

## Analisis Potensi Likuifaksi Pada Beberapa Lokasi di Kota Padang Menggunakan Kurva Tsuchida dan *Chinese Criteria*

Novy Haryati<sup>1,2\*</sup>, Elita Amrina<sup>2</sup>, Dimas Ilham Ramadona<sup>1</sup> & Greschea Jheskhilka Ananda Safitry<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang, Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang – 25 143, Indonesia

<sup>2</sup> Program Studi Program Profesi Insinyur, Sekolah Pascasarjana, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang - 25175, Indonesia

Email: [novyharyati@itp.ac.id](mailto:novyharyati@itp.ac.id)

Dikirim: 17 Mei 2025

Direvisi: 6 Agustus 2025

Diterima: 6 Agustus 2025

### ABSTRAK

Likuifaksi merupakan salah satu fenomena geoteknik yang dapat menyebabkan kerusakan struktural serius, khususnya pada wilayah dengan kondisi tanah jenuh dan aktivitas seismik tinggi seperti Kota Padang. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi likuifaksi di lima lokasi berbeda melalui pengujian laboratorium dan pendekatan empiris menggunakan kurva Tsuchida serta *Chinese Criteria*. Pengambilan sampel dilakukan di GOR H. Agus Salim, Kampus 1 dan 2 Institut Teknologi Padang, Lubuk Lintah, dan Parak Karakah. Pengujian meliputi analisis saringan, kadar air, batas Atterberg, berat jenis dan berat isi kering. Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa seluruh sampel tergolong pasir seragam (SP) dengan kadar butiran halus <5%. Analisis Tsuchida mengindikasikan dua lokasi memiliki potensi likuifaksi tinggi, sedangkan tiga lokasi lainnya berada dalam zona transisi hingga tidak likuifaksi. Evaluasi *Chinese Criteria* menunjukkan bahwa tiga lokasi memenuhi kriteria potensi likuifaksi tinggi berdasarkan nilai  $LL < 35\%$ ,  $PI < 10$ , dan rasio  $w_c/LL > 0,8$ . Hasil evaluasi ini divisualisasikan dalam bentuk peta lokasi berdasarkan koordinat geografis. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pemetaan awal zona rawan likuifaksi dan dapat dijadikan referensi mitigasi risiko geoteknik di kawasan perkotaan.

**Kata kunci:** likuifaksi, kurva Tsuchida, *Chinese Criteria*, tanah pasir, Kota Padang

### 1. PENDAHULUAN

Likuifaksi merupakan salah satu dampak paling berbahaya dari gempabumi yang terjadi pada lapisan tanah jenuh berbutir halus atau pasir lepas. Fenomena ini menyebabkan kehilangan kekuatan geser tanah secara tiba-tiba akibat peningkatan tekanan air pori, sehingga berdampak pada deformasi tanah dan keruntuhan struktur di atasnya. Sejumlah peristiwa besar seperti Gempa Niigata 1964 di Jepang dan Gempa Palu 2018 di Indonesia menjadi bukti nyata kerusakan masif yang ditimbulkan oleh likuifaksi terhadap infrastruktur dan kehidupan sosial ekonomi masyarakat (Idriss and Boulanger, 2008; Tsuchida, 1970). Studi menunjukkan bahwa potensi terjadinya likuifaksi dipengaruhi oleh sejumlah faktor, baik yang berkaitan dengan karakteristik tanah maupun kondisi lingkungan. **Tabel 1** berikut merangkum faktor-faktor utama yang mempengaruhi potensi likuifaksi berdasarkan beberapa hasil penelitian:

