Kajian Karakteristik Fisis Tanah sebagai Indikasi Awal Potensi Likuifaksi di Kota Padang

Wulandari*, Yolanda Wulandari, Rafika Andari & Agus

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang, Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang – 25 143, Indonesia

Email: wulandrii71@gmail.com

Dikirim: 22 Juli 2026 Direvisi: 29 Juli 2026 Diterima: 30 Juli 2026

ABSTRAK

Likuifaksi merupakan fenomena penurunan kekuatan dan kekakuan tanah akibat peningkatan tekanan air pori selama pembebanan siklik, terutama pada tanah berpasir jenuh air. Kota Padang memiliki aktivitas kegempaan tinggi sehingga karakteristik tanah setempat perlu ditelaah sebagai dasar penyelidikan awal kerentanan likuifaksi. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi karakteristik fisis tanah di Kampus 1 dan Kampus 2 Institut Teknologi Padang melalui distribusi ukuran butir dan data kepadatan kering. Sampel tanah terganggu diambil dari dua lokasi pada kedalaman di bawah muka air tanah, kemudian diuji di laboratorium melalui analisis saringan dan pengujian kepadatan. Hasil analisis saringan menunjukkan persentase lolos saringan No. 200 sebesar 1,95% pada Kampus 1 dan 1,08% pada Kampus 2, dengan diameter butir median masing-masing 0,22 mm dan 0,35 mm. Kedua sampel didominasi material berpasir dengan kandungan butiran halus rendah. Nilai kepadatan kering lapangan yang dilaporkan sebesar 1,140 g/cm³ dan 1,199 g/cm³, tetapi keduanya lebih rendah daripada kepadatan kering minimum hasil laboratorium sehingga interpretasi kerapatan relatif masih memerlukan verifikasi. Pemeriksaan konsistensi data kepadatan menjadi langkah penting sebelum parameter tersebut digunakan untuk menyimpulkan kondisi tanah secara kuantitatif. Temuan ini memberikan gambaran awal karakteristik tanah yang relevan bagi kajian likuifaksi, tetapi belum cukup untuk menentukan tingkat kerentanan tanpa pengujian geoteknik lanjutan dan evaluasi pembebanan gempa.

Kata kunci: likuifaksi, karakteristik fisis tanah, distribusi ukuran butir, tanah berpasir, Kota Padang

1. PENDAHULUAN

Indonesia terletak pada kawasan tektonik aktif yang dipengaruhi oleh interaksi lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik sehingga memiliki tingkat aktivitas kegempaan yang tinggi. Salah satu wilayah dengan kerawanan gempa adalah Kota Padang, yang sebagian kawasannya tersusun atas endapan aluvial berpasir dan memiliki kondisi muka air tanah relatif dangkal (Hakam, 2020). Gempa bumi 30 September 2009 telah menyebabkan kerusakan infrastruktur dan memicu fenomena likuifaksi pada beberapa lokasi di Kota Padang (Putra et al., 2009; Liliwarti, 2018). Penelitian Iskandar et al. (2024) menunjukkan bahwa karakteristik pembebanan gempa, termasuk durasi gerakan tanah, memengaruhi respons tekanan air pori dan potensi likuifaksi di kawasan Pasar Raya Padang. Sementara itu, Putra et al. (2025) mengkaji potensi likuifaksi di Kota Padang melalui kombinasi data penyelidikan tanah dan pengukuran mikrotremor. Temuan tersebut menunjukkan pentingnya penyelidikan karakteristik tanah sebagai bagian dari upaya identifikasi dan mitigasi bahaya likuifaksi.

Likuifaksi merupakan fenomena ketika tanah jenuh air mengalami penurunan tegangan efektif akibat peningkatan tekanan air pori selama pembebanan siklik, sehingga kekuatan dan kekakuan tanah dapat berkurang secara signifikan (Seed dan Idriss, 1982). Fenomena ini umumnya berkaitan dengan kondisi tanah berbutir kasar, khususnya pasir lepas dalam keadaan jenuh, meskipun respons tanah juga dipengaruhi oleh karakteristik material dan pembebanan gempa. Boulanger dan Idriss (2016) mengembangkan prosedur evaluasi pemicu likuifaksi berdasarkan data Cone Penetration Test (CPT) dengan mempertimbangkan kondisi tegangan dan karakteristik tanah. Hasil penelitian tersebut menunjukkan pentingnya penggunaan data geoteknik yang memadai dalam penilaian likuifaksi. Pada tahap penyelidikan awal, karakteristik fisis tanah seperti distribusi ukuran butir, kandungan butiran halus, dan kepadatan dapat digunakan sebagai informasi pendukung sebelum dilakukan evaluasi ketahanan likuifaksi secara lebih rinci.

