ISSN 2962-2697
Vol. 5, No. 1, Juli 2025

Prediksi deformasi tanah akibat likuefaksi berbasis N-SPT serta rekomendasi pondasi untuk rumah tinggal di Kawasan Pesisir Desa Glagah, Kulonprogo

Ahmad Latiful Ansori[1,*]
[1]Program Profesi Insinyur, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta, Indonesia

Article Info
Available online

***Keywords*:**
Liquefaction
Soil deformation
N-SPT
Liquefaction-resistant foundation
Resilient insfrastruktur

Corresponding Author:
Ahmad Latiful Ansori
ahmadlatifulansori95@gmail.com

Abstract
Liquefaction has become a major concern in geotechnical engineering, particularly after several large earthquakes caused severe damage to structures in coastal areas of Indonesia dominated by saturated sand layers. In addition to the loss of soil bearing capacity, liquefaction also triggers vertical deformation (ground surface subsidence), which significantly affects simple structures such as low-rise residential houses. This study aims to estimate ground deformation due to liquefaction using Standard Penetration Test (N-SPT) data and to formulate preliminary foundation recommendations based on estimated vertical deformation zones in the coastal area of Glagah Village, Kulonprogo. The analysis uses the Seed & Idriss (1982) method to evaluate liquefaction potential through the factor of safety (FS), and the Zhang et al. (2002) approach to estimate volumetric strain and vertical settlement. Liquefaction was assessed at 2-meter depth intervals, with results indicating potential liquefaction at all boreholes. Under a magnitude 7.5 scenario, it is predicted at depths of 2–12 meters, extending to 16 meters at DB-81. For Mw 6.5, it occurs at 2–10 meters, reaching 12 meters at DB-81. Estimated settlements range from 0.29 to 0.59 meters (Mw 7.5) and 0.17 to 0.42 meters (Mw 6.5), classifying the area as high risk. As a technical response, deep foundation systems (mini piles) combined with structural tie beams are recommended to ensure load transfer and stability. It should be noted that deformation estimates are limited to subsurface soil response and do not incorporate building-specific loads or structural dimensions. Nonetheless, this simple yet field-based approach provides a practical reference for the development of liquefaction-resistant and inclusive residential areas as part of the strategic vision for Indonesia Emas 2045.

Copyright © 2025 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Likuefaksi menjadi salah satu isu krusial dalam bidang rekayasa geoteknik, terutama setelah sejumlah gempa bumi besar, seperti yang terjadi di Aceh (2004), Yogyakarta (2006), dan Palu (2018), menyebabkan kerusakan masif pada infrastruktur dan permukiman di wilayah pesisir. Kawasan pesisir memang secara alami rentan terhadap berbagai bahaya geoteknik, termasuk likuefaksi. Fenomena ini terjadi ketika lapisan tanah jenuh air kehilangan kekuatan gesernya akibat beban siklik dari gempa bumi, sehingga berperilaku seperti cairan dan kehilangan daya dukungnya.

Dampak likuefaksi tidak hanya berupa hilangnya daya dukung tanah, tetapi juga deformasi permanen berupa penurunan muka tanah (*settlement*). Meskipun tidak menyebabkan robohnya bangunan secara langsung, penurunan ini kerap memicu kerusakan serius pada rumah tinggal rakyat dengan pondasi dangkal, seperti retakan dinding, kemiringan bangunan, bahkan

ISSN 2962-2697
Vol. 5, No. 1, Juli 2025

hilangnya fungsi hunian secara struktural maupun non-struktural. Permasalahan ini semakin kompleks karena sebagian besar kajian yang ada berhenti pada identifikasi potensi likuefaksi, tanpa dilanjutkan ke tahap teknis seperti estimasi deformasi atau rekomendasi sistem pondasi yang sesuai.

Dalam konteks tersebut, Desa Glagah di Kecamatan Temon, Kabupaten Kulonprogo, yang terletak di pesisir selatan Yogyakarta, menjadi contoh kawasan yang layak diteliti. Secara geologis, wilayah ini tersusun atas lapisan pasir jenuh air dan berada dalam pengaruh zona subduksi aktif antara Lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Kondisi tersebut menjadikan kawasan ini berisiko tinggi terhadap gempa bumi dan potensi likuifaksi.

Berangkat dari hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk:

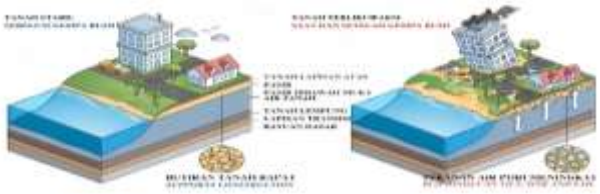
1. Menganalisis potensi likuefaksi berdasarkan data uji N-SPT dari beberapa titik di Desa Glagah,
2. Mengestimasi deformasi vertikal akibat regangan volumetrik menggunakan pendekatan Zhang dkk. (2002), dan
3. Memberikan rekomendasi teknis jenis pondasi rumah tinggal berdasarkan tingkat deformasi.

Istilah "prediksi" dalam konteks studi ini merujuk pada estimasi sistematis berbasis data empiris, bukan sekadar proyeksi atau perkiraan kualitatif. Perlu dicatat bahwa estimasi deformasi tanah dalam studi ini tidak mempertimbangkan beban struktur bangunan, dimensi pondasi, maupun interaksi tanah-struktur, sehingga hasilnya lebih tepat dikatakan sebagai *ground settlement* (estimasi penurunan tanah) bukan deformasi aktual bangunan. Penelitian ini tidak bertujuan untuk memodelkan deformasi struktural secara penuh, melainkan memberikan gambaran awal mengenai potensi deformasi tanah sebagai dasar penyusunan rekomendasi pondasi pada wilayah rawan likuifaksi.