**Tabel 1.** Faktor-faktor yang Mempengaruhi Terjadinya Likuifaksi

| No | Faktor Pengaruh             | Keterangan                                                       | Sumber                                         |
|----|-----------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1  | Jenis tanah                 | Pasir lepas, lanau non-plastik paling rentan                     | Seed & Idriss (1982), Bray & Sancio (2006)     |
| 2  | Kedalaman muka air tanah    | Semakin dangkal, semakin besar potensi likuifaksi                | Youd et al. (2001)                             |
| 3  | Kadar air tanah (wc)        | Tanah jenuh atau hampir jenuh berisiko tinggi                    | Wang (1979), Boulanger & Idriss (2004)         |
| 4  | Nilai batas cair dan PI     | $LL < 35\%$ , $PI < 10$ berisiko tinggi                          | <i>Chinese Criteria</i> , Bray & Sancio (2006) |
| 5  | Kepadatan relatif           | Tanah lepas lebih mudah terlikuefaksi daripada tanah padat       | Kramer (1996)                                  |
| 6  | Intensitas dan durasi gempa | Akselerasi dan waktu getar memengaruhi pembangkitan tekanan pori | Idriss & Boulanger (2008)                      |

Kota Padang merupakan wilayah dengan aktivitas seismik tinggi yang terletak pada zona subduksi megathrust. Berdasarkan peta mikrozonasi dan beberapa penelitian sebelumnya, sejumlah daerah di Kota Padang telah teridentifikasi memiliki potensi likuifaksi, namun belum seluruh wilayah terpetakan secara detail. Sabri (2020) menganalisis potensi likuifaksi di kawasan GOR H. Agus Salim dengan pendekatan indeks potensial likuifaksi (LPI) dan menyimpulkan bahwa lokasi tersebut memiliki potensi tinggi terhadap likuifaksi. Sementara itu, penelitian lain telah menghasilkan peta zona likuifaksi awal untuk Kota Padang, namun belum mencakup wilayah penting seperti Parak Karakah, Lubuk Lintah, atau Kampus ITP (Liliwarti et al., 2018). Studi lain oleh Hakam et al. (2021) mengevaluasi korelasi antara kedalaman muka air tanah dan nilai indeks plastisitas (PI) terhadap potensi likuifaksi di daerah pesisir Sumatera Barat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi likuifaksi di lima lokasi berbeda di Kota Padang dengan pendekatan empiris menggunakan dua metode, yaitu kurva Tsuchida dan Chinese Criteria. Metode Tsuchida digunakan untuk menilai potensi likuifaksi berdasarkan distribusi ukuran butiran tanah, sedangkan Chinese Criteria mengevaluasi parameter plastisitas dan kejenuhan tanah. Pengujian laboratorium dilakukan terhadap sampel tanah dari masing-masing lokasi untuk memperoleh data teknis yang relevan, seperti kadar air, indeks plastisitas dan klasifikasi jenis tanah. Luaran dari penelitian ini adalah informasi kuantitatif mengenai potensi likuifaksi di tiap titik uji yang divisualisasikan dalam bentuk peta lokasi. Hasil ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan basis data geoteknik perkotaan serta menjadi masukan awal dalam perencanaan mitigasi bencana dan pengembangan infrastruktur tahan gempa di Kota Padang.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi likuifaksi di lima titik berbeda di Kota Padang berdasarkan uji laboratorium dan pendekatan empiris. Metode penelitian menggabungkan survei lapangan, pengujian sifat fisik tanah di laboratorium, analisis klasifikasi, serta pemetaan titik uji berdasarkan koordinat geografi. Evaluasi dilakukan dengan mengadopsi dua pendekatan umum dalam studi likuifaksi, yaitu Kurva Tsuchida untuk tanah berbutir kasar dan Chinese Criteria untuk tanah dengan kandungan halus plastis.

### 2.1 Pengujian Laboratorium

Penelitian dilaksanakan pada periode Januari hingga April 2025. Lima lokasi dipilih berdasarkan variasi topografi dan keterwakilan spasial terhadap wilayah perkotaan. Lokasi tersebut adalah:

- GOR H. Agus Salim (lokasi pembanding, terbukti mengalami likuifaksi)
- Kampus 1 ITP – Kecamatan Nanggalo
- Kampus 2 ITP – Kecamatan Koto Tengah
- Lubuk Lintah – SMK 1 Sumbar – Kecamatan Kuranji
- Parak Karakah – Kecamatan Padang Timur

Setiap titik diambil koordinatnya secara manual dan dicatat dalam format lintang–bujur. Sampel tanah diambil hingga kedalaman antara 1,0 hingga 1,2 meter, di bawah muka air tanah alami.