Distribusi ukuran butir merupakan salah satu karakteristik fisis yang berkaitan dengan perilaku tanah granular terhadap pembebanan dinamis. Hakam (2016) menunjukkan bahwa ukuran butir rata-rata dan kerapatan relatif memengaruhi ketahanan pasir terhadap likuifaksi berdasarkan pengujian laboratorium. Pires-Sturm dan DeJong (2022) menemukan bahwa variasi ukuran partikel dan gradasi tanah memengaruhi

DOI: 10.21063/JTS.2026.V1302.0280-284
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0

respons tekanan air pori serta deformasi akibat pembebanan dinamis. Carey et al. (2023) juga menunjukkan bahwa tanah dengan gradasi berbeda dapat menghasilkan respons deformasi yang berbeda meskipun memiliki kerapatan relatif dan kondisi pembebanan yang sama. Selain itu, Goudarzy et al. (2022) menemukan bahwa kandungan dan jenis butiran halus plastis dapat memengaruhi ketahanan likuifaksi campuran pasir. Gu et al. (2024) selanjutnya menunjukkan adanya keterkaitan antara gradasi pasir, kandungan butiran halus, dan ketahanan terhadap pembebanan siklik. Hasil penelitian tersebut memperlihatkan bahwa distribusi ukuran butir perlu dipertimbangkan bersama parameter fisis lainnya dalam mengidentifikasi karakteristik tanah yang berkaitan dengan kerentanan likuifaksi.

Selain distribusi ukuran butir, kondisi kepadatan tanah merupakan faktor penting dalam mengevaluasi perilaku pasir selama pembebanan siklik. Risayanti dan Hakam (2022) mengkaji hubungan ukuran butiran dan tekanan air pori dalam identifikasi potensi likuifaksi pasir seragam. Monkul dan Tütüncü (2024) menunjukkan bahwa hubungan antara kerapatan relatif, kandungan butiran halus, dan ketahanan likuifaksi bersifat kompleks sehingga tidak dapat dijelaskan hanya berdasarkan satu parameter. Pada penelitian di Kota Padang, Sabri et al. (2022) mengevaluasi potensi likuifaksi menggunakan data CPT dan membandingkan beberapa metode analisis. Hasil tersebut menegaskan bahwa karakteristik fisis tanah dapat digunakan sebagai indikator awal, sedangkan penentuan tingkat potensi likuifaksi memerlukan data tambahan mengenai tahanan tanah, kondisi tegangan, muka air tanah, dan pembebanan gempa.

Beberapa penelitian mengenai potensi likuifaksi di Kota Padang telah dilakukan menggunakan pendekatan distribusi ukuran butir, pengujian penetrasi, dan analisis respons tanah terhadap pembebanan gempa. Hakam dan Darjanto (2013) mengkaji potensi likuifaksi kawasan Pantai Padang berdasarkan gradasi butiran dan tahanan penetrasi standar, sedangkan Iskandar et al. (2024) mengevaluasi pengaruh durasi gempa terhadap potensi likuifaksi pada kawasan Pasar Raya Padang. Meskipun demikian, informasi mengenai karakteristik fisis tanah pada kawasan Kampus 1 dan Kampus 2 Institut Teknologi Padang masih perlu dikembangkan sebagai data dasar penyelidikan geoteknik setempat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi karakteristik fisis tanah melalui analisis distribusi ukuran butir dan pengujian kepadatan tanah pada kedua lokasi tersebut. Hasil penelitian digunakan untuk memberikan indikasi awal karakteristik material yang berkaitan dengan kerentanan likuifaksi, sekaligus menyediakan informasi pendukung bagi investigasi geoteknik lebih lanjut. Penelitian ini tidak dimaksudkan untuk menentukan faktor keamanan atau tingkat bahaya likuifaksi secara kuantitatif.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan melalui pengujian laboratorium terhadap sampel tanah terganggu (disturbed soil) yang diambil dari dua lokasi, yaitu Kampus 1 dan Kampus 2 Institut Teknologi Padang. Pemilihan lokasi didasarkan pada perbedaan kondisi geologi dan karakteristik tanah yang mewakili kawasan pendidikan di Kota Padang. Seluruh pengujian laboratorium dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Institut Teknologi Padang. Penelitian dilaksanakan di dua lokasi, yaitu Kampus 1 dan Kampus 2 Institut Teknologi Padang, Kota Padang. Lokasi Kampus 1 berada pada koordinat 0°53'58,6" LS dan 100°21'43,5" BT (Gambar 1), sedangkan Kampus 2 berada pada koordinat 0°52'35,0" LS dan 100°23'20,0" BT (Gambar 2).