Melalui pendekatan praktis berbasis data lapangan, penelitian ini diharapkan memberi kontribusi nyata dalam mitigasi risiko geoteknik di wilayah pesisir. Di sisi lain, hasil penelitian ini juga dapat menjadi referensi teknis bagi masyarakat, perencana bangunan, maupun pemerintah daerah dalam menyusun kebijakan pembangunan infrastruktur yang tangguh, adaptif, dan berkelanjutan, sejalan dengan visi Indonesia Emas 2045.

Tinjauan Pustaka

Likuefaksi merupakan fenomena geoteknik yang terjadi ketika tanah jenuh air kehilangan kekuatan gesernya akibat pembebanan dinamis, seperti gempa bumi. Pada kondisi ini, tekanan pori dalam tanah (terutama pada tanah pasir lepas jenuh air) meningkat secara drastis hingga mendekati tegangan total. Akibatnya, tegangan efektif turun menjadi nol, sehingga tegangan geser tanah pun hilang. Ketika hal ini terjadi, tanah berperilaku seperti cairan dan kehilangan kemampuannya dalam menopang beban struktur yang berada di atasnya (Seed & Idriss, 1982). Kondisi ini mengakibatkan keruntuhan fondasi dan kerusakan serius pada bangunan. Ilustrasi fenomena ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kondisi Tanah Sebelum dan Saat Terjadi Likuifaksi

(Sumber : Applied Earth Sciences, 2022)

ISSN 2962-2697
Vol. 5, No. 1, Juli 2025

Analisis Potensi Likuefaksi Menggunakan N-SPT

Seed dan Idriss (1982) mengembangkan metode untuk menganalisis potensi likuefaksi berdasarkan tiga parameter utama, yaitu tegangan geser siklik (*cyclic stress ratio*/CSR), kapasitas tahan likuefaksi (*cyclic resistance ratio*/CRR), dan faktor keamanan (*factor of safety*/FS). Faktor keamanan didefinisikan sebagai perbandingan antara CRR dan CSR. Jika nilai FS < 1, tanah dinyatakan berpotensi mengalami likuifaksi. FS = 1 menunjukkan kondisi kritis, sedangkan FS > 1 berarti tanah cukup kuat menahan beban dinamis.

Salah satu pendekatan praktis untuk menilai potensi likuifaksi di lapangan adalah menggunakan data uji *Standard Penetration Test* (SPT). Pendekatan ini relatif sederhana dan dapat diterapkan dengan data sondir yang umum tersedia dalam pekerjaan geoteknik.

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

Nilai $(N_1)_{60}$ diperoleh dengan mengoreksi nilai SPT terhadap kadar butiran halus (*fines content/FC*) menggunakan persamaan (3) berikut.

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta\,(N_1)_{60} \quad (3)$$

Dengan α dan β adalah koefisien yang dipengaruhi presentasi *fines content* (FC),

jika FC ≤ 5%, maka α = 0, β = 1,

jika 5% < FC < 35%, maka α = exp [1,76 – (190/FC^2)], dan β = [0,99 + (FC^{1,5}/1000)],

jika FC > 35%, maka α = 5,0, dan β = 1,2.

Langkah ketiga, menghitung faktor keamanan (FS) terhadap likuefaksi dengan persaman (4) sebagai berikut.

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (4)$$

Jika FS < 1, berarti kekuatan tanah lebih kecil dibandingkan dengan tegangan siklis, sehingga tanah berpotensi likuifaksi,

Analisis dimulai dengan menghitung CSR menggunakan rumus berikut.

$$CSR = 0{,}65 \cdot \left(\frac{\alpha_{max}}{g}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{vc}}{\sigma'_{vc}}\right) \cdot r_d \quad (1)$$

dengan α_{max} adalah percepatan maksimum pada setiap lapisan tanah, g adalah percepatan gravitasi, variabel σ_{vc} menunjukkan tekanan vertikal total lapisan tanah saat konsolidasi, sedangkan σ'_{vc} mengacu pada tekanan vertikal efektif lapisan tanah saat konsolidasi. Faktor 0,65 merupakan asumsi bahwa tegangan geser seragam ekivalen adalah 65% dari tegangan geser maksimum absolut yang dihasilkan oleh gempa. Adapun r_d adalah koefisien reduksi tegangan yang bergantung pada kedalaman lapisan tanah.

Selanjutnya, langkah kedua adalah menghitung CRR berdasarkan nilai N-SPT yang telah dikoreksi. Rumus empiris untuk kondisi gempa berkekuatan Mw 7,5 adalah sebagai berikut.

Jika FS = 1, berarti kekuatan tanah sama dengan besarnya tegangan siklis, kondisi ini disebut tanah dalam keadaan kritis,
Jika FS > 1, berarti kekuatan tanah lebih besar dibandingkan dengan tegangan siklis, kondisi ini tidak berpotensi likuifaksi.

Deformasi Tanah Akibat Likuifaksi

Selain menyebabkan hilangnya kekuatan geser, likuifaksi juga menghasilkan deformasi volumetrik, yaitu perubahan volume tanah yang berdampak pada penurunan muka tanah (*settlement*) secara permanen. Deformasi ini berpengaruh terhadap kestabilan bangunan, terutama pada struktur ringan dengan pondasi dangkal.