Pengambilan sampel yang akan diuji di laboratorium dilakukan secara langsung di lapangan menggunakan bor tangan (auger boring). Tanah yang diambil dimasukkan ke dalam kantong plastik bersegel untuk menjaga kadar air alami. Semua sampel diuji di Laboratorium Mekanika Tanah Institut Teknologi Padang. **Tabel 2** menyajikan rekapitulasi hasil evaluasi potensi likuifaksi dari lima lokasi pengujian berdasarkan dua pendekatan, yaitu Kurva Tsuchida dan Chinese Criteria.

**Tabel 2.** Jenis-jenis pengujian laboratorium

| Jenis Pengujian                 | Standar Acuan                 | Tujuan                                        |
|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------|
| Kadar air ( $W_n$ )             | SNI 1965:2019                 | Menentukan kejenuhan tanah                    |
| Batas Atterberg (LL, PL, PI)    | SNI 1966:2008 & SNI 1967:2008 | Menilai plastisitas tanah halus               |
| Analisis saringan               | SNI 3423:2008                 | Menentukan gradasi dan ukuran dominan butiran |
| Berat jenis tanah ( $G_s$ )     | SNI 3423:2008                 | Digunakan untuk perhitungan parameter lain    |
| Berat isi kering ( $\gamma_d$ ) | SNI 3423:2008                 | Menentukan kepadatan tanah alami              |

Semua data numerik dari pengujian ini digunakan dalam analisis empiris, klasifikasi tanah USCS, dan pemetaan grafik evaluasi potensi likuifaksi.

### 2.2 Metode Evaluasi Potensi Likuifaksi

Dua pendekatan yang digunakan adalah:

- Kurva Tsuchida

Evaluasi dilakukan dengan memplot nilai  $D_{50}$  dan %fines ke dalam grafik Tsuchida. Hasilnya diklasifikasikan dalam tiga zona: tinggi, transisi, dan tidak likuifaksi.

## b. Chinese Criteria

Tanah dinyatakan berpotensi likuifaksi jika memenuhi ketiga syarat berikut:

- *Liquid Limit* (LL) < 35%
- *Plasticity Index* (PI) < 10
- Rasio  $w_c/LL > 0,8$

Evaluasi dilakukan berdasarkan hasil uji laboratorium masing-masing lokasi. Setiap lokasi yang diuji diplotkan ke dalam citra peta Kota Padang menggunakan Google Earth, berdasarkan koordinat titik pengambilan sampel. Peta hasil digunakan untuk menunjukkan klasifikasi potensi likuifaksi secara visual, tanpa pendekatan interpolatif berbasis GIS.

### 3. HASIL DAN DISKUSI

Penelitian ini menghasilkan data primer dari lima titik lokasi berbeda di Kota Padang. Seluruh data diperoleh dari pengujian laboratorium terhadap sampel tanah yang diambil langsung di lapangan. Hasil ini kemudian dianalisis menggunakan dua pendekatan empiris: Kurva Tsuchida dan Chinese Criteria, yang masing-masing memberikan klasifikasi terhadap potensi likuifaksi berdasarkan parameter fisik dan plastisitas tanah.

#### 3.1 Karakteristik Fisik Tanah

Dari analisis saringan menunjukkan bahwa seluruh sampel tanah memiliki kandungan butiran halus (% lolos saringan No. 200) kurang dari 5%, yang berarti secara klasifikasi termasuk dalam kelompok pasir seragam (SP) menurut sistem USCS. Nilai D<sub>50</sub> berkisar antara 0,37 mm hingga 0,80 mm. Nilai D<sub>10</sub> dan D<sub>60</sub> kemudian digunakan dalam perhitungan parameter gradasi dan evaluasi dengan kurva Tsuchida. Dari hasil uji kadar air menunjukkan nilai yang bervariasi, mulai dari 36,42% hingga 72,85%. Lokasi dengan kadar air tertinggi adalah Kampus 2 ITP, yang juga memiliki muka air tanah paling dangkal (sekitar 1 meter). Kondisi ini menunjukkan bahwa tanah berada dalam kondisi jenuh atau hampir jenuh, yang merupakan salah satu syarat terjadinya likuifaksi.