Gambar 1. Lokasi 1 Penelitian Kampus 1 ITP

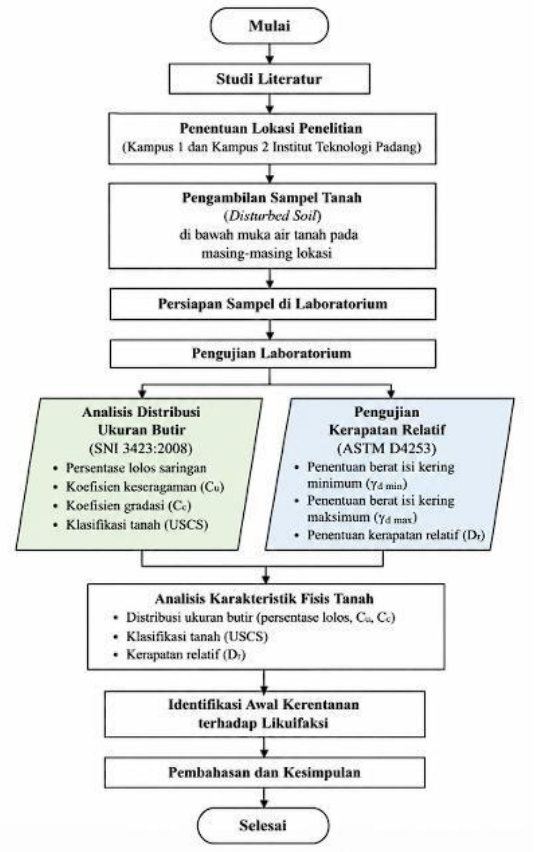
DOI: 10.21063/JTS.2026.V1302.0280-284
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0



Gambar 2. Lokasi 2 Penelitian Kampus 2 ITP

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini berupa tanah terganggu (disturbed soil) yang diambil pada kedalaman di bawah muka air tanah di masing-masing lokasi penelitian. Pengambilan sampel di bawah muka air tanah dilakukan untuk memperoleh material yang mewakili lapisan tanah yang berpotensi mengalami likuifaksi. Setiap lokasi diambil satu sampel sebagai representasi karakteristik tanah setempat. Seluruh sampel kemudian dibawa ke Laboratorium Mekanika Tanah Institut Teknologi Padang untuk dilakukan pengujian karakteristik fisis tanah.

Pengujian laboratorium meliputi analisis distribusi ukuran butir menggunakan metode analisis saringan sesuai SNI 3423:2008 serta pengujian kerapatan relatif (relative density) berdasarkan ASTM D4253. Analisis distribusi ukuran butir dilakukan untuk menentukan persentase lolos saringan, koefisien keseragaman (coefficient of uniformity, Cu), koefisien gradasi (coefficient of curvature, Cc), serta klasifikasi tanah berdasarkan sistem Unified Soil Classification System (USCS). Pengujian kerapatan relatif dilakukan untuk menentukan tingkat kepadatan tanah melalui hubungan antara berat isi kering minimum, berat isi kering maksimum, dan berat isi tanah di lapangan. Hasil kedua pengujian tersebut digunakan sebagai dasar dalam mengidentifikasi karakteristik fisis tanah sebagai indikator awal kerentanan terhadap likuifaksi. Prosedur penelitian dipaparkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

DOI: 10.21063/JTS.2026.V1302.0280-284
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0

3. HASIL DAN DISKUSI

a. Karakteristik Fisik Tanah

Karakteristik fisis tanah (Tabel 1) merupakan parameter penting dalam identifikasi awal kerentanan tanah terhadap likuifaksi. Oleh karena itu, penelitian ini mengevaluasi distribusi ukuran butir dan kerapatan relatif (relative density) dari sampel tanah yang berasal dari Kampus 1 dan Kampus 2 Institut Teknologi Padang. Parameter tersebut selanjutnya dianalisis untuk menentukan karakteristik tanah yang berpotensi rentan terhadap likuifaksi.

