

## Kajian Komparatif Pendekatan Geoteknik dan Geofisika terhadap Pemodelan Potensi Likuifaksi di Kawasan NYIA

Ahmad Latiful Ansori<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Program Profesi Insinyur, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta, Indonesia

### Article Info

Available online

### Keywords:

Likuifaksi  
Geoteknik  
Geofisika  
Pemodelan Geospasial

### Corresponding Author:

Ahmad Latiful Ansori  
[ahmadlatifulansori95@gmail.com](mailto:ahmadlatifulansori95@gmail.com)  
[il.com](http://il.com)

### Abstract

*The Special Region of Yogyakarta (DIY), particularly the New Yogyakarta International Airport (NYIA) area, lies in a region highly susceptible to liquefaction due to significant seismic activity and unique geological conditions. This study aims to analyze the liquefaction potential using geotechnical and geophysical approaches and compare the advantages of both methods. The geotechnical approach employs Standard Penetration Test (SPT) data from 17 observation points to calculate the Cyclic Stress Ratio (CSR), Cyclic Resistance Ratio (CRR), and Factor of Safety (FS) using deterministic and probabilistic methods. Meanwhile, the geophysical approach utilizes shear wave velocity data ( $V_{s30}$ ) from the United States Geological Survey (USGS) to spatially analyze liquefaction potential. The analysis indicates that the NYIA area is classified as having medium soil density, with  $V_{s30}$  values ranging from 229.342 m/s to 283.965 m/s, and exhibits a high liquefaction susceptibility, with an average probability exceeding 85%, particularly at depths up to 10 meters. Spatial modeling using ArcGIS provides liquefaction risk maps, offering a visual representation of soil vulnerability distribution. This study highlights the advantage of the geotechnical approach in providing specific point-based data, while the geophysical approach is more efficient for analyzing broader areas. This information is crucial for disaster mitigation and infrastructure planning in strategic areas like NYIA.*

Copyright © 2025 Universitas Islam Indonesia  
All rights reserved

### Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat kerawanan gempa bumi yang tinggi karena berada di pertemuan empat lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Australia, Eurasia, Filipina, dan Pasifik, serta dilalui oleh dua jalur pegunungan besar dunia, Pegunungan Mediterania dan Pasifik. Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY), yang terletak di selatan Pulau Jawa, merupakan wilayah yang rawan gempa karena berada di zona subduksi, yaitu garis tumbukan antara lempeng tektonik Australia dan Eurasia.

Berdasarkan sejarah gempa bumi di Pulau Jawa, beberapa kejadian gempa bumi menimbulkan kerusakan dan korban jiwa. Salah satu peristiwa gempa bumi besar yang

pernah terjadi adalah gempa Yogyakarta pada 27 Mei 2006, dengan magnitudo 5,9. Gempa ini mengakibatkan 5.716 korban jiwa dan kerugian perekonomian lebih dari US\$ 3.134 juta (Bappenas, 2006).

Gempa bumi tidak hanya menghasilkan efek destruktif langsung, seperti guncangan yang merusak struktur, tetapi juga dapat memicu proses non tektonik dipermukaan, salah satu efek yang terjadi ialah fenomena pencairan tanah akibat beban gempa atau yang dikenal dengan istilah likuifaksi. Likuifaksi terjadi karena hilangnya kekuatan geser efektif pada tanah akibat meningkatnya tegangan air pori saat terjadi gempa. Ketika kuat geser tanah menghilang maka tanah akan berperilaku cair (*liquid*), sehingga mengakibatkan daya dukung tanah menghilang yang berpotensi

merusak struktur bangunan di atasnya. Kerusakan struktur bangunan tidak hanya mengakibatkan kerugian materi, tapi juga mengakibatkan hilangnya nyawa manusia.

Oleh karena itu, penyelidikan potensi likuifaksi perlu dilakukan di wilayah pembangunan fasilitas publik, termasuk kawasan New Yogyakarta International Airport (NYIA). Sebagai infrastruktur publik strategis di zona rawan gempa, NYIA memiliki peran vital dalam mendukung mobilitas dan perekonomian, sehingga penyelidikan ini menjadi sangat krusial.

Beberapa metode untuk mengetahui potensi likuifaksi telah dikembangkan oleh para ahli. Dalam studi geoteknik, salah satu pendekatan yang telah diterapkan secara luas adalah pendekatan berdasarkan tekanan, yaitu dengan membandingkan tekanan siklik yang diinduksi oleh gempa bumi dengan tahanan siklik tanah. Secara umum, metode perhitungan potensi likuifaksi terbagi menjadi dua, yaitu metode deterministik dan probabilistik.

Jika metode geoteknik menganalisis potensi likuifaksi menggunakan pendekatan tekanan, dalam studi geofisika pendekatan yang sering digunakan adalah pendekatan berdasarkan karakteristik gelombang seismik. Pendekatan ini melibatkan analisis kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dan gelombang kompresi ( $V_p$ ) untuk mengidentifikasi sifat kekakuan dan densitas tanah, serta mengevaluasi kerentanannya terhadap likuifaksi. Berbeda dengan pendekatan geoteknik yang memerlukan pengambilan sampel langsung dari lapangan, pendekatan ini menggunakan alat ukur seperti seismometer, *multichannel analysis of surface waves* (MASW), atau metode mikrotremor untuk mengukur karakteristik tanah.