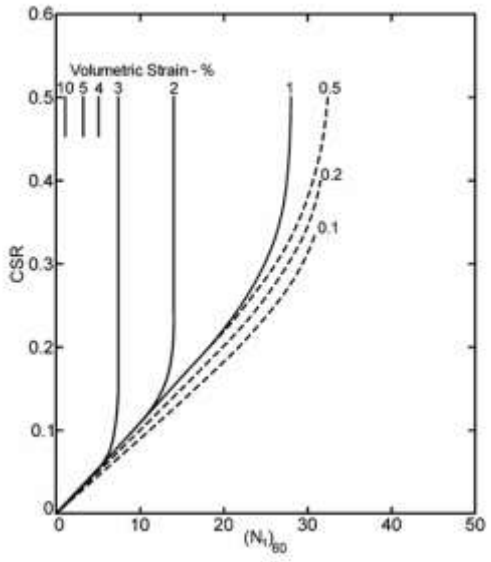
Untuk memperkirakan deformasi ini, Tokimatsu dan Seed (1987) menyusun kurva korelasi antara *cyclic stress ratio* (CSR) dan nilai $(N_1)_{60}$, yang menunjukkan tingkat regangan volumetrik (ε_v) berdasarkan hasil uji laboratorium (uji triaksial siklik dan uji geser sederhana) terhadap pasir jenuh bersih,

ISSN 2962-2697
Vol. 5, No. 1, Juli 2025

yang kemudian dikalibrasi berdasarkan studi kasus lapangan. Grafik ini menjadi dasar pendekatan empiris yang kemudian digunakan oleh berbagai studi lanjutan, termasuk oleh Zhang dkk. (2002).

Pendekatan empiris berbasis grafik yang dikembangkan Zhang dkk. (2002) menggambarkan korelasi antara faktor keamanan terhadap likuefaksi (FS) dan regangan volumetrik (ε_v), yang kemudian dikalikan dengan ketebalan lapisan tanah terlikuefaksi untuk menghitung penurunan vertikal.

Prosedur tersebut memperkirakan regangan volumetrik sebagai fungsi dari rasio tegangan siklik (CSR) akibat gempa bumi dan nilai *Standard Penetration Test* (SPT) yang telah dikoreksi. Kurva hubungan CSR – $(N_1)_{60}$ terhadap regangan volumetrik ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Grafik hubungan CSR dan $(N_1)_{60}$ terhadap Regangan Volumetrik (ε_v)

(Sumber : Tokimatsu & Seed, 1987)

Penggunaan metodologi ini memerlukan penentuan *blowcount* SPT yang telah dikoreksi terhadap beban lebih, fraksi butiran halus, dan prosedur pengujian, serta nilai CSR yang telah dikoreksi terhadap durasi gempa.

Pada Gambar 2 tersebut, garis padat pada menunjukkan regangan volumetrik untuk tanah yang mengalami likuefaksi. Sementara itu, garis putus-putus menggambarkan kondisi di mana tekanan pori meningkat, tetapi beban gempa bumi tidak cukup besar untuk menyebabkan likuefaksi. Dalam kasus tersebut, regangan volumetrik juga terjadi setelah tekanan pori terdissipasi, meskipun nilainya lebih rendah dibandingkan dengan kondisi likuefaksi penuh. Kurva tersebut dikembangkan dengan magniudo gempa 7,5, sehingga perlu dilakukan koreksi jika digunakan untuk magnitudo yang berbeda.

Mengacu pada dasar kurva ini, Zhang dkk. (2002) mengembangkan pendekatan regresi empiris yang menghubungkan faktor keamanan terhadap likuifaksi (FS) dengan regangan volumetrik (ε_v). Pendekatan ini dianggap praktis karena dapat diterapkan tanpa memerlukan uji laboratorium atau simulasi numerik. Berdasarkan literatur yang ada, berikut klasifikasi (ε_v) berdasarkan nilai FS menurut Zhang dkk. (2002).

Jika FS < 0,5, maka ε_v = 4% – 5%,

jika FS 0,5 – 0,8, maka ε_v = 2,5% – 4%,

jika FS 0,8 – 1,0, maka ε_v = 1% – 2,5%,

dan jika FS ≥ 1,0, maka ε_v = 0.

Berdasarkan nilai ε_v tersebut, penurunan muka tanah (*settlement*) dapat dihitung menggunakan persamaan (5) berikut.

$$S = \varepsilon_v \cdot H \quad (5)$$

dengan S adalah *settlement* (cm), ε_v adalah regangan volumetrik (dalam persen atau desimal), dan H adalah tebal lapisan yang mengalami likuefaksi (cm).

Namun demikian, pendekatan yang dipakai dalam studi ini masih memiliki keterbatasan karena belum memperhitungkan beban bangunan, luas pondasi, dan karakteristik struktural. Model Zhang dkk. (2002) mengasumsikan deformasi bahwa deformasi hanya dipengaruhi oleh tebal lapisan dan nilai regangan volumetrik. Oleh karena itu, hasil ini lebih tepat dikatakan sebagai estimasi deformasi tanah akibat likuefaksi secara umum, bukan deformasi spesifik bangunan. Pendekatan lebih lanjut

ISSN 2962-2697
Vol. 5, No. 1, Juli 2025

diperlukan dengan mempertimbangkan beban struktur untuk mendapatkan estimasi penurunan aktual pada bangunan.