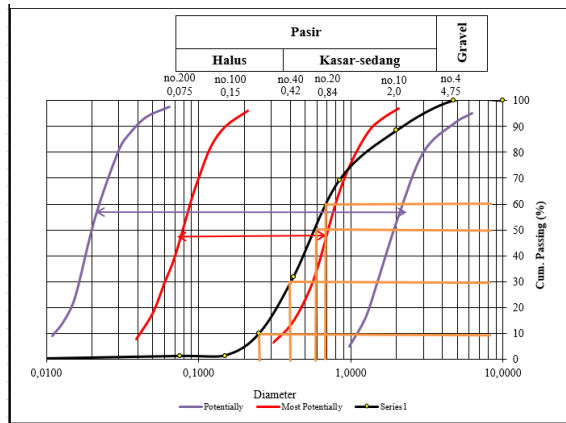
Untuk pengujian batas Atterberg nilai *Liquid Limit* (LL) berkisar antara 32,68% hingga 49,18%, sementara *Plasticity Index* (PI) berkisar antara 1,79 hingga 13,23. Berdasarkan grafik *A-Line*, sebagian besar sampel tergolong lanau plastisitas rendah (ML), kecuali pada lokasi Parak Karakah, yang menunjukkan karakteristik lempung plastisitas rendah (CL). Meskipun nilai PI lebih tinggi, kadar butiran halus yang rendah (<5%) menyebabkan tanah tetap diklasifikasikan sebagai pasir. Kemudian dari pengujian berat jenis diperoleh nilai berat jenis tanah ( $G_s$ ) berkisar antara 2,64 hingga 2,75. Nilai tertinggi ditemukan di lokasi Lubuk Lintah, yang mungkin mengindikasikan keberadaan mineral berat. Nilai berat isi kering ( $\gamma_d$ ) berkisar antara 1,2 hingga 1,7  $\text{gr/cm}^3$ , yang menunjukkan tingkat kerapatan tanah sedang hingga rendah.

#### 3.2 Evaluasi Potensi Likuifaksi Menggunakan Kurva Tsuchida

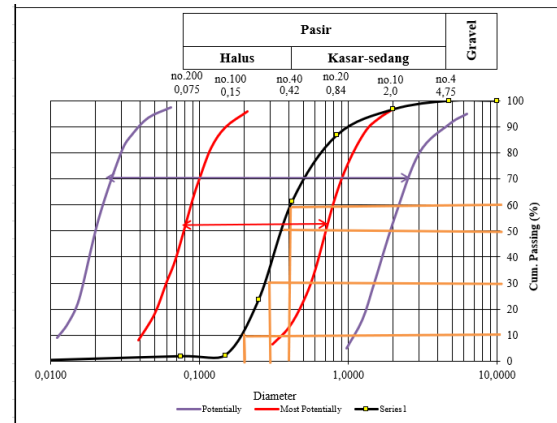
Kurva Tsuchida digunakan untuk mengevaluasi potensi likuifaksi pada tanah berpasir dengan memplot nilai D<sub>50</sub> terhadap persentase butiran halus. Hasil evaluasi menunjukkan:

- GOR H. Agus Salim dan Kampus 2 ITP berada di zona berpotensi tinggi.
- Kampus 1 ITP dan Parak Karakah berada dalam zona transisi.
- Lubuk Lintah termasuk dalam zona tidak likuifaksi, karena memiliki gradasi baik dan kandungan fines sangat rendah.

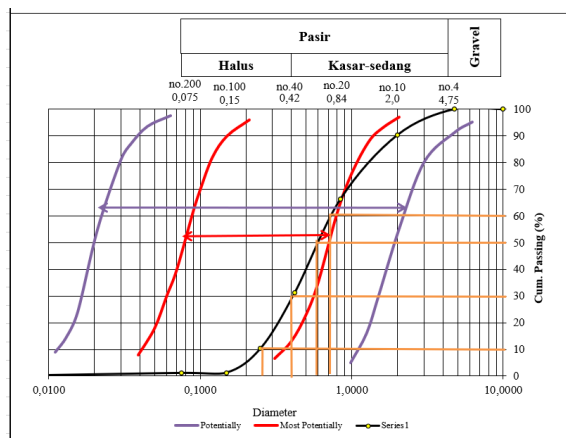
Visualisasi grafik Tsuchida yang dibuat berdasarkan data ini memperkuat bahwa kombinasi gradasi buruk dan kadar air tinggi adalah indikator utama dalam zona potensi tinggi. Hasil analisis potensi likuifaksi berdasarkan Kurva Tsuchida untuk masing-masing lokasi ditampilkan dalam **Gambar 1** hingga **Gambar 5**. Setiap gambar menunjukkan posisi sampel terhadap zona klasifikasi likuifaksi berdasarkan parameter D<sub>50</sub> dan kandungan butiran halus.