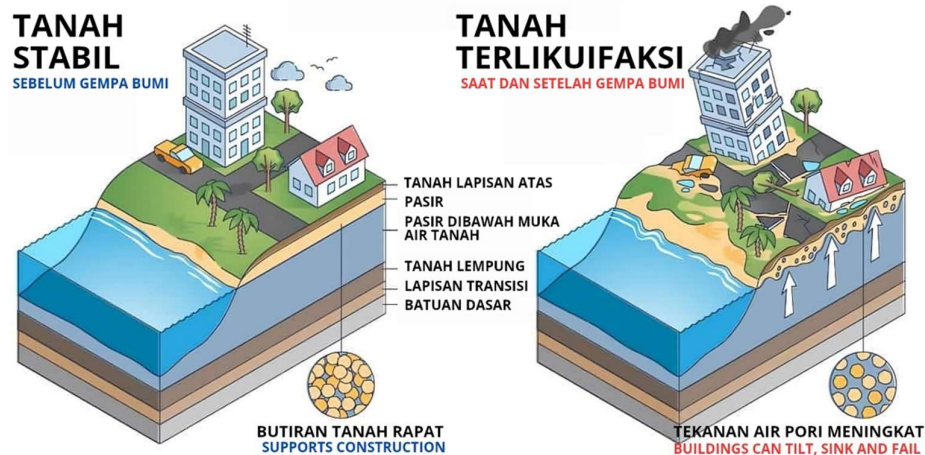
Pada penelitian ini, analisis likuifaksi dilakukan menggunakan dua pendekatan, yaitu geoteknik dan geofisika. Pengujian dilakukan pada 17 titik data N-SPT yang tersebar di kawasan NYIA. Tujuannya adalah untuk mengetahui potensi likuifaksi di kawasan NYIA dari analisis geoteknik dan geofisika, membuat pemodelan peta distribusi potensi likuifaksi, serta membandingkan hasil kedua pendekatan / menilai keunggulan dan kekurangannya.

Pemodelan geospasial digunakan untuk menyajikan hasil analisis potensi likuifaksi dari pendekatan geoteknik dan geofisika. Peta risiko likuifaksi yang dihasilkan memvisualisasikan distribusi potensi kerentanan tanah, yang sangat berguna untuk mitigasi bencana dan perencanaan pembangunan infrastruktur di kawasan strategis seperti NYIA.

## Tinjauan Pustaka

### *Likuifaksi*

Menurut Towhata (2008), likuifaksi terjadi pada tanah berpasir lepas yang jenuh air. Ketika lapisan tanah ini mengalami getaran, massa tanah cenderung memadat sehingga volume rongganya mengecil. Dalam kondisi tanah yang jenuh air, pengecilan volume pori menyebabkan air tidak dapat mengalir, sehingga tekanan air pori akan terus meningkat. Peningkatan ini menyebabkan tekanan air pori mendekati atau bahkan menyamai tegangan total dalam elemen tanah, yang mengakibatkan tegangan efektif menjadi nol. Ketika tegangan efektif nol, tegangan geser tanah juga menjadi nol, dan tanah akan berperilaku seperti cairan. Dalam kondisi ini, tanah kehilangan daya dukungnya, sehingga tidak mampu menahan beban apapun di atasnya, baik dari benda maupun bangunan. Ilustrasi kondisi tersebut ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Kondisi Tanah Sebelum dan Saat Terjadi Likuifaksi

(Sumber : Applied Earth Sciences, 2022)

**Pendekatan geoteknik dalam analisis potensi likuifaksi**

Dalam studi geoteknik, analisis potensi likuifaksi yang umum digunakan adalah dengan pendekatan berdasarkan tekanan, yaitu dengan membandingkan tekanan siklik yang diinduksi oleh gempa bumi dengan tahanan siklik tanah. Pendekatan ini menggunakan data parameter tanah yang diperoleh melalui pengujian lapangan, seperti *Standard Penetration Test* (SPT), *Cone Penetration Test* (CPT), serta pengujian laboratorium pada sampel tanah. Tujuannya adalah untuk menilai potensi terjadinya likuifaksi dengan menghitung faktor keamanan (*Factor of Safety*, FS), yang merepresentasikan perbandingan antara kapasitas perlawanan tanah terhadap likuifaksi (CRR) dan tekanan siklik akibat gempa bumi (CSR).

**Metode deterministik**

Pendekatan analisis potensi likuifaksi melalui perhitungan FS dikenal sebagai metode deterministik, yang umum digunakan untuk mengevaluasi titik-titik kritis dengan pendekatan langsung pada parameter tanah yang telah diperoleh dari pengujian lapangan. Faktor keamanan (FS) dihitung menggunakan persamaan (1) berikut.

