

Pengaruh Kandungan Butiran Halus Pada Pasir Dengan Penambahan Tanah Lempung Terhadap Potensi Likuifaksi

The Effect of Fine Grain Content in Sand with Clay Addition on Liquefaction Potential

Mohammad Maulidani¹⁾, Arief Alihudien²⁾, Hilfi Harisan Ahmad³⁾

¹Mahasiswa Program Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: mohmaulidani0@gmail.com

²Dosen Program Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: ariefalihudien@unmuhjember.ac.id

³Dosen Program Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: hilfiharisanahmad@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Likuifaksi adalah keadaan ketika tanah berbutir halus atau pasir jenuh mengalami kehilangan kekuatan dan kekakuannya secara tiba-tiba akibat peningkatan tekanan air pori yang melebihi tegangan efektif tanah. Fenomena likuifaksi menjadi perhatian serius dalam bidang geoteknik, khususnya di daerah rawan gempa seperti Pantai Puger, Jember. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan butiran halus berupa tanah lempung ke dalam pasir terhadap potensi terjadinya likuifaksi. Sampel tanah yang digunakan terdiri dari pasir murni, lempung murni, serta campuran pasir dengan 10%, 20%, dan 30% tanah lempung. Pengujian dilakukan untuk menentukan parameter geoteknik seperti koefisien keseragaman (C_u), koefisien gradasi (C_c), serta diameter efektif (D_{10} , D_{30} , D_{50} , D_{60}). Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan kandungan tanah lempung menyebabkan nilai C_u dan C_c meningkat, yang berpengaruh terhadap penurunan potensi likuifaksi. Berdasarkan kurva distribusi Tsuchida, campuran 0 – 10% termasuk dalam zona berpotensi tinggi likuifaksi, sedangkan campuran 20 – 30% tergolong zona potensi likuifaksi yang lebih rendah. Dengan demikian, keberadaan butiran halus secara proporsional mampu meningkatkan stabilitas tanah dan menurunkan risiko likuifaksi.

Kata Kunci: keseragaman; gradasi; likuifaksi; lempung; pasir.

Abstract

Liquefaction is a condition where fine-grained soil or saturated sand experiences a sudden loss of strength and stiffness due to an increase in pore water pressure that exceeds the effective stress of the soil. The phenomenon of liquefaction is a serious concern in the field of geotechnics, especially in earthquake-prone areas such as Puger Beach, Jember. This study aims to evaluate the effect of adding fine grains in the form of clay to sand on the potential for liquefaction. The soil samples used consisted of pure sand, pure clay, and a mixture of sand with 10%, 20%, and 30% clay. Tests were conducted to determine geotechnical parameters such as the uniformity coefficient (C_u), gradation coefficient (C_c), and effective diameters (D_{10} , D_{30} , D_{50} , D_{60}). The results of the analysis showed that increasing clay content causes C_u and C_c values to increase, which affects the decrease in liquefaction potential. Based on the Tsuchida distribution curve, a mixture of 0-10% is included in the high-potential liquefaction zone, while a mixture of 20-30% is classified as a lower-potential liquefaction zone. Thus, the presence of fine grains proportionally can increase soil stability and reduce the risk of liquefaction.

Keywords: uniformity; gradation; liquefaction; clay; sand.

1. PENDAHULUAN

Tanah merupakan salah satu elemen penting dalam struktur geoteknik karena memiliki karakteristik yang sangat bervariasi, tergantung pada jenis, kandungan mineral, serta kondisi lingkungan. Salah satu jenis tanah yang sering digunakan dalam konstruksi teknik sipil adalah pasir. Hal ini disebabkan oleh karakteristik pasir yang mudah dipadatkan, memiliki daya dukung yang cukup baik, serta stabil. Namun demikian, dalam kondisi tertentu, pasir dapat menjadi rentan terhadap fenomena likuifaksi, terutama ketika berada di daerah yang sering rawan terjadi gempa bumi.

Gempa bumi sendiri adalah kejadian alam berupa getaran di permukaan bumi akibat pelepasan energi secara tiba-tiba di dalam kerak bumi, seperti akibat pergeseran lempeng tektonik, aktivitas vulkanik, atau keruntuhan struktur bawah permukaan. Umumnya, pemberitaan mengenai gempa lebih menekankan pada kerusakan bangunan, padahal gempa bumi juga dapat menyebabkan kerusakan atau kegagalan yang terkait dengan hilangnya kestabilan tanah (kegagalan pada struktur bagian bawah). Kegagalan struktur ini dapat menimbulkan berbagai dampak, seperti penurunan tanah (*settlement*), tanah longsor, dan salah satunya ialah likuifaksi.

Likuifaksi merupakan proses di mana tanah kehilangan kekuatannya akibat tekanan air pori yang meningkat, biasanya terjadi selama gempa bumi. Fenomena ini terutama terjadi pada tanah pasir jenuh dengan tingkat kepadatan tertentu. Akibat dari likuifaksi dapat berupa kerusakan struktural yang signifikan pada bangunan, infrastruktur, dan fasilitas lainnya. Karakteristik tanah pasir yang berkaitan dengan kerentanannya terhadap likuifaksi dapat diidentifikasi melalui parameter geoteknik, yaitu koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c) karena parameter ini merupakan parameter penting dalam analisis distribusi ukuran butir tanah. Parameter koefisien keseragaman (C_u) mencerminkan keseragaman distribusi butir, sedangkan parameter koefisien gradasi (C_c) menunjukkan derajat keoptimalan distribusi ukuran butir. Kombinasi kedua parameter ini memberikan gambaran tentang karakteristik gradasi tanah yang dapat

memengaruhi respons tanah terhadap tekanan dinamis seperti gempa bumi.

Penelitian ini melibatkan penggunaan beberapa variasi campuran antara butiran halus tanah (lempung) dengan tanah pasir. Komposisi yang digunakan meliputi tanah pasir murni, tanah lempung yang lolos saringan nomor 200, serta campuran berupa 90% pasir dengan 10% lempung, 80% pasir dengan 20% lempung, dan 70% pasir dengan 30% lempung. Dalam studi ini, fokus utama penulis adalah mengidentifikasi dan menganalisis pengaruh koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c) terhadap kerentanan pasir pada potensi terjadinya likuifaksi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Definisi Tanah

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai suatu material alamiah yang tersusun atas agregat atau kumpulan butiran mineral-mineral padat yang tidak tersementasi, artinya tidak terikat secara kimia satu sama lain, namun hanya terikat secara fisik atau mekanis. Di samping itu, tanah juga terdiri dari material organik yang berasal dari pelapukan sisa-sisa organisme, yang telah melalui proses dekomposisi dan berbentuk partikel padat. Karakteristik fisik dan kimia tanah ini sangat penting dalam berbagai bidang teknik, terutama dalam geoteknik, karena sifat-sifat tersebut akan memengaruhi perilaku tanah terhadap beban dan interaksinya dengan struktur yang dibangun di atas atau di dalamnya.

1. Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan jenis tanah yang tersusun atas partikel berukuran sangat kecil, mulai dari skala mikron hingga sub-mikron, yang terbentuk akibat pelapukan fisik dan kimia dari mineral-mineral penyusun batuan, khususnya feldspar dan mika. Karena ukuran partikelnya yang sangat kecil, tanah lempung memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi, yang menyebabkan daya ikat air dan unsur hara juga tinggi. Tanah lempung juga memiliki permeabilitas yang sangat rendah, artinya air sulit untuk meresap melewatinya. Hal ini membuatnya efektif digunakan sebagai lapisan kedap air dalam konstruksi tanggul, bendungan, dan kolam buatan. Pada kondisi kadar air yang

lebih tinggi, tanah lempung menjadi sangat lunak dan kohesif, yaitu memiliki daya rekat yang tinggi antar partikelnya. Sifat kohesif ini menyebabkan tanah lempung cenderung stabil dalam lereng tegak dalam kondisi lembap, tetapi juga berisiko longsor jika kejenuhan air terlalu tinggi.

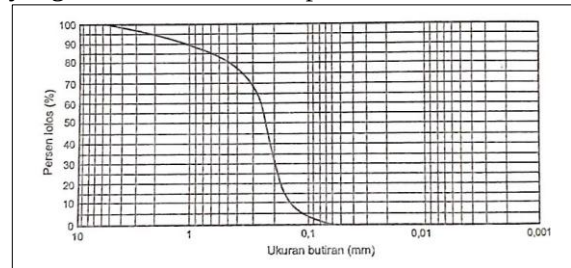
2. Tanah Pasir

Tanah pasir adalah jenis tanah yang terdiri dari partikel-partikel berukuran besar (antara 0,05 hingga 2 mm), yang terbentuk dari hasil pelapukan batuan, terutama batuan kuarsa dan granit. Karena ukuran partikelnya yang relatif besar dan tidak saling menempel dengan kuat, tanah pasir memiliki tekstur kasar, struktur lepas, dan porositas tinggi, yang membuat air dan udara sangat mudah melewatinya. Dalam keadaan kering, tanah pasir terasa lepas dan mudah berjatuh dari tangan. Tidak seperti tanah lempung, tanah pasir tidak plastis dan sulit dipadatkan tanpa penambahan bahan pengikat. Karena itu, tanah pasir tidak dapat mempertahankan bentuknya saat dicetak atau dibentuk, dan tidak memiliki kohesi antar partikel (Herman & W, 2020). Sifat utama tanah pasir adalah permeabilitas tinggi, artinya air dengan cepat meresap dan mengalir melaluinya. Hal ini menjadikannya ideal untuk drainase yang baik, tetapi juga menyebabkan kemampuan menahan air dan unsur hara sangat rendah.

B. Distribusi Butiran Tanah

Jenis tanah yang paling rentan mengalami likuifaksi umumnya berupa pasir lepas hingga pasir dengan gradasi sedang yang berada dalam kondisi jenuh air. Berdasarkan hasil analisis saringan terhadap sejumlah sampel tanah yang tercatat mengalami likuifaksi maupun tidak selama kejadian gempa, diketahui bahwa tanah yang terlikuifaksi umumnya memiliki distribusi ukuran butir yang seragam (*uniform graded*), didominasi oleh butir pasir halus hingga sedang, serta mengandung sedikit atau bahkan tanpa fraksi lanau maupun kerikil (Risayanti & Abdul Hakam, 2022). Sebaliknya, tanah yang tidak mengalami likuifaksi biasanya memiliki gradasi yang lebih baik (*well graded*) atau mengandung campuran fraksi butiran halus dan kasar, yang meningkatkan stabilitas tanah dan mengurangi potensi terjadinya likuifaksi. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa karakteristik distribusi

ukuran partikel tanah sangat berpengaruh terhadap kerentanan tanah terhadap likuifaksi, dan oleh karena itu, analisa saringan menjadi salah satu langkah awal yang penting dalam identifikasi potensi likuifaksi pada suatu lokasi, terutama di wilayah rawan gempa. Gambar di bawah ini memperlihatkan kurva distribusi ukuran butir yang membedakan antara tanah yang berpotensi mengalami likuifaksi dan tanah yang tidak rentan terhadap likuifaksi.



Gambar 1. Kurva Tipikal Ukuran Butir Tanah
Sumber : Hardiyanto, 2017.

Terdapat tiga parameter utama yang dapat diperoleh dari kurva distribusi ukuran butir, yang selanjutnya digunakan untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan karakteristik bentuk butirannya. Ketiga parameter tersebut adalah sebagai berikut:

1. Ukuran efektif (*effective size*) adalah ukuran butir yang bersesuaian dengan 10% lolos saringan D_{10} .
2. Koefisien keseragaman (*coefficient of uniformity*) dapat dinyatakan dalam rumus :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

Dengan :

C_u = Koefisien keseragaman.

D_{60} = Diameter saringan ketika lolos 60%

D_{10} = Diameter saringan ketika lolos 10%

3. Koefisien Gradasi (*coefficient of gradation*) dapat dinyatakan dalam rumus:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} \quad (2)$$

Dengan :

C_c = Koefisien gradasi.

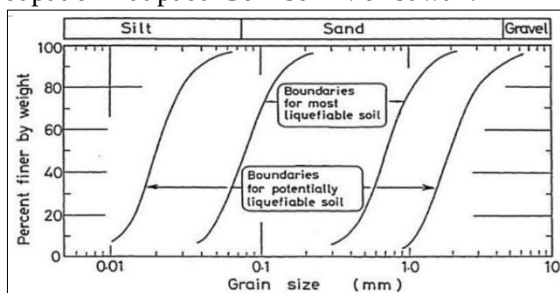
D_{60} = Diameter saringan lolos 60%.

D_{10} = Diameter saringan lolos 10%.

D_{30} = Diameter saringan lolos 30%.