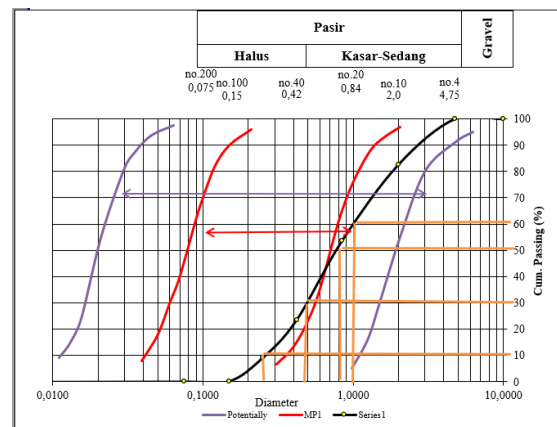
**Gambar 1.** Analisis Tsuchida untuk lokasi GOR Agus Salim



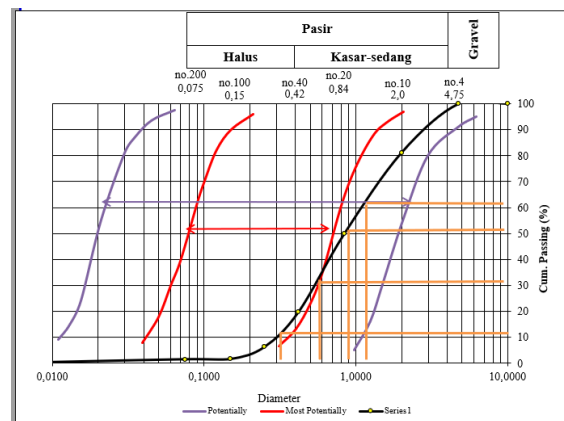
**Gambar 2.** Analisis Tsuchida untuk lokasi Kampus I ITP



**Gambar 3.** Analisis Tsuchida untuk lokasi Kampus II ITP



**Gambar 4.** Analisis Tsuchida untuk lokasi SMK I Lubuk Lintah



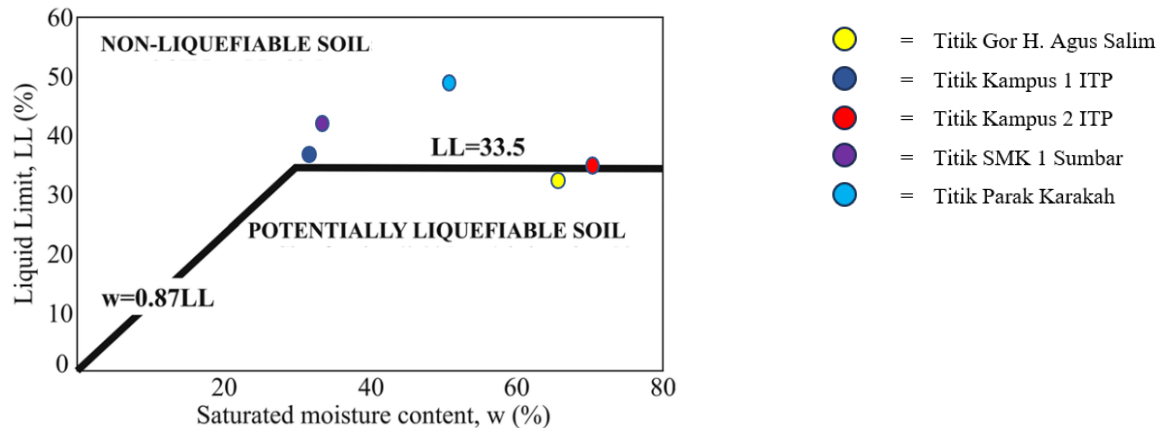
**Gambar 5.** Analisis Tsuchida untuk lokasi Parak Karakah

