nilai CRR dan CSR pada beberapa titik di daerah penelitian hingga kedalaman 7 m, yaitu T1, T2, T14 dan T38.

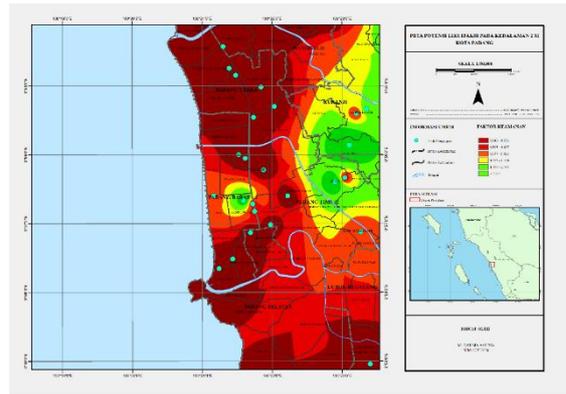


Gambar 7. Nilai CRR dan CSR di Beberapa Titik

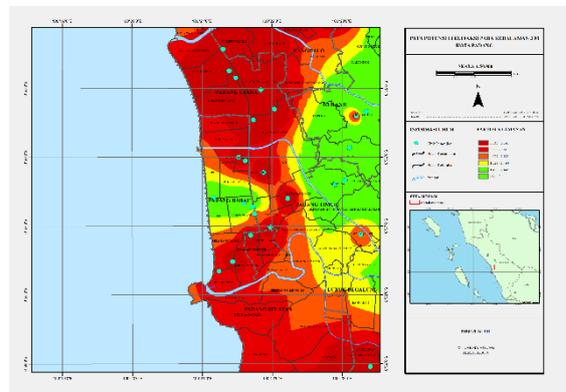
Dengan membandingkan nilai CRR dengan CSR, faktor keamanan terhadap bahaya likuifaksi dapat ditentukan. Selanjutnya, kerentanan daerah penelitian terhadap likuifaksi dipetakan dengan software *ArcGIS* menggunakan metode interpolasi spasial sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut.



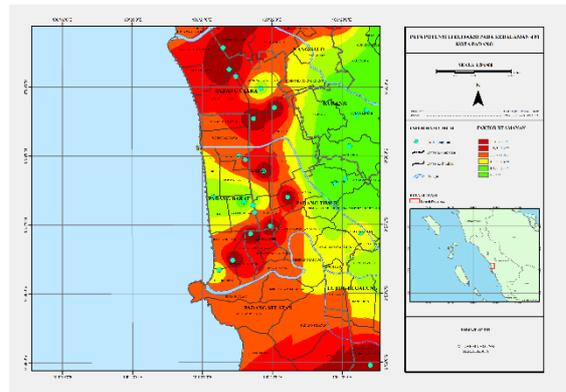
Gambar 8. Peta Potensi Likuifaksi Pada Kedalaman 1 Meter



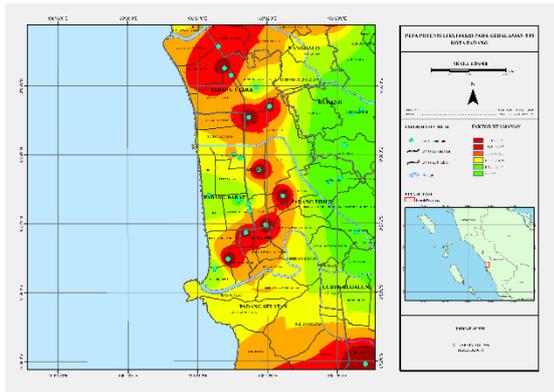
Gambar 9. Peta Potensi Likuifaksi Pada Kedalaman 2 Meter



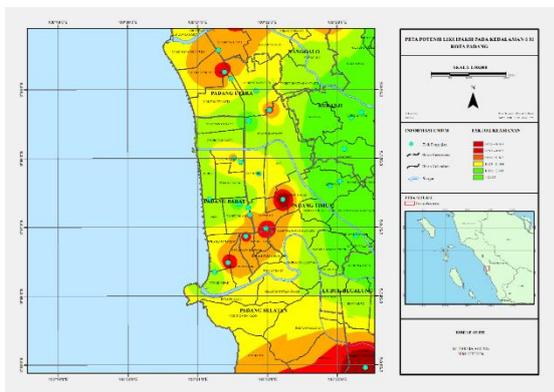
Gambar 10. Peta Potensi Likuifaksi Pada Kedalaman 3 Meter



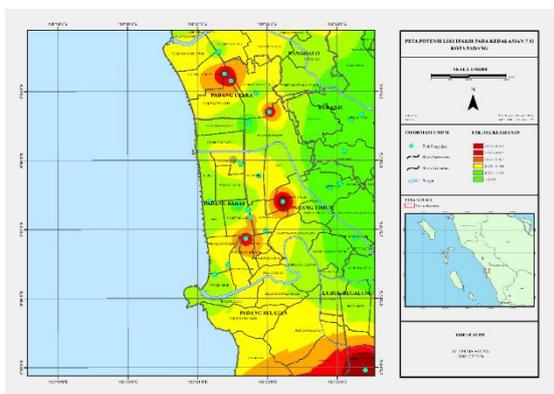
Gambar 11. Peta Potensi Likuifaksi Pada Kedalaman 4 Meter