Dalam konteks rekayasa pondasi, terdapat metode lain yang dapat digunakan untuk menghitung *settlement* bangunan akibat likuefaksi atau deformasi tanah pascagempa, antara lain:

1. Konsep tekanan kontak (*contact stress*), berdasarkan luas tapak bangunan dan beban struktur,
2. Model interaksi tanah-struktur seperti *Finite Element Analysis* (FEA),
3. Rumus penyederhanaan settlement (Terzaghi, Schmertmann),
4. Studi empiris oleh Tokimatsu & Asaka (1998), serta Tokimatsu (2006).

Jenis Pondasi untuk Daerah Rawan Likuifaksi

Pemilihan sistem pondasi sangat bergantung pada karakteristik tanah dan potensi deformasi akibat likuifaksi. Berdasarkan kajian Zhang dkk. (2002) dan FEMA P-58 (2012), zona dengan deformasi permukaan tanah <5 cm dapat dikategorikan sebagai risiko rendah, sedangkan deformasi >10 cm mengindikasikan risiko tinggi terhadap kerusakan struktural ringan.

Pada zona risiko rendah (deformasi <5 cm), pondasi dangkal seperti pondasi batu kali atau lajur beton bertulang masih memungkinkan untuk digunakan. Namun, untuk menjaga integritas struktur terhadap penurunan tidak merata (*differential settlement*), pondasi ini sebaiknya dikombinasikan dengan pelat beton bertulang (*rigid slab*) atau balok pengikat (*tie beams*) yang menyatukan titik-titik tumpuan (Das, 2015; Bowles, 1997).

Sebaliknya, pada zona dengan risiko tinggi (deformasi >10 cm), dibutuhkan sistem pondasi yang mampu menyalurkan beban ke lapisan tanah yang lebih dalam dan stabil. Pondasi seperti *raft foundation*, *mini pile*, atau kombinasi keduanya *(pile-raft system*) direkomendasikan untuk meningkatkan kapasitas dukung serta menghindari pengaruh tanah permukaan yang telah mencair atau mengalami rekonsolidasi (Kramer, 1996; SNI 8460:2017).

Menurut Das (2015), perencanaan pondasi di kawasan rawan likuefaksi tidak hanya mempertimbangkan daya dukung tanah (*bearing capacity*), tetapi juga ketahanan terhadap penurunan diferensial, kestabilan lateral, dan kelayakan teknis serta ekonomi, terutama untuk bangunan sederhana seperti rumah tinggal satu lantai.

Di kawasan pesisir yang memiliki keterbatasan akses material dan biaya konstruksi, pendekatan berbasis rekayasa lokal menjadi krusial. Solusi seperti perbaikan tanah sederhana, penggunaan geotekstil, serta kombinasi pondasi dangkal dan *mini pile* dapat menjadi opsi teknis yang lebih ekonomis dan aplikatif bagi masyarakat umum.

Penelitian Sebelumnya

Berbagai kajian mengenai potensi likuifaksi dengan pendekatan geoteknik telah dilakukan di beberapa wilayah pesisir Daerah Istimewa Yogyakarta, khususnya di sekitar kawasan Yogyakarta International Airport (YIA). Artati dkk. (2020) mengkaji potensi likuifaksi di Pantai Glagah, Kulon Progo, dengan menggunakan data *Standard Penetration Test* (N-SPT) dari 12 titik sampel. Penelitian ini mengidentifikasi kerentanan tanah pasir vulkanik terhadap likuifaksi, terutama pada lapisan jenuh air pada kedalaman tertentu.

Ansori dan Artati (2021) melanjutkan kajian tersebut dengan pendekatan probabilistik terhadap data N-SPT dari lokasi proyek YIA. Hasil analisis menunjukkan bahwa kawasan tersebut memiliki potensi likuifaksi yang tinggi, dengan tingkat probabilitas mencapai lebih dari 85%. Meski demikian, baik studi ini maupun sebelumnya belum menyentuh estimasi deformasi tanah secara kuantitatif pascalikuifaksi atau memberikan rekomendasi struktural yang adaptif.

Selain itu, Wardani dkk. (2020) melakukan studi geoteknik di kawasan pesisir Bantul dengan menggunakan data SPT dan CPT untuk mengidentifikasi zona rawan likuifaksi. Mereka menemukan bahwa

ISSN 2962-2697
Vol. 5, No. 1, Juli 2025

lapisan pasir jenuh pada kedalaman <10 meter menunjukkan nilai SPT rendah (<10) dan fraksi pasir >70%, yang secara empiris menunjukkan potensi likuifaksi sedang hingga tinggi. Studi ini memberikan kontribusi dalam pembuatan peta zonasi likuifaksi awal untuk perencanaan wilayah pesisir selatan Yogyakarta.

Kajian deformasi akibat likuifaksi mulai dieksplorasi oleh Prakarsa dkk. (2024) di kawasan tepian Sungai Tambak Bayan, Kota Yogyakarta. Dengan menggunakan pendekatan Zhang et al. (2002), mereka memodelkan regangan volumetrik dan memperkirakan penurunan muka tanah dalam kisaran 6,65–18,18 cm. Namun, fokus studi masih terbatas pada pemodelan deformasi tanpa dilanjutkan pada penerapan desain pondasi yang sesuai untuk bangunan sederhana di wilayah terdampak.

Berbeda dari penelitian sebelumnya, studi ini studi ini mengembangkan pendekatan klasik analisis likuifaksi dengan menambahkan dimensi prediktif berupa estimasi deformasi vertikal tanah berbasis data N-SPT, serta menyusun rekomendasi desain pondasi tangguh dan inklusif untuk bangunan rumah tinggal. Pendekatan yang digunakan menggabungkan metode Seed & Idriss (1982) untuk analisis faktor keamanan terhadap likuifaksi dan pendekatan Zhang dkk. (2002) untuk estimasi regangan volumetrik.