Tabel 1.Tabel Hasil Pengujian Analisa Saringan

Lokasi Sampel	% Lolos #10	% Lolos #40	% Lolos #200	D50 (mm)	Klasifikasi AASHTO
Kampus 1 ITP	96,67%	61,42%	1,95%	0,22	A-3 (Pasir Halus)
Kampus 2 ITP	90,24%	31,08%	1,08%	0,35	A-2-7 (Pasir Berlempung)

Hasil pengujian analisis saringan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa kedua sampel tanah memiliki kandungan butiran halus yang relatif rendah. Persentase lolos saringan No. 200 pada Kampus 1 Institut Teknologi Padang sebesar 1,95%, sedangkan pada Kampus 2 Institut Teknologi Padang sebesar 1,08%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kedua sampel didominasi oleh material berbutir kasar dengan fraksi halus yang sangat sedikit. Berdasarkan nilai diameter butir median (D50), tanah di Kampus 1 Institut Teknologi Padang memiliki ukuran butir sebesar 0,22 mm, sedangkan di Kampus 2 Institut Teknologi Padang sebesar 0,35 mm. Kedua nilai tersebut berada pada rentang ukuran pasir halus hingga pasir sedang yang umumnya dijumpai pada endapan aluvial di Kota Padang. Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO, tanah di Kampus 1 Institut Teknologi Padang termasuk kelompok A-3 (pasir halus), sedangkan tanah di Kampus 2 Institut Teknologi Padang termasuk kelompok A-2-7 (pasir berlempung). Hasil pengujian menunjukkan bahwa persentase lolos saringan No. 200 pada Kampus 1 sebesar 1,95%, sedangkan pada Kampus 2 sebesar 1,08%. Dengan demikian, kedua lokasi didominasi oleh material berpasir dengan kandungan butiran halus yang relatif rendah. Persentase butiran halus pada Kampus 1 sedikit lebih tinggi dibandingkan Kampus 2. Klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO yang disajikan pada Tabel 1 merupakan hasil yang dilaporkan dalam penelitian ini. Namun, penetapan kelompok A-2-7 pada Kampus 2 masih memerlukan verifikasi berdasarkan nilai batas cair dan indeks plastisitas yang belum disajikan dalam hasil pengujian.

Hasil analisis distribusi ukuran butir menunjukkan bahwa kedua sampel tanah didominasi oleh material berpasir. Persentase lolos saringan No. 10 pada Kampus 1 dan Kampus 2 Institut Teknologi Padang masing-masing sebesar 96,67% dan 90,24%, sedangkan persentase lolos saringan No. 200 sebesar 1,95% dan 1,08%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua lokasi memiliki kandungan butiran halus yang relatif rendah, dengan persentase butiran halus pada Kampus 1 sedikit lebih tinggi dibandingkan Kampus 2. Berdasarkan hasil yang dilaporkan, tanah Kampus 1 diklasifikasikan sebagai A-3 dan Kampus 2 sebagai A-2-7 menurut sistem AASHTO. Namun, klasifikasi tersebut masih memerlukan verifikasi, khususnya kelompok A-2-7 yang membutuhkan data batas cair dan indeks plastisitas.

Dominasi material berpasir dengan kandungan butiran halus yang rendah merupakan salah satu karakteristik tanah yang berkaitan dengan kerentanan terhadap likuifaksi, terutama apabila tanah berada dalam kondisi jenuh air dan memiliki kepadatan yang rendah (Tsuchida, 1970; Seed dan Idriss, 1982). Meskipun demikian, distribusi ukuran butir saja belum cukup untuk menentukan tingkat kerentanan tanah terhadap likuifaksi karena respons tanah juga dipengaruhi oleh kondisi kepadatan, tegangan efektif, dan pembebanan gempa. Oleh karena itu, hasil analisis distribusi ukuran butir pada penelitian ini digunakan sebagai indikator awal karakteristik tanah yang perlu diperhatikan dalam evaluasi potensi likuifaksi lebih lanjut.