Tanah dengan nilai C_u sebesar 1 menunjukkan bahwa tanah tersebut terdiri dari satu ukuran butir yang seragam. Jika nilai C_u berada di kisaran 2 hingga 3, maka tanah

dikategorikan memiliki gradasi yang kurang baik. Sebaliknya, apabila nilai C_u melebihi 15, tanah tersebut termasuk dalam kategori bergradasi baik karena memiliki variasi ukuran butir yang lebih beragam. Berdasarkan analisis terhadap distribusi ukuran partikel tanah, Tsuchida mengidentifikasi rentang distribusi butiran yang dinilai memiliki kerentanan tinggi terhadap potensi terjadinya likuifaksi. Kurva tersebut berfungsi sebagai alat untuk memperkirakan seberapa besar potensi suatu tanah mengalami likuifaksi. Batas-batas ini dapat dilihat pada **Gambar 2.** di bawah.



Gambar 2. Kurva Distribusi Ukuran Butir (Tsuchida 1970)

Sumber: Tsuchida, 1970.

Zona batas untuk sebagian besar tanah yang mudah mengalami likuifaksi mengacu pada wilayah dengan tingkat kerentanan paling tinggi terhadap potensi terjadinya likuifaksi. Hal ini disebabkan oleh kandungan partikel halus yang menghambat proses pemadatan saat terjadi getaran. Jika partikel halus tersebut bersifat plastis, pergerakan butir pasir akan terhambat di antara partikel lainnya. Sebaliknya, partikel halus yang tidak plastis cenderung tidak berpengaruh signifikan terhadap perilaku tanah. Zona *Boundaries for potentially liquefiable soil* mengacu pada jenis tanah yang masih memiliki kemungkinan mengalami likuifaksi, karena mengandung partikel kasar yang permeabel. Ketika terjadi gempa bumi, jenis tanah ini mampu melepaskan sebagian tekanan pori yang terbentuk akibat getaran.

Berdasarkan pendapat Youd dan Gilstrap (1999 dalam Dat, 2002) serta Perlea dan rekan-rekannya (1999 dalam Prakash dan Puri, 2003) yang dikutip oleh Pawirodikromo (2012), terdapat sejumlah kriteria yang dapat menyebabkan tanah mengalami likuifaksi, di antaranya adalah:

1. Ukuran rata-rata butir tanah D_{50} berada dalam rentang 0,02–1,0 mm.
2. Kandungan butiran halus ($D < 0,005$ mm) tidak melebihi 20%.
3. Nilai koefisien keseragaman (D_{60}/D_{10}) kurang dari 10.
4. Kepadatan relatif (Dr) kurang dari 75%.
5. Indeks plastisitas (IP) di bawah 13%.

Oleh karena itu, tanah dengan gradasi yang baik cenderung lebih tahan terhadap likuifaksi dibandingkan tanah dengan gradasi yang buruk. Kehadiran butiran-butiran halus sebagai pengisi di antara butiran kasar membuat struktur tanah menjadi lebih padat, sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya perubahan volume saat berada dalam kondisi terdrainase. Hal ini mencegah terbentuknya tekanan air pori yang berlebihan.

C. Definisi Likuifaksi

Likuifaksi adalah fenomena geoteknik yang terjadi ketika tanah berbutir halus atau pasir jenuh mengalami kehilangan kekuatan dan kekakuannya secara tiba-tiba akibat peningkatan tekanan air pori yang melebihi tegangan efektif tanah. Peningkatan tekanan air pori ini biasanya dipicu oleh beban dinamis, seperti getaran akibat gempa bumi, gelombang seismik, atau beban siklik lainnya, yang menyebabkan tanah kehilangan stabilitas dan berubah sifat dari kondisi padat menjadi menyerupai cairan. Dalam kondisi ini, butiran tanah yang sebelumnya saling terkunci menjadi terpisah akibat tekanan air yang meningkat, sehingga tanah kehilangan daya dukungnya. Akibatnya, struktur yang berdiri di atas tanah yang mengalami likuifaksi, seperti bangunan, jembatan, jalan raya, dan infrastruktur penting lainnya, dapat mengalami kerusakan serius, mulai dari penurunan tanah yang signifikan (*settlement*), pergeseran lateral, hingga amblasnya permukaan tanah secara tiba-tiba (Iman, 2024).

Likuifaksi merupakan fenomena yang terjadi ketika tanah berpasir dalam kondisi jenuh mengalami peningkatan tekanan air pori hingga menyamai tegangan total akibat pembebanan berulang (siklik). Akibatnya, tegangan efektif menjadi nol, sehingga tanah kehilangan kekuatan dan kekakuannya secara tiba-tiba. Saat

gempa terjadi, gaya geser yang muncul memicu reaksi partikel-partikel pasir, yang kemudian meningkatkan tekanan air pori. Akibat getaran yang terjadi secara berulang dalam waktu singkat, tanah kehilangan kekuatan serta kekakuannya, sehingga tidak lagi mampu mendukung beban bangunan di atasnya maupun mempertahankan kestabilannya. Pasir dengan tingkat kepadatan rendah hingga sedang, serta pasir jenuh yang mengandung lumpur, umumnya lebih mudah mengalami kerentanan terhadap pembebanan berulang atau siklik. Akibatnya, terjadi penurunan kuat geser karena tegangan efektif menurun seiring meningkatnya tekanan air pori. Menurut Terzaghi & Peck, (1987) tegangan efektif awal dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\sigma' = \sigma - u \quad (3)$$

Dengan :

σ' = Tegangan efektif vertikal awal (kPa)

σ = Tegangan total awal (kPa)

u = Tekanan air pori (kPa)

Untuk kenaikan tekanan air pori akibat beban lateral dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\Delta u = B \cdot \Delta \sigma \quad (4)$$

Dengan :

B = Koefisien Tekanan Air Pori.

$\Delta \sigma$ = Perubahan Tegangan Total.

Sedangkan nilai rasio tegangan air pori tanah dihitung dengan menggunakan rumus :

$$ru = \frac{\Delta u}{\sigma'_0} \quad (5)$$

Dengan :

Δu = Tekanan Air Pori (kPa)

σ'_0 = Tegangan efektif vertikal awal (kPa)

Kenaikan tekanan air pori mendorong air menuju permukaan tanah, yang muncul sebagai semburan pasir atau lumpur. Saat terjadi likuifaksi, tegangan efektif pada tanah menjadi nol, menyebabkan butiran tanah kehilangan ikatan dan tampak melayang di dalam air. Akibatnya, struktur bangunan yang berdiri di atas lapisan pasir yang mengalami likuifaksi saat gempa dapat amblas atau runtuh, sementara pipa atau saluran yang terkubur di dalam tanah berpotensi terdorong naik ke permukaan.

D. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah peristiwa getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi secara tiba-tiba dari

dalam lapisan bumi. Energi ini biasanya muncul karena pergeseran atau tumbukan lempeng tektonik, letusan gunung berapi, atau keruntuhan di bawah tanah. Gempa bumi terjadi secara tiba-tiba tanpa adanya tanda-tanda atau gejala yang muncul sebelumnya. Dampak dari gempa sering kali menimbulkan kepanikan masyarakat secara luas serta kerusakan pada berbagai bangunan di permukaan bumi. Indonesia termasuk wilayah yang sangat rentan terhadap gempa bumi karena berada di zona dengan aktivitas tektonik yang tinggi. Letak geografis Indonesia berada di pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Australia, dan Lempeng Pasifik (Guchi, 2024).



Gambar 3 Lempeng Tektonik Indonesia

Sumber : Roboguru, 2018

Saat gempa bumi terjadi, gelombang seismik yang dipancarkan dari pusat gempa akan merambat dengan cepat melalui kerak bumi. Ketika gelombang ini mencapai permukaan tanah, akan terjadi getaran yang dapat berlangsung mulai dari beberapa detik hingga beberapa menit. Besarnya getaran dan durasinya di suatu lokasi dipengaruhi oleh kekuatan gempa, posisi episentrum, serta karakteristik geologi setempat. Getaran ini merupakan bahaya utama karena berpotensi menimbulkan dampak lanjutan, seperti kerusakan pada tanah maupun bangunan.

3. METODOLOGI

A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Pantai Puger, yang berada di Desa Puger Kulon, Kecamatan Puger, Kabupaten Jember, Provinsi Jawa Timur. Lokasi ini berjarak kurang lebih 35 kilometer dari pusat kota Jember dan secara astronomis terletak pada koordinat 113°00'40" Bujur Timur dan 8°00' 17" Lintang Selatan.



Gambar 4. Lokasi Penelitian
Sumber : Google Maps, 2025

B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data ini sangat penting dalam proses penelitian yang dilakukan oleh penulis. Pengumpulan data tersebut harus sesuai, sehingga hasil dari data tersebut bisa menggambarkan keadaan atau kondisi lapangan yang sesungguhnya. Dalam penelitian tersebut, ada beberapa data yang dibutuhkan untuk menganalisis karakteristik suatu lokasi. Data yang digunakan dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi 2 bagian, yaitu:

1. Data Primer

Data tersebut didapatkan dengan cara peninjauan atau survei langsung di lapangan. Berikut beberapa pengamatan yang dilakukan di lapangan mencakup hal hal sebagai berikut :

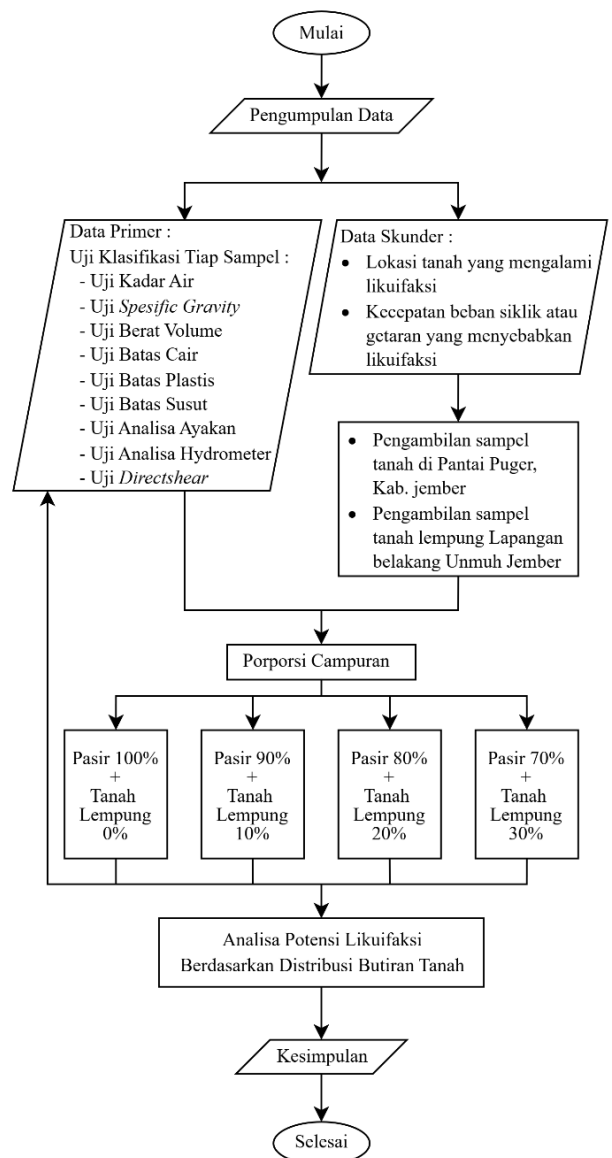
- Letak dan kondisi wilayah yang berpotensi likuifaksi ialah pantai puger, kecamatan puger, Kabupaten Jember.
- Sampel yang digunakan untuk penelitian lebih lanjut.

2. Data Skunder

Data sekunder tersebut didapatkan dari catatan – catatan, jurnal, laporan, maupun buku yang menyatakan bahwa di daerah tersebut mengalami likuifaksi. Data sekunder yang dikumpulkan adalah peta lokasi yang berdasarkan seismotektonik, sebuah jurnal yang menyatakan pantai puger mengalami likuifaksi.

C. Diagram Alur Penelitian

Diagram alur penelitian adalah gambaran visual berbentuk bagan yang menunjukkan langkah-langkah sistematis dalam proses penelitian, dari awal hingga akhir. Diagram ini berguna untuk memudahkan pembaca memahami alur logis penelitian, mulai dari identifikasi masalah sampai kesimpulan.



Gambar 5. Diagram Alur Penelitian
Sumber : Data Penelitian, 2025

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Klasifikasi Tanah

Uji Klasifikasi tanah dalam penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi secara menyeluruh jenis dan karakteristik tanah lempung serta tanah pasir yang terdapat pada lokasi pengambilan sampel. Proses klasifikasi ini dilakukan dengan mempertimbangkan sejumlah parameter penting, seperti distribusi ukuran butir, tekstur tanah, tingkat plastisitas, kohesi antarpartikel, permeabilitas atau kemampuan tanah dalam mengalirkan air.