### 3.3 Evaluasi Potensi Likuifaksi dengan Chinese Criteria

Chinese Criteria mengevaluasi potensi likuifaksi berdasarkan nilai LL, PI, dan rasio  $w_c/LL$ . Hasil evaluasi menunjukkan bahwa tiga lokasi yaitu GOR H. Agus Salim, Kampus 1 ITP, dan Kampus 2 ITP, memenuhi seluruh kriteria:  $LL < 35\%$ ,  $PI < 10$ , dan  $w_c/LL > 0,8$ . Ini mengindikasikan potensi likuifaksi tinggi. Lokasi Lubuk Lintah berada pada batas kritis, sedangkan Parak Karakah memiliki PI yang tinggi, sehingga tergolong tidak berpotensi menurut metode ini.

Grafik Chinese Criteria menunjukkan distribusi rasio  $w_c/LL$  terhadap PI dan menegaskan perbedaan yang signifikan antara tanah kohesif dan non-kohesif dalam potensi likuifaksi. Evaluasi menggunakan Chinese Criteria divisualisasikan dalam **Gambar 6** yang memplot nilai rasio  $w_c/LL$  terhadap PI untuk setiap sampel.

Grafik ini membantu dalam mengidentifikasi batasan plastisitas dan kejenuhan yang berkontribusi terhadap potensi likuifaksi.



**Gambar 6.** Evaluasi Potensi Likuefaksi Berdasarkan Chinese Criteria

**Tabel 3.** Rekapitulasi hasil evaluasi potensi likuifaksi dari lima lokasi pengujian di Kota Padang

| Lokasi Penelitian           | Kurva Tsuchida | Chinese Criteria | Kesimpulan Potensi |
|-----------------------------|----------------|------------------|--------------------|
| GOR H. Agus Salim           | Tinggi         | Tinggi           | Tinggi             |
| Kampus 1 ITP                | Transisi       | Tinggi           | Sedang             |
| Kampus 2 ITP                | Tinggi         | Tinggi           | Tinggi             |
| Lubuk Lintah – SMK 1 Sumbar | Tidak          | Rendah/Transisi  | Rendah             |
| Parak Karakah               | Transisi       | Rendah           | Rendah             |