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \tag{1}$$

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

Pendekatan ini melibatkan dua parameter utama, yaitu *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR). Parameter CSR menggambarkan tegangan siklik yang diinduksi oleh gempa pada tanah. Nilai CSR dihitung berdasarkan percepatan tanah maksimum ( $\alpha_{max}$ ), berat jenis tanah, dan kedalaman lapisan tanah. Seed dan Idriss (1971) merumuskan CSR melalui persamaan berikut.

$$CSR = 0,65 \cdot \left(\frac{\alpha_{max}}{g}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{vc}}{\sigma'_{vc}}\right) \cdot r_d \tag{2}$$

Pada persamaan tersebut,  $\alpha_{max}$  merupakan percepatan maksimum pada setiap lapisan tanah yang dinyatakan dalam satuan ( $m/s^2$ ),  $g$  adalah percepatan gravitasi, variabel  $\sigma_{vc}$  menunjukkan tekanan vertikal total lapisan tanah saat konsolidasi, sedangkan  $\sigma'_{vc}$  mengacu pada tekanan vertikal efektif

lapisan tanah saat konsolidasi.  $\sigma_{vc}$  dan  $\sigma'_{vc}$  dinyatakan dalam satuan ( $kN/m^2$ ). Faktor 0,65 merupakan asumsi bahwa tegangan geser seragam ekuivalen adalah 65% dari tegangan geser maksimum absolut yang dihasilkan oleh gempa. Adapun  $r_d$  adalah koefisien reduksi tegangan yang bergantung pada kedalaman lapisan tanah.

Dalam analisis likuifaksi, percepatan tanah maksimum dihitung menggunakan percepatan puncak  $MCE_G$  yang telah disesuaikan terhadap pengaruh klasifikasi situs, yang dikenal sebagai  $PGA_M$ . Nilai  $PGA_M$  dihitung sebagai hasil kali antara percepatan tanah puncak terpetakan ( $PGA$ ) dengan koefisien situs ( $F_{PGA}$ ). Metode ini mengacu pada SNI 1726-2019 tentang cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Persamaan untuk menghitung  $PGA_M$  dirumuskan sebagai berikut.

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA \quad (3)$$

Tegangan tanah vertikal total ( $\sigma_v$ ) dihitung berdasarkan berat isi dan tebal masing-masing lapisan tanah menggunakan persamaan berikut.

$$\sigma_v = \sum (h \times \gamma) \quad (4)$$

Pada persamaan tersebut,  $\sigma_v$  adalah tegangan vertikal total dalam satuan ( $kN/cm^2$ ),  $\gamma$  merupakan berat isi lapisan tanah dalam satuan ( $kN/cm^3$ ), dan  $h$  adalah tebal lapisan tanah dalam meter.

Selanjutnya, tegangan vertikal efektif ( $\sigma'_v$ ) dihitung dengan mengurangi tegangan air pori ( $\mu$ ) dari tegangan vertikal total ( $\sigma_v$ ). Hubungan ini dirumuskan sebagai berikut.

$$\sigma'_v = \sigma_v - \mu \quad (5)$$

Dalam persamaan tersebut,  $\mu$ , atau tegangan air pori, dihitung sebagai hasil perkalian antara berat isi air ( $\gamma_w$ ) dan tinggi kolom air pada lapisan tanah ( $h$ ), seperti yang ditunjukkan dalam rumus berikut.

$$\mu = \gamma_w \cdot h \quad (6)$$

Di mana,  $\gamma_w$  adalah berat isi air dalam satuan ( $kN/cm^3$ ), dan  $h$  adalah tinggi kolom air atau tebal lapisan tanah dalam meter.

Selain itu, koefisien reduksi ( $r_d$ ) digunakan untuk menghitung tegangan siklik di dalam tanah. Nilai  $r_d$  bergantung pada kedalaman tanah ( $z$ ) dan dihitung menggunakan pendekatan empiris yang diusulkan oleh Liao dan Whitman (1986), sebagaimana dirumuskan dalam persamaan berikut.

$$rd = 1,00 - 0,00765z \quad \text{untuk } z \leq 9,15 \text{ m} \quad (7)$$

$$rd = 1,174 - 0,0267z \quad \text{untuk } 9,15 \leq z \leq 23\text{m} \quad (8)$$

$$rd = 0,744 - 0,008z \quad \text{untuk } 23 \leq z \leq 30\text{m} \quad (9)$$

$$rd = 0,5z \quad \text{untuk } z \geq 23\text{m} \quad (10)$$

Dengan  $z$  sebagai kedalaman lapisan tanah yang ditinjau.