1. Uji Klasifikasi Tanpa Campuran

Uji klasifikasi tanah tanpa campuran adalah pengujian terhadap tanah asli (*natural soil*). Tujuan dari uji ini adalah untuk mengetahui sifat dasar dan asli dari tanah tersebut sebelum dilakukan pencampuran.

Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Tanpa Campuran

<i>Properties</i>	Pasir	Lempung
Kadar Air (%)	13,80	21,77
<i>Spesific Gravity</i>	2,60	2,66
Batas Cair	-	70,59
Batas Plastis	-	41,66
<i>Plastis Indeks</i>	-	28,92
Batas Susut	-	22,41
Analisa Saringan		
Lolos No. 4 (%)	100,00	100,00
Lolos No. 10 (%)	98,94	98,34
Lolos No. 20 (%)	97,22	94,20
Lolos No. 40 (%)	80,68	88,92
Lolos No. 60 (%)	47,86	82,86
Lolos No. 140 (%)	2,46	60,28
Lolos No. 200 (%)	0,74	43,28
D ₁₀ (mm)	0,180	0,008
D ₃₀ (mm)	0,270	0,035
D ₅₀ (mm)	0,380	0,110
D ₆₀ (mm)	0,430	0,160
Cu	2,389	20,00
Cc	0,942	0,957
<i>Directshear Test</i>		
C (kPa)	0,0098	0,1571
ϕ (°)	23,747	18,890

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025.

2. Uji Klasifikasi Dengan Campuran

Uji klasifikasi tanah dengan campuran adalah pengujian terhadap pasir yang dicampur dengan tanah lempung. Tujuan dari uji ini adalah untuk memahami bagaimana sifat dan karakteristik tanah berubah seiring dengan penambahan fraksi lempung dalam komposisi pasir. Pengujian ini dilakukan dengan beberapa variasi campuran yang dirancang secara sistematis, yaitu campuran 10% lempung + 90% pasir, 20% lempung + 80% pasir, dan 30% lempung + 70% pasir. Setiap variasi campuran dianalisis guna mengamati perubahan sifat fisik dan mekanik tanah seperti distribusi ukuran butir yang dapat memengaruhi perilaku tanah terhadap beban dan getaran. Pendekatan ini diharapkan dapat

memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai dampak pencampuran tanah lempung terhadap tanah pasir, khususnya dalam konteks kerentanan terhadap fenomena geoteknik seperti likuifaksi.

Tabel 2. Hasil Pengujian Karakteristik Dengan Variasi Campuran

<i>Properties</i>	Campuran Tanah		
	Lempung		
	10%	20%	30%
<i>Spesific Gravity</i>	2,66	2,65	2,65
Analisa Saringan			
Lolos No. 4 (%)	100,00	100,00	100,00
Lolos No. 10 (%)	99,83	99,67	99,50
Lolos No. 20 (%)	99,06	98,12	97,18
Lolos No. 40 (%)	97,54	95,36	93,17
Lolos No. 60 (%)	49,88	50,99	55,15
Lolos No. 140 (%)	7,53	14,99	22,85
Lolos No. 200 (%)	3,86	10,71	16,05
D ₁₀ (mm)	0,160	0,066	0,023
D ₃₀ (mm)	0,260	0,235	0,190
D ₅₀ (mm)	0,355	0,355	0,340
D ₆₀ (mm)	0,400	0,400	0,390
Cu	2,500	6,061	16,957
Cc	1,056	2,092	4,025
<i>Directshear Test</i>			
C (kPa)	0,0245	0,0327	0,0360
ϕ (°)	22,959	20,541	19,718

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025.

B. Analisa Potensi Likuifaksi Berdasarkan Distribusi Butiran Tanah

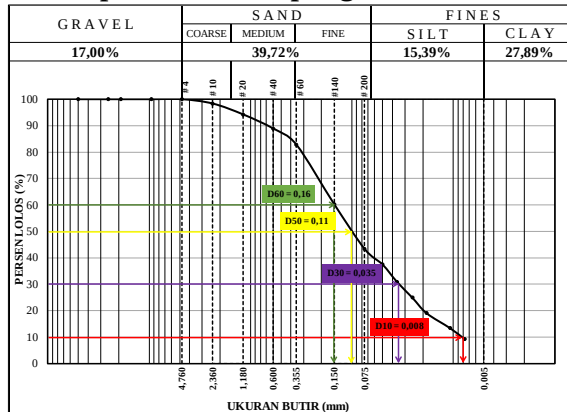
Menurut Youd dan Gilstrap (1999 dalam Dat, 2002) serta Perlea dan rekan-rekan (1999 dalam Prakash dan Puri, 2003) yang dikutip oleh Pawirodikromo (2012), terdapat syarat yang dapat menyebabkan tanah mengalami likuifaksi, di antaranya sebagai berikut:

- 1) Ukuran rata-rata butiran (D₅₀) berada dalam kisaran 0,02 hingga 1,0 mm.
- 2) Kandungan partikel halus dengan ukuran kurang dari 0,005 mm tidak melebihi 20%.
- 3) Nilai koefisien keseragaman (D₆₀/D₁₀) kurang dari 10.
- 4) Kepadatan relatif $Dr < 75\%$.
- 5) Indeks plastisitas $IP < 13\%$.

Oleh karena itu, tanah dengan gradasi yang baik cenderung lebih stabil dan memiliki ketahanan lebih tinggi terhadap likuifaksi dibandingkan dengan tanah bergradasi buruk.

Berikut disajikan analisis potensi likuifaksi berdasarkan metode distribusi ukuran butir tanah.

1. Sampel Tanah Lempung



Gambar 6. Grafik Distribusi Butiran Tanah Lempung

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025.