Metodologi Penelitian

Lokasi penelitian

Penelitian ini berlokasi di Desa Glagah, Kecamatan Temon, Kabupaten Kulonprogo. Data yang dianalisis berasal dari 8 titik bor (*borehole*) meliputi DB 81, DB 79, DB 46, DB 47, DB 34, DB 33, DB 13, dan DB 15. Seluruh titik yang dipilih berada dalam wilayah administratif Desa Glagah. Sebaran lokasi *borehole* yang dianalisis dapat dilihat pada Gambar 3 berikut. Jenis data yang digunakan adalah data hasil dari pengujian SPT dari titik sampel tersebut.



Gambar 3. Data Sebaran Titik Penelitian

Tahapan Analisis

Tahapan analisis diawali dengan menghitung nilai CSR dan CRR dengan skala magnitudo 6,5 dan 7,5, yang kemudian dari perbandingan keduanya digunakan untuk menentukan Faktor Keamanan (FS) dalam mengidentifikasi potensi likuefaksi. Selanjutnya, digunakan pendekatan Zhang dkk. (2002) untuk menghitung estimasi regangan volumetrik (*volumetric strain*) dan penurunan muka tanah (*settlement*) pada setiap lapisan. Hasil penurunan dari masing-masing lapisan dijumlahkan untuk memperoleh nilai penurunan total di setiap titik pengamatan.

Setelah itu, dilakukan interpretasi dan klasifikasi tingkat penurunan tanah ke dalam tiga kategori: ringan, sedang, dan berat. Berdasarkan klasifikasi tersebut, disusunlah rekomendasi tipe pondasi yang sesuai sebagaimana ditampilkan pada tabel 1 berikut.

ISSN 2962-2697
Vol. 5, No. 1, Juli 2025

Tabel 1. Rekomendasi Pondasi Berdasarkan Kategori Risiko Penurunan Vertikal (*Settlement*)

Kategori Risiko	Kriteria Settlement	Rekomendasi Pondasi	Referensi
Rendah	S < 5 cm	Pondasi dangkal (batu kali, pondasi tapak beton)	Das (2015), Zhang dkk. (2002)
Sedang	5 cm ≤ S ≤ 10 cm	Pondasi pelat (*raft*) dengan pengaku horizontal tambahan	Bowles (1997), FEMA (2012)
Tinggi	S > 10 cm	Pondasi dalam (mini pile), atau kombinasi perbaikan tanah dan pondasi dangkal	SNI 8460:2017, Kramer (1996), FEMA (2012)

Catatan : Rekomendasi dalam penelitian ini disusun dengan menjadikan deformasi vertikal (*settlement*) sebagai salah satu indikator utama kinerja tanah, namun tidak dimaksudkan sebagai satu-satunya parameter dalam menentukan desain pondasi yang tepat.

Hasil dan Pembahasan

Analisis Potensi Likuifaksi

Berdasarkan hasil data N-SPT dari 8 titik bor di Desa Glagah, Kulonprogo, diperoleh sebaran jenis tanah dominan berupa pasir halus (*fine sand*) dan pasir sedang (*medium sand*), dengan muka air tanah seperti pada Tabel 2. berikut.

Tabel 2. Tinggi Muka Air Tanah dan N-SPT

Titik Bor	Muka Air Tanah (m)	N - SPT
		Blow/30 cm
DB - 81	5.6	16
DB - 79	5.15	13
DB - 34	1.36	11
DB - 33	1.36	8
DB - 13	5.21	18
DB - 15	3.15	12
DB - 47	2.71	9
DB - 46	3.63	8

Nilai N-SPT pada tabel tersebut merupakan nilai pada kedalaman tinggi muka air tanah, sedangkan nilai N-SPT secara keseluruhan bervariasi dari 8 hingga 18, dengan nilai terendah ditemukan pada kedalaman 2 hingga 4 meter.

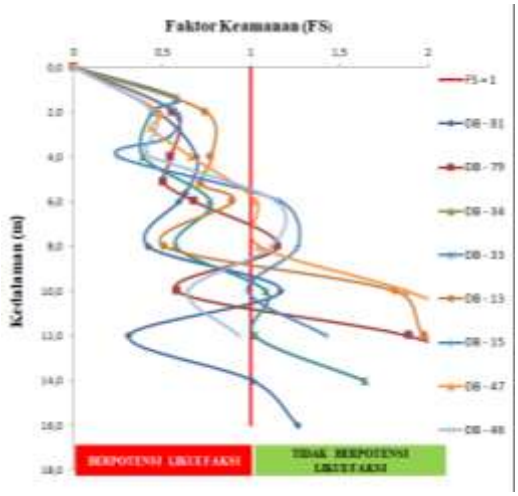
Mengacu pada metode Seed & Idriss (1982), nilai CSR dan CRR dihitung untuk setiap lapisan tanah dengan interval 2 meter. Selanjutnya, faktor keamanan (FS) ditentukan sebagai indikator potensi likuefaksi, dengan kriteria FS < 1 menunjukkan kemungkinan terjadinya likuifaksi. Contoh hasil perhitungan CSR, CRR, dan FS untuk titik DB-81 ditampilkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil perhitungan CSR, CRR, dan FS pada DB 81