Selanjutnya, parameter CRR digunakan untuk menentukan kapasitas tanah dalam menahan tegangan siklik sebelum terjadinya likuifaksi. Nilai CRR diperoleh melalui korelasi dengan hasil uji lapangan, seperti *Standard Penetration Test* (SPT) atau *Cone Penetration Test* (CPT). Kedua parameter ini digunakan bersama untuk mengevaluasi potensi likuifaksi pada suatu lokasi. Jika data pengujian lapangan yang digunakan adalah data N-SPT maka untuk mendapatkan nilai CRR harus dilakukan koreksi dengan persamaan (11) berikut.

$$(N_1)_{60} = N_m \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S \quad (11)$$

Dalam persamaan tersebut,  $(N_1)_{60}$  adalah nilai N-SPT terkoreksi. Variabel  $N_m$  adalah nilai pembacaan SPT dan  $C_N$  sebagai faktor normalisasi  $N_m$  terhadap tegangan overburden. Koreksi rasio energi hammer dinyatakan dengan  $C_E$ , sementara  $C_B$ ,  $C_R$ , dan  $C_S$  masing-masing mengacu pada faktor koreksi diameter lubang bor, panjang batang bor, dan jenis sampel yang digunakan.

Seed dan Idriss (1982) mengusulkan bahwa faktor koreksi terhadap tekanan efektif *overburden* dihitung menggunakan persamaan (12) berikut.

$$C_N = \left( \frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma_v}{Pa}} \right) \quad (12)$$

Dimana  $Pa$  adalah tekanan atmosfer, dan nilai  $C_N$  tidak boleh lebih dari 1,7.

Selanjutnya, Seed dkk (1985) sebagaimana dikutip oleh Youd dkk (2001) mencatat adanya indikasi nyata tentang naiknya nilai CRR yang seiring dengan meningkatnya *finer content*. Hal ini menunjukkan bahwa plastisitas tanah memiliki pengaruh signifikan terhadap potensi terjadinya likuifaksi. Oleh karena itu, pengaruh *finer content* terhadap resistensi tanah terhadap likuifaksi harus diperhitungkan.

Idris, I.M dengan bantuan Seed, H.B mengembangkan persamaan untuk faktor

koreksi  $(N_1)_{60}$  penyetaraan nilai *clean sand*,  $(N_1)_{60cs}$  ditunjukkan pada persamaan (13) berikut.

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta (N_1)_{60} \quad (13)$$

Dengan  $\alpha$  dan  $\beta$  adalah koefisien yang dipengaruhi presentasi *finer content* (FC),

untuk  $FC \leq 5\%$ ,  $\alpha = 0, \beta = 1$ ,

untuk  $5\% < FC < 35\%$ ,  $\alpha = \exp [ 1,76 - (190/FC^2) ]$ ,  $\beta = [0,99 + (FC^{1,5}/1000)]$ ,

untuk  $FC > 35\%$ ,  $\alpha = 5,0, \beta = 1,2$ ,

Sehingga nilai CRR pada tanah dapat dihitung menggunakan persamaan (14) berikut.

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{(10 \cdot (N_1)_{60cs} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (14)$$

**Metode probabilistik**

Pendekatan lain yang dapat digunakan untuk menganalisis potensi likuifaksi adalah dengan menggunakan metode probabilistik. Pendekatan ini mempertimbangkan ketidakpastian parameter tanah dengan menganggapnya sebagai variabel acak, sehingga memungkinkan analisis risiko yang lebih komprehensif. Salah satu metode probabilistik yang banyak digunakan adalah model yang dikembangkan oleh Haidar dan Tang (1979). Metode ini didasarkan pada prosedur *Simplified Method* yang diperkenalkan oleh Seed dan Idriss (1971). Dalam pendekatan ini, parameter-parameter seperti *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dianalisis menggunakan pendekatan *First-Order* atau pendekatan linear untuk memperhitungkan variabilitasnya. Persamaan untuk analisis probabilitas likuifaksi berdasarkan prosedur *Simplified Method* dinyatakan sebagai berikut.

$$P_f = P(\tau_R \leq \tau_A) \quad (15)$$

$$P_f = 1 - \Phi \left\{ \frac{\ln \left( \frac{\tau_R}{\tau_A} \sqrt{\frac{1 + \Omega^2 \tau_R}{1 + \Omega^2 \tau_A}} \right)}{\sqrt{\ln \left[ \left( \frac{1 + \Omega^2 \tau_R}{\tau_R} \right) \cdot \left( \frac{1 + \Omega^2 \tau_A}{\tau_A} \right) \right]}} \right\} \quad (16)$$

Dengan,  $\Phi$  adalah standard normal kumulatif distribusi fungsi.

**Pendekatan geofisika dalam analisis potensi likuifaksi**

Pendekatan geofisika menawarkan metode tidak langsung untuk menganalisis potensi likuifaksi dengan memanfaatkan sifat-sifat fisik tanah, terutama kecepatan gelombang geser (*shear wave velocity*,  $V_s$ ). Berbeda dengan pendekatan geoteknik yang memerlukan pengambilan sampel langsung dari lapangan, pendekatan ini menggunakan alat ukur seperti seismometer, *multichannel analysis of surface waves* (MASW), atau metode mikrotremor.

Salah satu parameter kunci dalam pendekatan ini adalah  $V_{s30}$ , yaitu kecepatan gelombang geser rata-rata hingga kedalaman 30 meter. Parameter ini telah menjadi salah satu indikator utama dalam evaluasi risiko

likuifaksi karena berkorelasi erat dengan kondisi lapisan tanah dan struktur geoteknis di wilayah tertentu. *United States Geological Survey* (USGS) dan perangkat lunak terkait menyediakan data Vs30 untuk kawasan tertentu, yang kemudian dianalisis untuk memodelkan potensi likuifaksi.