Merujuk pada kurva distribusi ukuran butir tanah lempung yang ditampilkan pada **Gambar 6**, dapat diidentifikasi berbagai fraksi dalam sampel tanah tersebut pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Fraksi Tanah Lempung

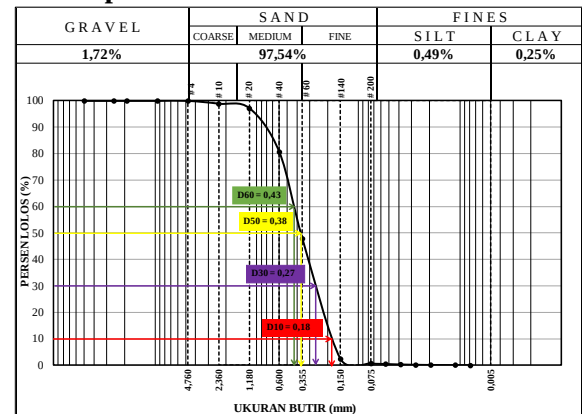
Uraian	Satuan	Lempung
Lolos Saringan 200	%	43,28
Kerikil	%	17,00
Pasir	%	39,72
Lanau	%	15,39
Lempung	%	27,89
D ₁₀	mm	0,01
D ₃₀	mm	0,04
D ₅₀	mm	0,11
D ₆₀	mm	0,16
Cu		20,00
Cc		0,96

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025.

Berdasarkan data yang tercantum dalam **Tabel 3**, potensi likuifaksi dianalisis dengan menggunakan kriteria dari Youd dan Gilstrap (1999) dalam Day (2002), serta Perlea et al. (1999) dalam Prakash dan Puri (2003). Hasil menunjukkan bahwa nilai D₅₀ adalah 0,11 mm, yang berada dalam rentang 0,02–1,00 mm, sehingga tanah ini dikategorikan memiliki potensi likuifaksi. Namun, kandungan partikel halus (*finer*) dengan ukuran D<0,005 mm

mencapai 27,89%, yang melebihi ambang batas 20%, menunjukkan bahwa tanah ini masuk dalam kelompok tanah yang tidak rawan likuifaksi. Selain itu, berdasarkan nilai koefisien keseragaman (Cu) sebesar 20>10 dan koefisien gradasi (Cc) sebesar 0,96, tanah ini juga memenuhi kriteria sebagai tanah yang tidak berpotensi mengalami likuifaksi.

2. Sampel Pasir



Gambar 7. Grafik Distribusi Butiran Pasir

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025.

Berdasarkan grafik distribusi butiran pasir pada **Gambar 7** diatas, maka diperoleh fraksi sampel tanah yang dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Fraksi Pasir

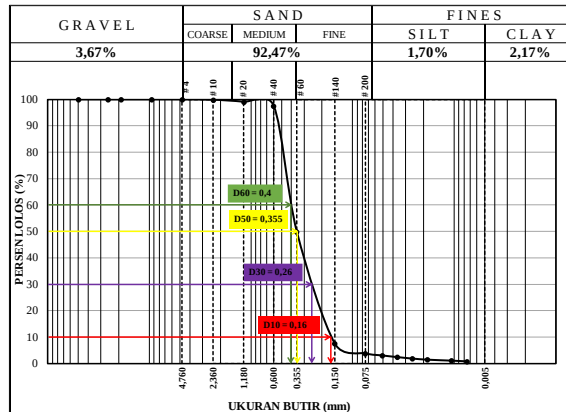
Uraian	Satuan	Pasir
Lolos Saringan 200	%	0,74
Kerikil	%	1,72
Pasir	%	97,54
Lanau	%	0,49
Lempung	%	0,25
D ₁₀	mm	0,18
D ₃₀	mm	0,27
D ₅₀	mm	0,38
D ₆₀	mm	0,43
Cu		2,39
Cc		0,94

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025.

Mengacu pada data dalam **Tabel 4**, diketahui nilai D₅₀ sebesar 0,38 mm, yang masih berada dalam rentang 0,02–1,00 mm, sehingga tergolong tanah dengan potensi likuifaksi. Dilihat dari kandungan partikel halus (*finer*) dengan ukuran kurang dari 0,005 mm, persentasenya hanya 0,74%, jauh di bawah batas

20%, yang menandakan bahwa tanah ini memiliki karakteristik rentan terhadap likuifaksi. Selain itu, nilai koefisien keseragaman (C_u) sebesar $2,39 < 10$ dan koefisien gradasi (C_c) sebesar 0,94 juga menunjukkan bahwa tanah tersebut berpotensi mengalami likuifaksi.

3. Sampel campuran tanah lempung 10%



Gambar 8. Grafik Distribusi Butiran pada Campuran 10%

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025.

Merujuk pada grafik distribusi butiran untuk campuran 10% yang ditampilkan pada **Gambar 8**, fraksi-fraksi dari sampel dapat diketahui dan disajikan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Fraksi Campuran Tanah Lempung 10%

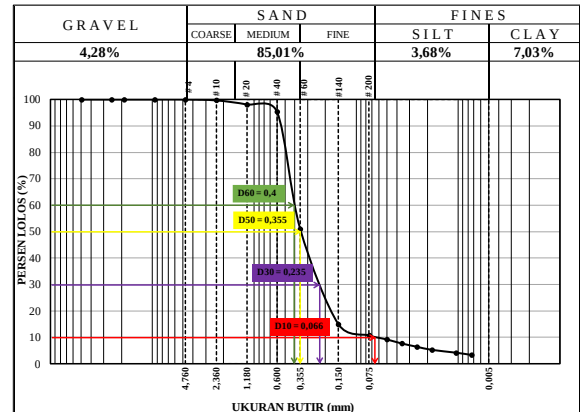
Uraian	Satuan	Campuran 10%
Lolos Saringan 200	%	3,86
Kerikil	%	3,67
Pasir	%	92,47
Lanau	%	1,70
Lempung	%	2,17
D_{10}	mm	0,16
D_{30}	mm	0,26
D_{50}	mm	0,36
D_{60}	mm	0,40
C_u		2,50
C_c		1,06

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025.

Berdasarkan data pada **Tabel 5**, nilai D_{50} sebesar 0,36 mm berada dalam rentang 0,02–1,00 mm, yang menunjukkan bahwa tanah tersebut termasuk kategori rentan terhadap likuifaksi. Dari segi kandungan butiran halus (*finer*) dengan ukuran partikel $D < 0,005$ mm, tercatat sebesar 3,86%, yang masih di bawah

ambang batas 20%, sehingga tanah tergolong berpotensi likuifaksi. Ditinjau dari parameter gradasi, nilai koefisien keseragaman (C_u) sebesar $2,50 < 10$ dan koefisien gradasi (C_c) sebesar 1,06, keduanya mengindikasikan bahwa sampel tanah ini masuk ke dalam klasifikasi tanah yang berpotensi mengalami likuifaksi.