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N - SPT Blow/30 cm	FC (%)	CSR	CRR	FS	CRR	FS
					Mw = 6,5		Mw = 7,5	
2	Fine SAND	9	4,46	0,352	0,167	0,473	0,116	0,328
4	Fine SAND	16	2,25	0,347	0,240	0,693	0,166	0,480
5,6	Fine SAND	16	2,25	0,342	0,217	0,633	0,150	0,439
6	Fine SAND	16	2,25	0,360	0,213	0,592	0,148	0,411
8	Fine SAND	14	11,37	0,425	0,178	0,419	0,123	0,290
10	Fine SAND	50	11,37	0,454	0,531	1,169	0,368	0,811
12	Fine SAND	50	11,37	0,457	0,142	0,310	0,098	0,215
14	Medium SAND	50	11,37	0,449	0,452	1,008	0,314	0,699
16	Medium SAND	50	0,92	0,435	0,550	1,264	0,381	0,877

ISSN 2962-2697
Vol. 5, No. 1, Juli 2025

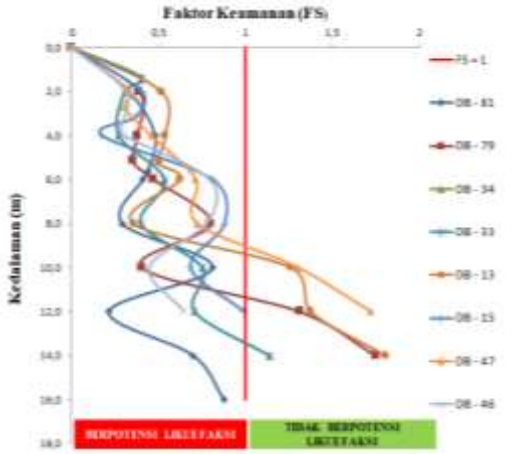
Sementara itu, hasil identifikasi potensi likuefaksi dengan skala magnitudo 6,5 pada semua titik pengamatan disajikan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Hasil Analisis Potensi Likuefaksi dengan Mw=6,5

Gambar 4 menunjukkan bahwa seluruh titik bor memiliki lapisan tanah yang berpotensi mengalami likuefaksi di kedalaman yang bervariasi. Potensi tertinggi teridentifikasi pada titik DB-81 di kedalaman 2–12 meter, DB-79 pada 2–10 meter, DB-34 dan DB-33 pada 1,36–8 meter, DB-13 pada 2–8 meter, DB-15 dan DB-47 pada 2–4 meter, serta DB-46 pada kedalaman 2–10 meter. Kondisi ini mengindikasikan bahwa wilayah studi memiliki kerentanan terhadap likuefaksi meskipun pada gempa dengan magnitudo menengah, yang dalam konteks geoteknik tetap memerlukan perhatian serius.

Sementara itu, hasil analisis potensi likuefaksi pada skala magnitudo gempa 7,5 disajikan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Hasil Analisis Potensi Likuefaksi dengan Mw=6,5

Hasil tersebut memperlihatkan bahwa kedalaman zona likuefaksi meluas dan menjangkau lapisan yang lebih dalam. Pada titik DB-81, potensi likuefaksi teridentifikasi hingga kedalaman 16 meter, DB-79 pada 2–10 meter, DB-34, DB-15, dan DB-46 pada 1,36–12 meter, serta DB-33, DB-13, dan DB-47 pada kedalaman 2–8 meter. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan skala gempa secara signifikan memperluas dan memperdalam zona kerentanan, yang mempertegas pentingnya mitigasi terhadap dampak likuefaksi.

Secara umum, temuan ini menunjukkan bahwa sebagian besar lapisan tanah di Desa Glagah memiliki nilai *factor of safety* (FS) < 1 pada kedalaman dangkal hingga menengah, yang menandakan potensi likuefaksi tinggi. Distribusi ini konsisten dengan kondisi geologi wilayah pesisir Kulonprogo, yang didominasi oleh lapisan pasir jenuh air dengan muka air tanah yang relatif dangkal, faktor yang secara geoteknik dikenal meningkatkan kerentanan terhadap pencairan tanah saat terjadi gempa.

Untuk memperoleh pemahaman yang lebih menyeluruh terhadap konsekuensi teknis likuefaksi, analisis selanjutnya diarahkan pada estimasi deformasi vertikal (*settlement*). Estimasi ini krusial, karena likuefaksi tidak hanya menurunkan kekuatan geser tanah, tetapi juga menyebabkan perubahan volume tanah

ISSN 2962-2697
Vol. 5, No. 1, Juli 2025

secara permanen. Deformasi ini berpotensi menyebabkan ketidakstabilan struktur, terutama pada bangunan sederhana dengan pondasi dangkal. Oleh karena itu, informasi deformasi vertikal menjadi landasan penting dalam menyusun rekomendasi teknis sistem pondasi yang sesuai.

Estimasi Deformasi Tanah Akibat Likuefaksi

Estimasi deformasi vertikal akibat likuefaksi dilakukan berdasarkan nilai FS pada setiap lapisan tanah. Pendekatan empiris yang dikembangkan oleh Zhang dkk. (2002) digunakan untuk memperoleh nilai total penurunan (*settlement*) di masing-masing titik bor. Nilai total inilah yang menjadi acuan dalam penentuan tingkat risiko deformasi dan rekomendasi sistem pondasi.

Pendekatan ini dipilih karena relatif sederhana, tidak memerlukan uji laboratorium lanjutan, dan dapat diterapkan secara cepat pada data hasil uji lapangan seperti N-SPT. Selain itu, metode ini telah banyak digunakan dalam studi rekayasa geoteknik untuk menghasilkan estimasi awal yang dapat digunakan sebagai dasar evaluasi risiko deformasi tanah akibat gempa. Tabel 4 berikut menyajikan contoh estimasi regangan volumetrik dan penurunan tanah pada titik DB-81 dengan FS pada Mw=7,5.