Nilai Vs30 rendah (kurang dari 200 m/s) menunjukkan tanah yang cenderung lunak, seperti pasir lepas atau tanah aluvial jenuh air, yang sangat rentan terhadap likuifaksi. Sebaliknya, nilai yang lebih tinggi (>360 m/s) mengindikasikan lapisan tanah yang lebih kaku atau batuan dasar, yang lebih tahan terhadap likuifaksi (Rahman dkk., 2021).

Pada pendekatan geofisika, data Vs30 yang diperoleh dari pengukuran lapangan sering kali diolah lebih lanjut untuk menghasilkan model spasial risiko likuifaksi. Pemodelan geospasial ini memanfaatkan perangkat lunak seperti ArcGIS, yang memungkinkan integrasi berbagai parameter geofisika dan geoteknik ke dalam peta tematik. Proses pemodelan menggunakan ArcGIS dimulai dengan pengolahan data Vs30 untuk menghasilkan peta grid dengan resolusi tertentu. Data ini kemudian dikombinasikan dengan parameter lain, seperti percepatan getaran tanah maksimum (PGA) dan topografi wilayah, untuk membuat indeks kerentanan likuifaksi. Analisis spasial ini membantu mengidentifikasi area yang memiliki risiko tinggi, sedang, atau rendah terhadap likuifaksi.

#### ***Pemodelan geospasial dalam analisis potensi likuifaksi***

Pemodelan geospasial memegang peranan penting dalam visualisasi hasil analisis potensi likuifaksi secara spasial. Teknologi pemetaan berbasis perangkat lunak seperti ArcGIS atau aplikasi geospasial lainnya memungkinkan integrasi data geoteknik dan geofisika untuk menghasilkan peta yang menggambarkan distribusi risiko likuifaksi secara komprehensif. Proses ini memberikan representasi visual yang bermanfaat bagi

pengambil keputusan dalam perencanaan dan mitigasi bencana di daerah rawan gempa.

Prinsip dasar pemodelan geospasial melibatkan integrasi data titik, seperti hasil pengujian lapangan geoteknik (CSR, CRR, dan FS) serta data geofisika, khususnya nilai kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter (Vs30). Data ini diolah sebagai atribut spasial yang dapat dipetakan dalam sistem informasi geografis. Selain itu, data raster, yang merupakan data kontinu seperti model elevasi digital atau peta sebaran geologi, juga dimanfaatkan untuk memperluas cakupan analisis.

#### ***Tahapan pemodelan***

Tahap pertama dalam pemodelan geospasial adalah pengumpulan dan input data. Data geoteknik dan geofisika yang telah didapatkan kemudian diproses menggunakan teknik interpolasi, seperti Kriging atau *Inverse Distance Weighting* (IDW). Teknik ini memungkinkan prediksi nilai risiko likuifaksi di antara titik-titik pengamatan, sehingga menciptakan model distribusi risiko yang lebih menyeluruh. Misalnya, interpolasi nilai Vs30 dapat membantu mengidentifikasi area dengan tanah lunak yang lebih rentan terhadap likuifaksi.

Tahap selanjutnya adalah visualisasi peta. Data yang telah diolah divisualisasikan dalam bentuk peta risiko likuifaksi. Peta ini menampilkan distribusi potensi likuifaksi berdasarkan parameter utama seperti FS atau Vs30. Skala warna atau simbol tertentu digunakan untuk menunjukkan tingkat risiko, dari yang rendah hingga sangat tinggi.

#### ***Penelitian Sebelumnya***

Beberapa kajian mengenai potensi likuifaksi dengan pendekatan geoteknik maupun geofisika telah dilakukan diberbagai wilayah. Sunardi dkk (2018) pernah melakukan pemetaan Vs30 dan klasifikasi tanah di wilayah selatan Kulon Progo dengan menggunakan inversi eliptisitas gelombang Rayleigh Hasil penelitian menunjukkan sebagian besar wilayah selatan kulon progo memiliki nilai Vs30 yang relatif rendah, yaitu

dalam kisaran 180-342 m/s, sehingga termasuk dalam kategori jenis tanah sedang (SD). Di beberapa bagian zona perbukitan dan zona transisi, kecepatan gelombang geser yang relatif lebih tinggi di kisaran 357-578 m/s sehingga masuk dalam kategori jenis tanah keras (SC).

Berdasarkan metode *global geospatial model*, Annas dkk. (2021) melakukan analisis potensi likuifaksi di kecamatan sanden Kabupaten bantul Yogyakarta. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa nilai Vs30 berkisar antara 154,66 m/s s.d 260,80 m/s, dan Potensi likuefaksi terjadi di seluruh Kecamatan Sanden dengan nilai probabilitas > 0,99.