4. Sampel Campuran Tanah Lempung 20%



Gambar 9. Grafik Distribusi Butiran pada Campuran 20%

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025.

Mengacu pada grafik distribusi butiran untuk campuran 20% yang ditampilkan pada **Gambar 9**, fraksi-fraksi dari sampel tanah dapat diketahui dan tercantum pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Fraksi Campuran Tanah Lempung 20%

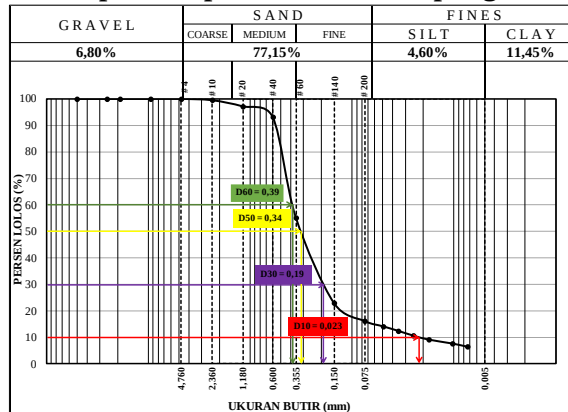
Uraian	Satuan	Campuran 20%
Lolos Saringan 200	%	10,71
Kerikil	%	4,28
Pasir	%	85,01
Lanau	%	3,68
Lempung	%	7,03
D_{10}	mm	0,07
D_{30}	mm	0,24
D_{50}	mm	0,36
D_{60}	mm	0,40
C_u		6,06
C_c		2,09

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025.

Berdasarkan data yang ditampilkan pada **Tabel 6**, nilai D_{50} yang diperoleh adalah 0,36 mm, berada dalam kisaran 0,02–1,00 mm, yang menunjukkan bahwa tanah tersebut termasuk dalam kategori berpotensi mengalami likuifaksi. Jika dilihat dari kandungan butiran halus (*finer*)

dengan ukuran partikel kurang dari 0,005 mm, nilai yang diperoleh sebesar 10,71%, masih di bawah batas 20%, sehingga tanah ini tetap masuk dalam kelompok tanah yang rawan terhadap likuifaksi. Ditinjau dari nilai koefisien keseragaman (C_u) sebesar $6,06 < 10$ dan koefisien gradasi (C_c) sebesar 2,09, maka tanah ini diklasifikasikan memiliki potensi likuifaksi.

5. Sampel Campuran Tanah Lempung 30%



Gambar 10. Grafik Distribusi Butiran pada Campuran 30%

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025.

Berdasarkan grafik distribusi butiran untuk campuran 30% yang ditampilkan pada **Gambar 10**, fraksi-fraksi sampel tanah dapat diperoleh dan ditampilkan pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Fraksi Campuran Tanah Lempung 30%

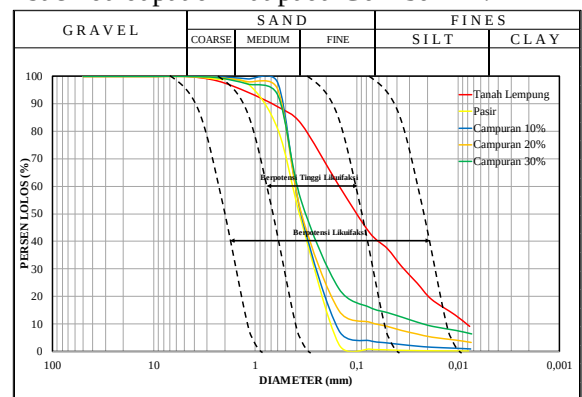
Uraian	Satuan	Campuran 30%
Lolos Saringan 200	%	16,05
Kerikil	%	6,80
Pasir	%	77,15
Lanau	%	4,60
Lempung	%	11,45
D_{10}	mm	0,02
D_{30}	mm	0,19
D_{50}	mm	0,34
D_{60}	mm	0,39
C_u		16,96
C_c		4,02

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025.

Berdasarkan data pada **Tabel 7**, nilai D_{50} yang diperoleh sebesar 0,34 mm berada dalam kisaran 0,02–1,00 mm, sehingga tanah ini dikategorikan memiliki potensi likuifaksi. Dari segi kandungan butiran halus (*finer*) dengan

ukuran partikel kurang dari 0,005 mm, nilainya adalah 16,96%, yang masih berada di bawah ambang 20%, dengan demikian, tanah tersebut dikategorikan sebagai jenis yang memiliki potensi untuk mengalami likuifaksi. Namun, berdasarkan nilai koefisien keseragaman (C_u) sebesar $16,96 > 10$ dan koefisien gradasi (C_c) sebesar 4,02, tanah ini masuk dalam klasifikasi yang tidak rentan terhadap likuifaksi menurut kriteria distribusi gradasi.

Hasil uji analisis saringan dan hidrometer dari masing-masing sampel digunakan untuk menyusun grafik distribusi ukuran butir tanah. Grafik ini kemudian diplot ke dalam kurva Tsuchida (1970) yang menggambarkan batas klasifikasi gradasi tanah berdasarkan tingkat kerentanan terhadap likuifaksi, mulai dari potensi rendah hingga potensi tinggi. Visualisasi dari hasil pemetaan data terhadap kurva Tsuchida dapat dilihat pada **Gambar 11**.



Gambar 11. Kurva Potensi Likuifaksi Berdasarkan Distribusi Butiran Tanah

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025.

Berdasarkan grafik distribusi ukuran butir tanah yang telah dipetakan ke dalam kurva potensi likuifaksi menurut Tsuchida, (1988), diperoleh hasil bahwa tanah pasir memiliki kecenderungan tinggi mengalami likuifaksi. Sementara itu, pada tanah campuran, hasilnya menunjukkan masih adanya potensi likuifaksi, sedangkan tanah lempung cenderung tidak menunjukkan potensi tersebut. Dengan demikian, semakin besar kandungan butiran halus (lempung), maka kemungkinan terjadinya likuifaksi akan semakin menurun.

5. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan dari penelitian ini. Adapun kesimpulan dari penelitian tersebut adalah sebagai berikut.