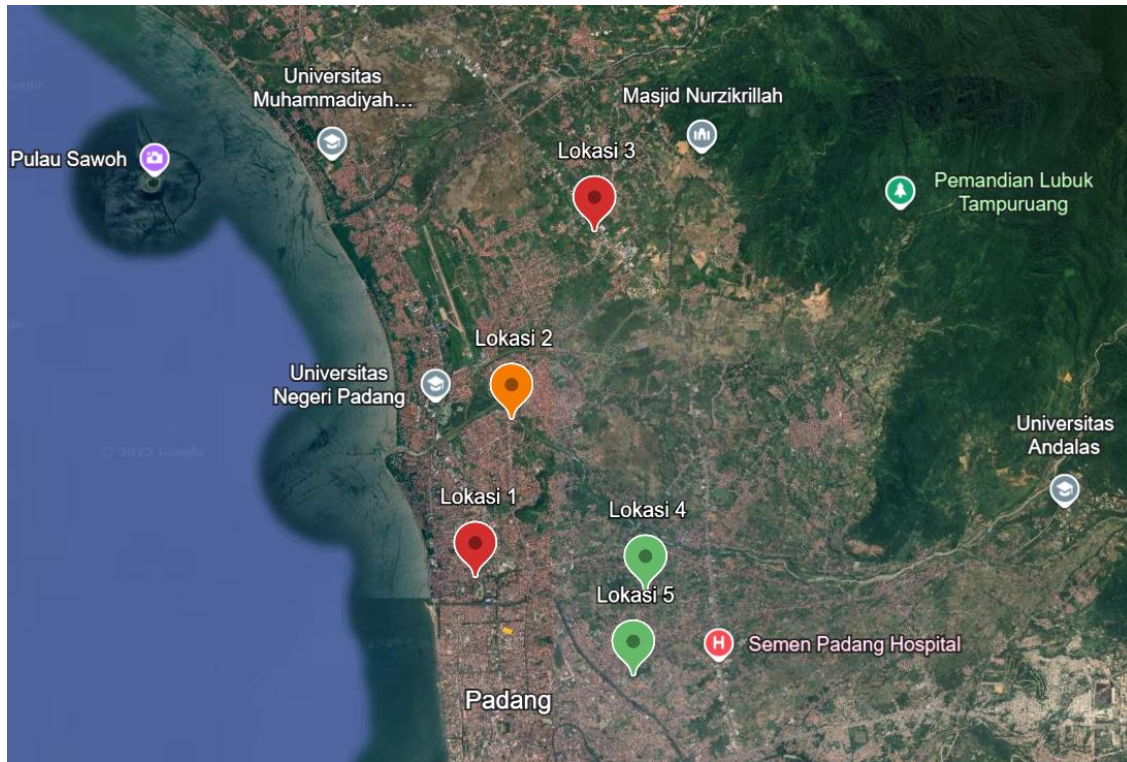
**Tabel 3** menyajikan rekapitulasi hasil evaluasi potensi likuifaksi dari lima lokasi pengujian di Kota Padang. Evaluasi dilakukan menggunakan dua pendekatan, yaitu Kurva Tsuchida dan Chinese Criteria. Masing-masing metode memberikan klasifikasi berbeda berdasarkan parameter yang digunakan, dan hasil akhir dari tiap lokasi dirangkum ke dalam kategori potensi likuifaksi secara keseluruhan (tinggi, sedang, atau rendah). Tabel ini juga menunjukkan konsistensi dan variasi hasil antara dua metode evaluasi. Konsistensi antara dua metode pada titik tertentu (misalnya GOR H. Agus Salim dan Kampus 2 ITP) memperkuat validitas pendekatan. Namun, perbedaan hasil pada lokasi seperti Parak Karakah menekankan pentingnya penggunaan multi-metode dalam evaluasi geoteknik, terutama untuk tanah dengan sifat campuran.

### 3.4 Visualisasi Peta Potensi Likuefaksi

Sebagai langkah akhir dalam analisis potensi likuefaksi, dilakukan pemetaan visual lokasi penelitian berdasarkan hasil klasifikasi potensi likuefaksi. Pemetaan ini tidak menggunakan sistem informasi geografis (SIG) atau pemodelan geospasial berbasis interpolasi, tetapi berupa pemetaan langsung titik koordinat lokasi pengambilan sampel (Tabel 4) pada citra peta Kota Padang menggunakan layanan Google Earth. Setiap titik lokasi diberi penanda berdasarkan tingkat potensi likuefaksinya sesuai dengan hasil evaluasi dari metode Tsuchida dan Chinese Criteria. **Gambar 7** menunjukkan visualisasi lokasi sampel penelitian berdasarkan klasifikasi potensi likuifaksi. Lokasi-lokasi tersebut dipetakan menggunakan Google Earth dan diberi simbol sesuai tingkat risikonya.

**Tabel 4.** Koordinat dan kategori potensi likuifaksi di lokasi penelitian

| No | Lokasi Penelitian           | Koordinat (Lat, Long)     | Kategori Potensi Likuefaksi |
|----|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 1  | GOR H. Agus Salim           | (-0.9274722, 100.3577778) | Tinggi                      |
| 2  | Kampus 1 ITP                | (-0.9002695, 100.3639842) | Sedang                      |
| 3  | Kampus 2 ITP                | (-0.8681040, 100.3783240) | Tinggi                      |
| 4  | Lubuk Lintah – SMK 1 Sumbar | (-0.9297339, 100.3870452) | Rendah                      |
| 5  | Parak Karakah               | (-0.9444150, 100.3849580) | Rendah                      |