b. Hasil Pengujian Kepadatan Kering Tanah

Pengujian kepadatan tanah dilakukan untuk memperoleh nilai kepadatan kering lapangan, kepadatan kering minimum, dan kepadatan kering maksimum sebagai parameter dasar dalam karakterisasi tanah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kepadatan kering lapangan di Kampus 1 Institut Teknologi Padang sebesar 1,140 g/cm³, sedangkan di Kampus 2 Institut Teknologi Padang sebesar 1,199 g/cm³. Sementara itu, hasil pengujian laboratorium menghasilkan kepadatan kering minimum masing-masing sebesar 1,205 g/cm³ dan 1,253 g/cm³, serta kepadatan kering maksimum sebesar 1,219 g/cm³ dan 1,289 g/cm³. Parameter tersebut memberikan informasi mengenai karakteristik kepadatan tanah pada kedua lokasi penelitian dan dapat digunakan sebagai data pendukung dalam analisis geoteknik yang lebih rinci. Nilai kepadatan kering lapangan yang dilaporkan pada kedua lokasi lebih rendah daripada kepadatan kering minimum hasil pengujian laboratorium. Oleh karena itu, data tersebut belum dapat digunakan untuk menentukan kerapatan relatif tanah secara andal tanpa pemeriksaan lebih lanjut terhadap metode dan hasil pengujian. Nilai asli tetap ditampilkan untuk menjaga keterlacakan data yang dilaporkan.

DOI: 10.21063/JTS.2026.V1302.0280-284
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0

Tabel 2. Hasil Pengujian Kepadatan Kering Lapangan, Minimum, dan Maksimum

Parameter	Units	Kampus 1 ITP	Kampus 2 ITP
Kepadatan Lapangan (γ_d)	g/cm^3	1.140	1.199
Kepadatan min	g/cm^3	1.205	1.253
Kepadatan maks	g/cm^3	1.219	1.289

c. Indikasi Awal Potensi Likuifaksi Berdasarkan Karakteristik Fisis Tanah

Indikasi awal potensi likuifaksi pada penelitian ini dilakukan melalui interpretasi karakteristik fisis tanah berdasarkan hasil analisis distribusi ukuran butir dan pengujian kepadatan tanah. Tanah yang didominasi oleh material berpasir dengan kandungan butiran halus yang rendah umumnya memiliki kerentanan yang lebih tinggi terhadap likuifaksi, terutama apabila berada dalam kondisi jenuh air dan mengalami pembebanan dinamis akibat gempa bumi.

Berdasarkan hasil pengujian, tanah pada Kampus 1 dan Kampus 2 Institut Teknologi Padang didominasi oleh material berpasir dengan kandungan butiran halus yang rendah. Karakteristik tersebut menunjukkan adanya indikasi awal kerentanan terhadap likuifaksi berdasarkan parameter fisis tanah yang dianalisis pada penelitian ini. Namun demikian, hasil tersebut merupakan identifikasi awal sehingga diperlukan investigasi geoteknik yang lebih rinci, seperti pengujian Standard Penetration Test (SPT), Cone Penetration Test (CPT), atau pengujian laboratorium dinamis untuk memperoleh evaluasi potensi likuifaksi yang lebih komprehensif. Dengan demikian, analisis karakteristik fisis tanah dapat digunakan sebagai langkah awal dalam mengidentifikasi daerah yang berpotensi mengalami likuifaksi dan menjadi dasar dalam perencanaan investigasi geoteknik serta mitigasi bencana di kawasan penelitian.

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian karakteristik fisis tanah pada Kampus 1 dan Kampus 2 Institut Teknologi Padang menunjukkan bahwa kedua lokasi didominasi oleh material berpasir dengan kandungan butiran halus yang relatif rendah. Persentase lolos saringan No. 200 masing-masing sebesar 1,95% dan 1,08%, dengan diameter butir median sebesar 0,22 mm dan 0,35 mm. Karakteristik tersebut merupakan salah satu indikator awal yang perlu diperhatikan dalam penyelidikan potensi likuifaksi. Namun, data kepadatan tanah yang dilaporkan masih memerlukan verifikasi sehingga belum dapat digunakan untuk menentukan kondisi kerapatan relatif secara andal. Hasil penelitian ini memberikan informasi awal mengenai karakteristik material tanah pada kedua lokasi, sedangkan evaluasi tingkat kerentanan likuifaksi secara kuantitatif memerlukan investigasi geoteknik lebih lanjut melalui pengujian SPT, CPT, atau pengujian laboratorium dinamis.