1. Peningkatan nilai koefisien keseragaman (Cu) pada campuran 0% sebesar 2,39, campuran 10% sebesar 2,50, campuran 20% sebesar 2,06, dan campuran 30% sebesar 16,96. Berdasarkan pada kurva distribusi butiran tanah menurut tsuchia, pada campuran 0% - 10% termasuk pada zona potensi tinggi likuifaksi dan campuran 20% - 30% termasuk pada zona potensi likuifaksi.
2. Peningkatan nilai koefisien gradasi (Cc) pada campuran 0% sebesar 0,94, campuran 10% sebesar 1,06, campuran 20% sebesar 2,09, dan campuran 30% sebesar 4,02. Berdasarkan pada kurva distribusi butiran tanah menurut tsuchia, pada campuran 0% - 10% termasuk pada zona potensi tinggi likuifaksi dan campuran 20% - 30% termasuk pada zona potensi likuifaksi.

B. Saran

Berdasarkan hasil analisis yang telah disampaikan, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Penggunaan media campuran yang berbeda untuk penelitian selanjutnya.
2. Perlu dilakukan analisis tambahan menggunakan perangkat lunak geoteknik berbasis numerik seperti PLAXIS atau GeoStudio guna memperoleh hasil simulasi yang lebih akurat dan mendekati kondisi lapangan.
3. Disarankan untuk melakukan validasi lapangan pada wilayah yang menjadi fokus studi, seperti daerah Pantai Puger, dengan metode seperti SPT (*Standard Penetration Test*), CPT (*Cone Penetration Test*), atau survei geofisika untuk memperkuat data dan hasil pengujian laboratorium yang telah dilakukan.

6. DAFTAR PUSTAKA

Amanullah, F. 2022. Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Menggunakan

Data Spt (Standar Penetration Test) (*Analysis Of Liquifaction Potential Due To Earthquake Using Data Of Standar Penetration Test (Spt)*). Tesis. Fakultas Teknik. Universitas Islam Indonesia.

Alihudien, A. & Priyono, P. 2023. Identifikasi Jenis Tanah Wilayah Dekat Pantai Puger Menggunakan Bagan Klasifikasi Tanah Robertson 1990. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon*. 08 (02):133–143.

Dzunnurain, A. dan Artati, H K. 2023. Hubungan Kandungan Butiran Halus Tanah Dan Analisa Distribusi Butiran Tanah Terhadap Potensi Likuefaksi. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*. 15 Februari 2023, Yogyakarta, Indonesia. Hal. 417–425.

Badan Standardisasi Nasional. 2008. Cara Uji Penentuan Batas Plastis Dan Indeks Plastisitas Tanah. SNI 1966 : 2008. https://binamarga.pu.go.id/index.php/ns_pk/detail/sni-1966-2008-cara-uji-penentuan-batas-plastis-dan-indeks-plastisitas-tanah

Badan Standardisasi Nasional. 2012. Metode uji penentuan faktor-faktor susut tanah. SNI 4144:2012. https://binamarga.pu.go.id/index.php/ns_pk/detail/sni-41442012-metode-uji-penentuan-faktor-faktor-susut-tanah

Fahriana, N., Ismida, Y., Lydia, E. N., & Ariesta, H. 2019. Analisis Klasifikasi Tanah Dengan Metode USCS (Meurandeh Kota Langsa). *Jurnal Ilmiah Jurutera*. 6 (2):005–013.

Guchi, N. 2024. Analisis Kerentanan Seismik Menggunakan Metode HVSR Dengan Parameter Frekuensi dan Amplifikasi di Lingkungan Kampus IV Universitas Islam Negeri Sumatera Utara. Tesis. Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Sumatera Utara Medan.

Hasan, R. 2019. Arahkan Kawasan Tanggap Bencana Likuifaksi Kota Palu. Tesis. Fakultas Teknik. Universitas Hasanuddin Gowa.

Herman, H., & Fiska, W. 2020. Studi Pengaruh Penambahan Tanah Lempung Terhadap Daya Dukung Pasir Pantai. *Rang Teknik*

- Journal*, 3 (2):279–286.
- Iman, W. I. 2024. *Studi Variasi Kepadatan Dan Percepatan Getaran Terhadap Potensi Likuifaksi Menggunakan Pasir Pantai Puger Dengan Uji Model Getaran Harmonis Di Laboratorium*. Tesis. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Jember.
- Nurbani, G., & Yakin, Y. A. 2019. Analisis Potensi Likuifaksi Pada Tanah Pasir Akibat Beban Gempa Studi Kasus Mataram Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Teknik Sipil*. 6 (3):166-178.
- Risayanti, R. & Hakam, A. 2022. Potensi Likuifaksi Pasir Seragam Berdasarkan Tegangan Air Pori Dan Ukuran Butiran (Laboratory Model). *Kolaborasi Teknik Sipil*. Agustus 2022. Hal. 45–51.
- Saut, P. O. S. 2015. *Percobaan Potensi Likuifaksi Pada Tanah Pasir Seragam Dengan Permodelan Alat Di Laboratorium*. Tesis. Fakultas Teknik. Universitas Andalas.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah. SNI 3423:2008.
<https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/sni-3423-2008-cara-uji-analisis-ukuran-butir-tanah>.
- Badan Standardisasi Nasional. 1994. Metode Pengujian Berat Isi Tanah Berbutir Halus Dengan Cetakan Benda Uji. SNI 03-3637-1994.
<https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/sni-03-3637-1994-metode-pengujian-berat-isi-tanah-berbutir-halus-dengan-cetakan-benda-uji>.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. Cara Uji Berat Jenis Tanah. SNI 1964:2008.
<https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/sni-1964-2008-cara-uji-berat-jenis-tanah>.
- Badan Standardisasi Nasional. 2011. Cara Uji Kadar Air Total Agregat Dengan Pengeringan. SNI 1971:2011.
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. Metode Uji Kuat Geser Langsung Tanah. SNI 3420:2016.
- Soebowo, E., Tohari, A., & Sarah, D. (2009). Potensi Likuifaksi Akibat Gempabumi Berdasarkan Data Cpt Dan N-Spt Di Daerah Patalan Bantul, Yogyakarta. *Riset Geologi Dan Pertambangan*. Desember 2009, Yogyakarta. Hal. 85-97.
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa Jilid 1*. Edisi Kedua, Erlangga. Jakarta.
- Tsuchida, T. 1988. Pencairan Tanah Berbutir Halus Akibat Gempa Bumi - Pertimbangan dari Penelitian Jepang.
- Irham, W. H., Saragih, S. W., Parinduri, S., Sitepu, M. T., Tua, S. N. P. 2024. Reaksi Tanah Akibat Perbedaan Perlakuan Lingkungan. *Tabela Jurnal Pertanian Berkelanjutan*. 2 (1):24-28.