Artati dkk. (2020) telah menganalisis potensi likuifaksi di Pantai Glagah, Kulon Progo, yang berdekatan dengan kawasan NYIA. Mereka menggunakan data *Standard Penetration Test* (N-SPT) dari 12 titik sampel untuk menilai kerentanan tanah pasir vulkanik terhadap likuifaksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa lokasi di Pantai Glagah memiliki potensi likuifaksi yang signifikan, terutama pada kedalaman tertentu.

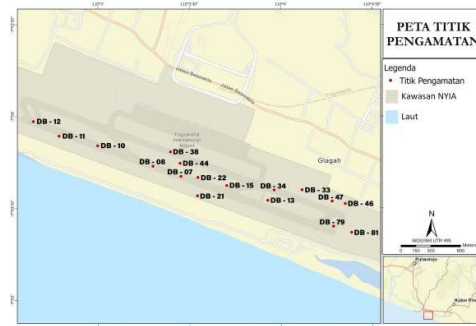
Pada kawasan NYIA itu sendiri, Ansori dan Artati (2021) melakukan analisis dengan menggunakan data N-SPT dari titik-titik yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kawasan NYIA memiliki potensi likuifaksi yang tinggi, dengan tingkat bahaya pasti likuifaksi atau probabilitas di atas 85%.

Berbeda dari penelitian sebelumnya, studi ini merupakan pengembangan dari penelitian terdahulu yang menggabungkan pendekatan geoteknik dan geofisika secara komprehensif. Analisis dilakukan menggunakan metode deterministik dan probabilistik berdasarkan parameter geoteknik serta data Vs30 yang diperoleh dari USGS. Selain itu, pemodelan spasial dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ArcGIS untuk mengevaluasi tingkat probabilitas dan kerentanan likuifaksi menggunakan kedua pendekatan tersebut

**Metodologi Penelitian**

**Lokasi penelitian**

Lokasi penelitian terletak di Desa Glagah dan Desa Palihan, tepatnya pada Kawasan NYIA. Borehole yang dianalisis meliputi 17 titik pengamatan, yaitu DB 81, DB 79, DB 34, DB 33, DB 13, DB 15, DB 21, DB 22, DB 38, DB 44, DB 47, DB 47, DB 46, DB 10, DB 11, DB 07, DB 12, dan DB 08. Adapun data sebaran dari borehole yang dianalisis dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Data Sebaran Titik Penelitian

Jenis data yang digunakan adalah data hasil dari pengujian SPT dari titik sampel tersebut. Dan Vs30 dari data yang disediakan USGS.

**Tahapan Analisis**

Tahapan analisis dimulai dengan menghitung CSR dan CRR, kemudian menentukan FS sebagai hasil dari metode deterministik. dan dilanjutkan dengan analisis menggunakan metode probabilistik, untuk mengetahui tingkat probabilitas likuifaksi.

Pendekatan geofisika dilakukan dengan menganalisis kecepatan gelombang geser (Vs) menggunakan data dari USGS. Tahapan akhir adalah pemodelan geospasial menggunakan ArcGIS untuk menyajikan hasil analisis secara visual dalam bentuk peta risiko likuifaksi.

**Hasil dan Pembahasan**

**Analisis geoteknik.**

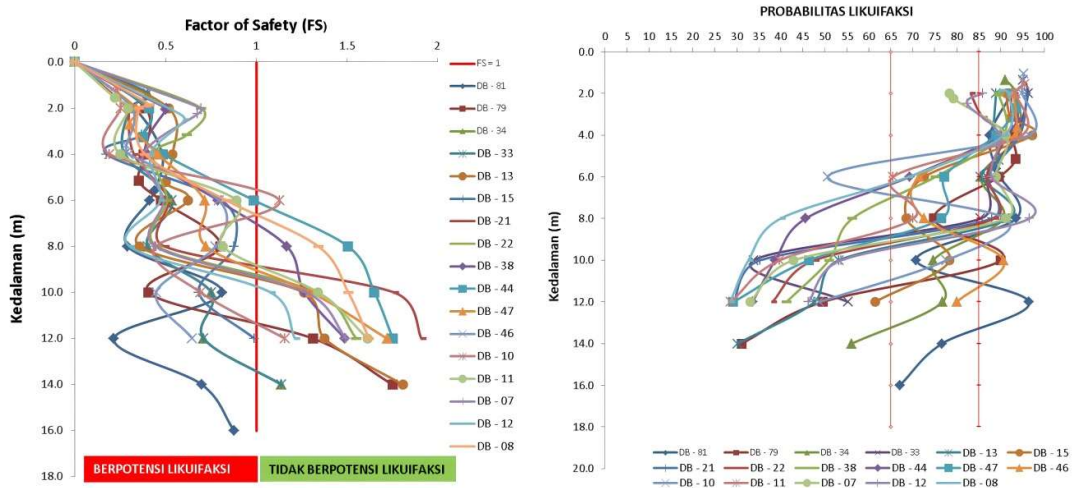
Berikut merupakan contoh hasil perhitungan CSR, CRR, dan probabilitas likuifaksi di 17 titik penelitian yang ditinjau pada kedalaman muka air tanah.