Tabel 4. Estimasi Regangan Volumetrik dan Penurunan Tanah pada DB-81

Kedalaman (m)	H (m)	FS	εv	S (m)
0,0	0,0	0,000	0,040	0,000
2	2,0	0,328	0,047	0,093
4	2	0,480	0,050	0,099
5,6	1,6	0,439	0,049	0,078
6	0,4	0,411	0,048	0,019
8	2,0	0,290	0,046	0,092
10	2	0,811	0,011	0,022
12	2,0	0,215	0,044	0,089
14	2	0,699	0,0325	0,065
16	2,0	0,877	0,016	0,032
Total				**0.589**

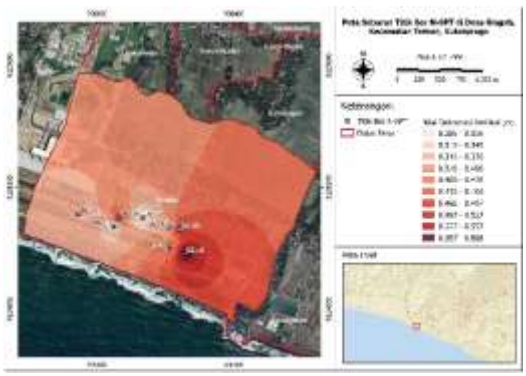
Berdasarkan perhitungan tersebut, total penurunan vertikal kumulatif pada titik DB-81 dengan skala magnitudo 7,5 mencapai 58,9 cm. Nilai ini tergolong dalam kategori risiko tinggi, yang menandakan bahwa tanah di lokasi tersebut mengalami deformasi signifikan sebagai akibat dari likuifaksi. Kondisi ini mengharuskan adanya sistem pondasi yang mampu menyalurkan beban bangunan ke lapisan tanah yang lebih stabil di bawah zona likuefaksi.

Sedangkan untuk hasil perhitungan total penurunan dari semua titik pada Mw=7,5 DAN Mw=6,5 ditampilkan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Rekapitulasi Estimasi Total Penurunan pada 8 Titik Pengamatan

Titik Bor	Muka Air Tanah (m)	Total Penurunan (m)	
		Mw 7,5	Mw 6,5
DB - 81	5,6	0,588	0,420
DB - 79	5,15	0,403	0,227
DB - 34	1,36	0,475	0,301
DB - 33	1,36	0,290	0,247
DB - 13	5,12	0,285	0,260
DB - 15	3,15	0,357	0,174
DB - 47	2,71	0,333	0,177
DB - 46	3,15	0,501	0,299

Dari hasil tersebut, seluruh titik bor menunjukkan potensi deformasi vertikal yang signifikan, dengan total penurunan berkisar antara 28 cm hingga 59 cm pada skala magnitudo 7,5 dan 17 cm hingga 42 cm pada skala magnitudo 6,5. Jika hasil perhitungan tersebut dimodelkan dalam sebuah peta zonasi, maka hasilnya seperti Gambar 6 berikut.



ISSN 2962-2697
Vol. 5, No. 1, Juli 2025

Gambar 6. Zona Deformasi Akibat Likuifaksi di Desa Glagah, Kulonprogo

Dari hasil analisis tersebut, menunjukkan indikasi kuat bahwa struktur bangunan yang menggunakan pondasi dangkal berisiko mengalami kerusakan akibat *differential settlement* maupun kehilangan dukungan secara menyeluruh. Oleh karena itu, hasil estimasi ini menjadi komponen penting dalam penentuan strategi mitigasi risiko geoteknik, khususnya dalam desain sistem pondasi rumah tinggal yang aman dan adaptif di wilayah pesisir Desa Glagah.

Rekomendasi Desain Pondasi Rumah Tinggal

Berdasarkan hasil analisis deformasi, maka disusun rekomendasi sistem pondasi yang adaptif, efisien, dan layak secara teknis dengan melihat klasifikasinya pada Tabel 1.

Semua titik bor menunjukkan penurunan lebih dari 10 cm, maka seluruhnya masuk dalam zona risiko deformasi tinggi. Rekomendasi pondasi yang sesuai adalah pondasi dalam, seperti *mini pile* atau tiang pancang pendek, dikombinasikan dengan sistem pengaku struktural.

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisis, wilayah pesisir Desa Glagah menunjukkan potensi likuefaksi yang sangat tinggi, terutama pada lapisan pasir jenuh air di kedalaman 2 hingga 14 meter. Kedalaman zona likuefaksi bervariasi mulai dari 2 hingga 12 meter, bahkan mencapai 16 meter di titik DB-81 untuk skenario gempa besar.

Hasil estimasi deformasi vertikal akibat likuifaksi, menggunakan pendekatan Zhang dkk. (2002), menunjukkan penurunan permukaan tanah yang cukup besar, yaitu antara 0,29 hingga 0,59 meter untuk skenario gempa Mw 7,5, dan 0,17 hingga 0,42 meter untuk Mw 6,5. Seluruh titik bor yang dianalisis termasuk dalam kategori risiko tinggi yang berpotensi menimbulkan kerusakan struktural yang serius, khususnya pada rumah tinggal yang menggunakan pondasi dangkal tanpa perkuatan.