Gambar 12. Peta Potensi Likuifaksi Pada Kedalaman 5 Meter



Gambar 13. Peta Potensi Likuifaksi Pada Kedalaman 6 Meter



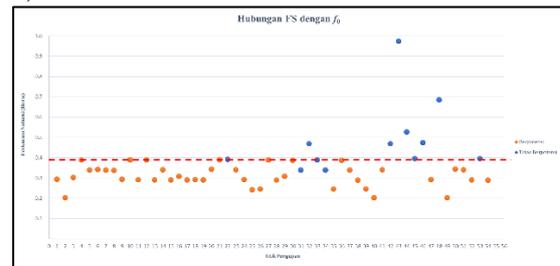
Gambar 14. Peta Potensi Likuifaksi Pada Kedalaman 7 Meter

3.2 Frekuensi Natural Tanah

Nilai f_0 pada daerah penelitian berada antara 0.202 – 0.974 hertz dengan rata-rata 0.358 hertz. Rentang nilai ini menunjukkan bahwa permukaan tanah lokasi penelitian tersusun atas batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi, tanah lunak dan lumpur dengan tebal lapisannya mencapai 30 m. Hal ini didukung dengan adanya data SPT pada beberapa titik pengujian yang menunjukkan tanah dengan klasifikasi lempung kepasiran (SC) dan pasir

kasar (SP) hingga kedalaman 30 m. Nilai f_0 tertinggi berada di titik 43 (Belimbing, Kuranji) dan terendah berada di titik 49.

Pada Gambar 15 terlihat bahwa titik yang bisa diaktakan aman likuifaksi mempunyai frekuensi natural 0.340 – 0.974 hertz, Adapun titik yang berpotensi likuifaksi memiliki frekuensi natural yang tidak lebih dari 0,3912 hertz.



Gambar 15. Frekuensi Natural Tanah

Dengan membandingkan nilai frekuensi natural tanah dengan potensi likuifaksi pada titik pengujian, maka hubungannya dapat dilihat pada Gambar 15. Suatu titik diasumsikan aman likuifaksi jika dari total kedalaman tanah yang ditinjau, lebih dari 65% nilai SF-nya lebih dari 1,0.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Bentuk potensi likuifaksi di Kota Padang berbeda-beda tergantung kepada kedalaman tanah yang ditinjau. Pada kedalaman 1 m, hampir seluruh wilayah penelitian berpotensi mengalami likuifaksi dengan daerah pesisir pantai memiliki tingkat kerentanan sangat tinggi. Pada umumnya potensi likuifaksi berkurang seiring bertambahnya kedalaman. Pada kedalaman 7 m, hanya terdapat 6 titik yang masih dalam kategori kerentanan tinggi
2. (warna merah) yaitu di Kelurahan Belakang Pondok, Sawahan Timur, Alai dan 2 titik di Ulak Karang Selatan.
3. Terdapat hubungan antara potensi likuifaksi dengan frekuensi natural tanah (f_0), dimana tanah dengan nilai f_0 lebih dari 0,3912 hertz tidak berpotensi likuifaksi.

4.2 Saran

1. Untuk pengembangan bagi penelitian evaluasi potensi likuifaksi selanjutnya disarankan untuk memperluas batasan daerah penelitian dan menambah jumlah titik pengujian CPT dan/atau SPT dengan jarak yang lebih kecil serta data penelitian kedalaman muka air tanah terbaru untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.
2. Hasil perhitungan evaluasi potensi likuifaksi dengan data CPT dan SPT sebaiknya dibandingkan dengan metode analisis lainnya, seperti dengan metode *Strain Based Methods* atau *Energy Based Methods*.
3. Pengukuran frekuensi natural tanah (f_0) sebaiknya dilakukan pada saat minimnya *noise/gangguan* dari aktivitas manusia.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Padang.(2021). *Data Kepadatan Penduduk Kota Padang Berdasarkan Wilayah 2018 - 2020*. dikutip dari padangkota.bps.go.id

Fauzi, F. Y. (2017). Liquefaction Susceptibility Zonation Based On Correlation of Water Table With The Liquefactions Occurance Cause By September 2009 Earthquake In Padang City, West Sumatera. *PROCEEDING, Seminar Nasional Kebumihan Ke-X*, 100-109.

Hakam, A. (2012). Soil Liquefaction in Padang due to Padang Earthquake 30 September 2009. *Civil Engineering Dimension*, 64-68.

Idriss, I., & Boulanger, R. (2008). *Soil Liquefaction During Earthquake*. California: Earthquake Engineering Research Institute.

Kompas. (2009, Oktober 28). *1.195 Tewas, 4,8 Triliun Kerugian Gempa Padang*. Dikutip dari <https://edukasi.kompas.com/read/2009/10/28/1141045/1.195.Tewas.4.8.Triliun.Kerugian.Gempa.Padang>

Pramono, P. (2014). *Kajian Geoteknik Infrastruktur Untuk Kota Padang Menghadapi Ancaman Gempa Dan Tsunami*. Bandung: LIPI Universitas Katolik Parahyaangan.

Robertson, P., & Wride, C. (. (1998). Evaluating Cyclic Liquefaction Potential

Using the Cone Penetration Test. *Can. Geotech. J.*, 442-459.

Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1971). Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*.

SESAME. (2004). Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique On Ambient Vibrations. Europe : SESAME Europe Reseach Project

Tohari, A., Sugianti, K., & Soebowo, E. (2011). Liquefaction Potential at Padang City: A Comparison of Predicted and Observed Liquefactions During the 2009 Padang Earthquake. *Ris.Geo.Tam Vol. 21, No.1*, 7-19.

Youd, T. L., & 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. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 297-313.