Tabel 1. Hasil Analisis Geoteknik Ditinjau dari Kedalaman Muka Air Tanah

Titik Bor	Muka Air Tanah (m)	N - SPT		CSR	CRR	FS	PROBABILITAS LIKUIFAKSI (%)
		Blow/30 cm					
DB - 81	5.6	16		0.342	0.150	0.439	88.980
DB - 79	5.15	13		0.343	0.121	0.352	93.441
DB - 34	1.36	11		0.354	0.142	0.402	91.118
DB - 33	1.36	8		0.354	0.109	0.308	95.159
DB - 13	5.21	18		0.343	0.171	0.499	89.666
DB - 15	3.15	12		0.349	0.129	0.369	92.347
DB - 21	2.09	8		0.352	0.104	0.295	95.935
DB - 22	3.16	20		0.349	0.215	0.616	85.992
DB - 38	2.06	15		0.352	0.176	0.501	89.658
DB - 44	3.15	12		0.349	0.130	0.374	93.850
DB - 47	2.71	9		0.350	0.106	0.301	93.551
DB - 46	3.63	8		0.348	0.098	0.283	93.780
DB - 10	1.06	5		0.355	0.081	0.227	95.289
DB - 11	1.55	5		0.353	0.078	0.220	95.475
DB - 07	2.25	20		0.351	0.238	0.676	79.258
DB - 12	2.5	18		0.351	0.212	0.603	82.406
DB - 08	1.86	12		0.352	0.145	0.413	89.713

Berdasarkan Tabel 1, dari 17 titik bor yang dianalisis menunjukkan probabilitas likuifaksi dengan tingkat risiko "Pasti Likuifaksi," yaitu rerata probabilitas di atas 85%. Tingkat kerentanan ini menegaskan bahwa lapisan tanah di kawasan penelitian, khususnya pada kedalaman muka air tanah, sangat rentan terhadap likuifaksi akibat gempa.

Untuk memberikan analisis yang lebih komprehensif, hasil perhitungan di semua titik penelitian juga ditinjau berdasarkan interval kedalaman lapisan tanah setiap 2 meter. Gambar 3 berikut menyajikan grafik distribusi potensi likuifaksi pada berbagai kedalaman untuk masing-masing titik bor.



Gambar 3. Hasil Analisis Geoteknik Pada Interval Kedalaman Tanah Setiap 2 Meter

Dari Gambar 3, terlihat bahwa seluruh titik sampel (17 titik) memiliki potensi likuifaksi dengan tingkat bahaya dan kedalaman yang bervariasi. Potensi likuifaksi dengan tingkat bahaya "hampir pasti likuifaksi" (probabilitas kejadian >85%) teridentifikasi pada beberapa kedalaman.

Pada titik DB-81, potensi likuifaksi terjadi pada kedalaman 2–12 meter, sedangkan pada titik DB-79 dan DB-46, potensi ini berada pada kedalaman 2–10 meter. Untuk titik DB-34, DB-33, DB-10, dan DB-07, potensi likuifaksi teramati pada kedalaman 1,36–8 meter. Sementara itu, titik DB-13, DB-21, DB-22, DB-12, dan DB-08 menunjukkan potensi likuifaksi pada kedalaman 2–8 meter. Pada titik lainnya, yaitu DB-15, DB-38, DB-44, DB-47, dan DB-11, potensi likuifaksi ditemukan pada kedalaman 2–4 meter.

**Analisis geofisika**

Berikut adalah nilai Vs30 yang diperoleh dari model global USGS, yang kemudian diolah dan diinterpolasikan secara spasial menggunakan perangkat lunak ArcGIS untuk kawasan NYIA.

Tabel 2. Nilai Vs30 pada titik Penelitian

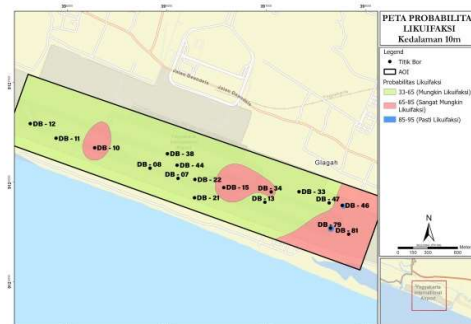
Titik Bor	Vs30Min	Vs30Max	Vs30
DB - 81	231.62	238.45	235.032
DB - 79	231.62	238.45	235.032
DB - 46	227.07	231.62	229.342
DB - 47	231.62	238.45	235.032
DB - 13	254.38	261.21	257.791
DB - 21	270.31	274.86	272.585
DB - 34	247.55	254.38	250.964
DB - 33	247.55	254.38	250.964
DB - 15	254.38	261.21	257.791
DB - 22	261.21	265.76	263.481
DB - 07	261.21	265.76	263.481
DB - 08	254.38	261.21	257.791
DB - 44	254.38	261.21	257.791
DB - 38	247.55	254.38	250.964
DB - 10	281.69	286.24	283.965
DB - 11	281.69	286.24	283.965
DB - 12	261.21	265.76	263.481

Dari tabel di atas, terlihat bahwa nilai Vs30 pada 17 titik pengamatan berkisar antara 229.342 m/s hingga 283.965 m/s. Semua nilai berada di atas ambang batas 200 m/s, yang mengindikasikan tanah dengan kekakuan sedang (medium soil) berdasarkan klasifikasi SNI 1726-2019. Tanah dengan kategori ini memiliki potensi likuifaksi terutama jika berada dalam kondisi jenuh air dan terkena beban siklik akibat gempa.