Sebagai respon teknis terhadap kondisi tersebut, direkomendasikan penggunaan sistem pondasi dalam seperti mini pile atau tiang pancang pendek yang dikombinasikan dengan pelat pengikat (*tie beam*) untuk menjamin distribusi beban dan stabilitas struktur. Alternatif yang lebih ekonomis, seperti pondasi pelat (*raft foundation*) atau perbaikan tanah, dapat dipertimbangkan untuk bangunan satu lantai di kawasan dengan keterbatasan sumber daya.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu pendekatan berbasis data uji N-SPT dan perhitungan regangan volumetrik, terbukti efektif untuk memberikan estimasi kuantitatif potensi deformasi tanah akibat likuifaksi. Selain keunggulannya yang praktis dan mudah diterapkan di lapangan, pendekatan ini memiliki keterbatasan karena belum mempertimbangkan beban struktur, jenis pondasi, atau interaksi tanah-struktur.

Oleh karena itu, hasil deformasi perlu divalidasi lebih lanjut dengan mempertimbangkan parameter teknis bangunan serta aspek sosial-ekonomi masyarakat. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengintegrasikan model analitik atau numerik berbasis interaksi tanah-struktur guna mendapatkan prediksi penurunan bangunan yang lebih representatif dan aplikatif dalam konteks desain rekayasa.

Daftar Pustaka

Applied Earth Sciences. (2022). *Guide to soil liquefaction*. Diakses dari https://aessoil.com/guide-to-soil-liquefaction/

Ansori, A. L., & Artati, H. K. (2022). Analisis potensi likuifaksi akibat gempa bumi berdasarkan data insitu test menggunakan metode probabilitas. *PROKONS: Jurnal Teknik Sipil*, 15(2), 71-80.

Artati, H.K., Pawirodikromo, W., dan Purwanto, E. (2020). Analisis Potensi Likuifaksi pada Pasir Vulkanik di Pantai Glagah Kulonprogo Berdasarkan Data N-SPT. Jurnal Teknisia. XXV(2) 108-120. https://doi.org/10.20885/teknisia.vol25.iss2.art6

Bowles, J. E. (1997). Foundation analysis and design (5th ed.). McGraw-Hill.

Das, Braja M. (1993). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1. Penerbit Erlangga.

Das, Braja M. (2011). Principles of Foundation Engineering. 7th Edition. Cengage Learning.

Das, B. M. (2015). Shallow foundations: Bearing capacity and settlement (2nd ed.). CRC Press.

Diana, N. A., Soemitro, R. A. A., Ekaputri, J. J., Satrya, T. R., & Warnana, D. D. (2024). Evaluasi risiko likuifaksi berdasarkan karakteristik ukuran butir tanah dan hasil tahanan Standard Penetration Test (N-SPT): Studi kasus kawasan NYIA. Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi), 6(1), 51–58. https://journal.unesa.ac.id/index.php/proteksi/article/view/31544

Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2012). Seismic performance assessment of buildings, Volume 1: Methodology (FEMA P-58).

Idriss, I. M. (1999). An update to the Seed-Idriss simplified proce-dure for evaluating liquefaction potential. in Proceedings. TRB Workshop on New Approaches to Liquefaction. Publication No.FHWA-RD99-165. Federal Highway Administration. Washington DC. 10 January 1999. http://www.ce.memphis.edu/7137/PDFs/IDRISS.pdf

Idriss, I.M., and Boulanger, R.W. (2003). Relating Kσ and Kσ' to SPT Blow Count and to CPT Tip Resistance for Use in Evaluating Liquefaction Potential. Proceedings of the 20th Annual Conference of Association of State Dam Safety Officials, ASDSO, Lexington, 8-10 September 2003, 7-10.

Idriss, I.M., and Boulanger, R.W. (2004). Semi-Empirical Procedures For Evaluating Liquefaction Potential During Earthquakes. Department Of Civil and Environmental Engineering University Of California. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2004.11.023

Idriss, I.M., and Boulanger, R.W. (2008). Soil Liquifaction During Earthquake. Earthquake Engineering Reseach Institute (EERI) Publication No.MNO-12. California.

Kramer, S. L. (1996). Geotechnical earthquake engineering. Prentice Hall.

Oran, G., Akgün, H., & Karpuz, C. (2011). Liquefaction and post-liquefaction settlement assessment of sandy soils: A case study from the Erzincan Basin (Eastern Turkey). Engineering Geology, 117(3–4), 215–233. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2010.10.006

Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1971). Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. ASCE, 97(9), pp.1249-1273. https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001662

Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982). Ground Motions and Soil Liquefaction dering Earthquakes. Earthquake Engineering Research Institute Monograph, Oakland.

Standar Nasional Indonesia (SNI 1726). (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

Tokimatsu, K. & Asaka, Y. (1998). Effects of liquefaction-induced ground displacements on pile performance in the 1995 Hyogoken-Nambu Earthquake. Soils and Foundations, 38(2), 163–177.

Tokimatsu, K., & Seed, H. B. (1987). Evaluation of settlements in sands due to earthquake shaking. Journal of Geotechnical Engineering, 113(8), 861–878. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1987)113:8(861)

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana. (2007).

Wardani, E., Pramono, A., & Supriyadi, H. (2020). Kajian Potensi Likuifaksi di Pesisir Bantul Berdasarkan Data SPT dan CPT. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, 8(2), 115–124.

Zhang, G., Robertson, P.K., & Brachman, R.W.I. (2002). Estimation of Liquefaction-Induced Ground Settlements Based on SPT and CPT. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 128(4), 343–355. DOI:10.1061/(ASCE)1090-0241(2002)128:4(343)

Zhang, G., Robertson, P. K., & Brachman, R. W. I. (2002). Estimating liquefaction-induced ground settlements from SPT data and 1-D reconsolidation theory. Canadian Geotechnical Journal, 39(5), 1168–1180. https://doi.org/10.1139/t02-047