DAFTAR PUSTAKA

Boulanger, R. W., & Idriss, I. M. (2016). CPT-based liquefaction triggering procedure. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 142*(2), 04015065. https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001388

Carey, T. J., Love, N. C., & DeJong, J. T. (2023). The liquefaction and cyclic mobility performance of embankment systems constructed with different sand gradations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 149*(10), 04023084. https://doi.org/10.1061/JGGEFK.GTENG-11501

Goudarzy, M., Sarkar, D., & Wichtmann, T. (2022). Influence of plastic fines content on the liquefaction susceptibility of sands: Cyclic loading. *Acta Geotechnica, 17*, 4977–4988. https://doi.org/10.1007/s11440-022-01633-2

Gu, X., Zuo, K., Hu, C., & Hu, J. (2024). Liquefaction resistance and small strain stiffness of silty sand: Effects of host sand gradation and fines content. *Engineering Geology, 335*, 107546. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2024.107546

Hakam, A. and Darjanto, H. (2013) 'Penelusuran Potensi Likuifaksi Pantai Padang Berdasarkan Gradasi Butiran dan Tahanan Penetrasi Standar', Jurnal Teknik Sipil, 20(1), pp. 33–38. doi:10.5614/jts.2013.20.1.4

Hakam, A. (2016). Laboratory Liquefaction Test of Sand Based on Grain Size and Relative Density, *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 48(3), pp. 334–344. doi:10.5614/j.eng.technol.sci.2016.48.3.7.

Hakam, A., 2020. Analisis Praktis Potensi Likuifaksi: Referensi untuk Peneliti dan Praktisi. Padang: Andalas University Press.

DOI: 10.21063/JTS.2026.V1302.0280-284
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0

Iskandar, A., Rifa'i, A., & Hardiyatmo, H. C. (2024). The influence of earthquake significant duration on liquefaction potential in area Pasar Raya Padang. *International Journal of GEOMATE, 27*(123), 100–107. https://doi.org/10.21660/2024.123.4687

Liliwarti, L. (2018). Informasi Titik-Titik Likuifaksi akibat Gempa Bumi di Kota Padang, Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil, 15(1), pp. 17–23. doi:10.30630/jirs.15.1.86.

Monkul, M. M., & Tütüncü, Y. E. (2024). Revisiting the effect of relative density on cyclic liquefaction of clean and silty sands: The crossing effect. *Bulletin of Earthquake Engineering, 22*(8), 3817–3843. https://doi.org/10.1007/s10518-024-01910-3

Pires-Sturm, A. P., & DeJong, J. T. (2022). Influence of particle size and gradation on liquefaction potential and dynamic response. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 148*(6). https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002799

Putra, H.G., Hakam, A. and Lastaruna, D. (2009). Analisa Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Pengujian Sondir (Studi Kasus GOR Haji Agus Salim dan Lapai, Padang, *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 5(1), pp. 11–22. doi:10.25077/jrs.5.1.11-22.2009.

Putra, R. R., Kiyono, J., Zhang, Z., Vanapalli, S., & Agung, M. D. (2025). Natural frequency of liquefaction potential based on soil investigation and microtremor observation results. *Civil Engineering Journal, 11*(8), 3091–3107. https://doi.org/10.28991/CEJ-2025-011-08-02

Risayanti and Hakam, A. (2022). Potensi Likuifaksi Pasir Seragam Berdasarkan Tegangan Air Pori dan Ukuran Butiran (Laboratory Model), *Civil Engineering Collaboration*, 7(2), pp. 45–51. doi:10.35134/jcivil.v7i2.42.

Sabri, M. R., Yusa, M., Wibisono, G., & Soebowo, E. (2022). Evaluasi metode analisis likuifaksi berdasarkan Cone Penetration Test (CPT) studi kasus Kota Padang. *Aptek, 15*(1), 7–13. https://doi.org/10.30606/aptek.v15i1.1506

Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982). *Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes*. Berkeley, CA: Earthquake Engineering Research Institute.

Tsuchida, H. (1970) Prediction and Countermeasure against Liquefaction in Sand Deposits. Abstract of the Seminar in the Port and Harbour Research Institute, Yokohama, Japan.

DOI: 10.21063/JTS.2026.V1302.0280-284
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0