**Gambar 7.** Visualisasi peta lokasi dan tingkat potensi likuefaksi

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah mengevaluasi potensi likuifaksi di lima lokasi di Kota Padang melalui pengujian laboratorium dan analisis empiris menggunakan kurva Tsuchida dan Chinese Criteria. Karakteristik tanah dari kelima lokasi menunjukkan bahwa seluruh sampel termasuk dalam klasifikasi pasir seragam (SP) berdasarkan sistem USCS, dengan kandungan butiran halus di bawah 5%. Namun, nilai batas cair dan indeks plastisitas pada beberapa lokasi menunjukkan kecenderungan perilaku lanauan dan lempung plastisitas rendah. Berdasarkan evaluasi menggunakan kurva Tsuchida, dua lokasi yaitu GOR H. Agus Salim dan Kampus 2 ITP termasuk dalam zona berpotensi tinggi terhadap likuifaksi, sedangkan Kampus 1 ITP dan Parak Karakah berada di zona transisi. Lubuk Lintah tergolong tidak berpotensi likuifaksi karena memiliki gradasi butiran baik dan kadar fines sangat rendah. Berdasarkan evaluasi menggunakan Chinese Criteria, tiga lokasi yakni GOR H. Agus Salim, Kampus 1 ITP, dan Kampus 2 ITP memenuhi semua parameter likuifaksi ( $LL < 35\%$ ,  $PI < 10$ , dan  $w_c/LL > 0,8$ ), sehingga dikategorikan berpotensi tinggi. Lubuk Lintah berada di batas transisi, sedangkan Parak Karakah tergolong berpotensi rendah. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa penggunaan dua metode memberikan informasi yang saling melengkapi. Evaluasi Tsuchida lebih sesuai untuk tanah berpasir, sementara Chinese Criteria memberikan gambaran tambahan terhadap sifat plastisitas dan kejenuhan tanah halus. Oleh karena itu, penggunaan pendekatan kombinasi direkomendasikan dalam penilaian potensi likuifaksi di lapangan. Penelitian ini juga berhasil memvisualisasikan titik-titik lokasi berdasarkan potensi likuifaksi dalam peta Kota Padang menggunakan citra *Google Earth*. Hasil ini diharapkan menjadi kontribusi awal dalam pengembangan pemetaan risiko geoteknik berbasis data primer, dan dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan teknis dalam perencanaan pembangunan dan mitigasi bencana.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2008a). *SNI 1966:2008 – Metode uji batas plastis tanah*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008b). *SNI 1967:2008 – Metode uji batas cair tanah*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008c). *SNI 3423:2008 – Metode pengujian berat isi dan berat jenis tanah*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1965:2019 – Cara uji kadar air tanah*. Jakarta: BSN.
- Boulanger, R.W. & Idriss, I. M. (2004). State-based liquefaction criteria for silts and clays. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(11).
- Bray, J.D. & Sancio, R. B. (2006). Assessment of the liquefaction susceptibility of fine-grained soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(9).
- Hakam, A., Elvira, R. & Zainul, R. (2021). Pengaruh muka air tanah terhadap potensi likuifaksi di daerah



- pesisir Padang. *Jurnal Geoteknik*, 7(1), 15–23.
- Idriss, I.M. & Boulanger, R. . (2008). Soil liquefaction during earthquakes. *Oakland: Earthquake Engineering Research Institute*.
- Kramer, S. L. (1996). Geotechnical earthquake engineering. *New Jersey: Prentice Hall*.
- Liliwarti, N., Akmal, H. & Walid, H. (2018). Peta zona likuifaksi Kota Padang berdasarkan parameter tanah dan tinggi muka air tanah. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 14(2), 105–112.
- Sabri, A. (2020). Analisis potensi likuifaksi di kawasan GOR H. Agus Salim Padang menggunakan metode LPI. *Jurnal Teknik Sipil Unand*, 20(1).
- Seed, H.B. & Idriss, I. M. (1982). Ground motions and soil liquefaction during earthquakes. *Oakland: Earthquake Engineering Research Institute*.
- Tsuchida, H. (1970). Prediction and countermeasure against the liquefaction in sand deposits. *Seminar in Soil Dynamics and Liquefaction, Tokyo*.
- Wang, W. (1979). Some findings in soil liquefaction. *Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute, Beijing*.