Berdasarkan studi empiris, nilai Vs30 dalam rentang 200–400 m/s menunjukkan bahwa wilayah NYIA berada pada tingkat risiko likuifaksi sedang hingga tinggi. Hal ini sesuai dengan karakteristik tanah jenuh pasir vulkanik di kawasan pesisir Kulon Progo, yang secara alami memiliki kerentanan likuifaksi.

**Pemodelan geospasial**

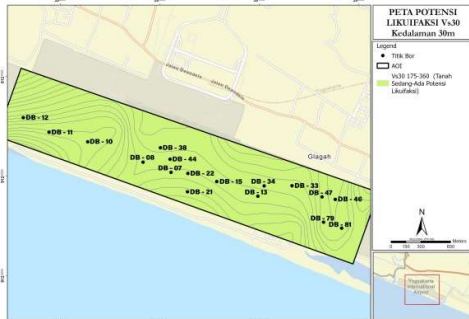
Dari hasil perhitungan dengan metode geoteknik pada 17 titik pengamatan, ditemukan adanya potensi likuifaksi dengan rerata kedalaman dari muka tanah hingga kedalaman 10 meter. Jika dari hasil analisis geoteknik ini divisualisasikan dalam bentuk pemodelan geospasial, maka seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Peta Probabilitas Likuifaksi Pada Kedalaman 10 m

Sementara itu, pada metode geofisika, 17 titik pengamatan menunjukkan bahwa wilayah tersebut diklasifikasikan sebagai tanah sedang (medium soil) berdasarkan nilai Vs30. Kondisi ini jika divisualisasikan dalam peta potensi likuifaksi berdasarkan

Vs30 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Peta Potensi Likuifaksi Pada Berdasarkan Vs30

Dari dua pendekatan pemodelan, yaitu geoteknik dan geofisika, dapat disimpulkan bahwa kawasan NYIA memiliki potensi likuifaksi dengan tingkat kerentanan hampir pasti likuifaksi. Hal ini ditunjukkan oleh nilai probabilitas rata-rata yang berada di atas 85% pada sebagian besar titik pengamatan.

**Kelebihan dan kekurangan pendekatan geoteknik dan geofisika**

Pendekatan geoteknik memiliki kelebihan utama dalam memberikan hasil yang relevan dengan kondisi lapangan. Dengan menggunakan parameter tanah yang diukur langsung dari lapangan, sehingga hasilnya relevan dengan kondisi aktual. Memberikan hasil yang terukur dan spesifik, terutama pada lokasi titik tertentu.

Namun, pendekatan geoteknik juga memiliki keterbatasan. Keakuratan hasil analisis bergantung pada jumlah dan kualitas data lapangan, pengambilan data yang tidak representatif dapat menghasilkan hasil yang tidak akurat. Selain itu, pendekatan ini umumnya hanya mencakup titik pengukuran tertentu, sehingga kurang efektif untuk analisis area yang lebih luas tanpa tambahan interpolasi data.

Sementara itu, pendekatan geofisika memiliki kelebihan yaitu menggunakan metode non-destruktif sehingga lebih efisien untuk area luas. Memberikan data

kontinu yang berguna untuk analisis regional. Hal ini memungkinkan penilaian yang lebih cepat dan luas, terutama di daerah yang sulit dijangkau atau membutuhkan survei dalam skala besar.

Namun, pendekatan geofisika juga memiliki kekurangan, di antaranya memerlukan interpretasi lanjutan untuk dapat menghubungkan data geofisik dengan parameter geoteknik yang lebih spesifik. Hasil yang diperoleh sering kali kurang akurat untuk analisis pada titik pengukuran tertentu, karena data geofisika lebih bersifat generalisasi, bukan detail dari setiap titik. Penentuan kedalaman lapisan tanah yang rentan terhadap likuifaksi melalui geofisika juga memerlukan kehati-hatian dalam interpretasi.

Secara keseluruhan, gabungan kedua pendekatan ini memberikan gambaran yang lebih lengkap dan komprehensif dalam mengevaluasi potensi likuifaksi. Pendekatan geoteknik memberikan kedalaman informasi spesifik, sementara geofisika memperluas cakupan dan efisiensi analisis.

**Kesimpulan**

Dengan metode geoteknik, analisis pada 17 titik sampel menunjukkan potensi likuifaksi di seluruh lokasi, dengan tingkat probabilitas diatas 85%, pada rerata kedalaman dari 2 hingga 10 meter. Sedangkan dengan pendekatan geofisika diperoleh nilai Vs30 berkisar antara 229.342 m/s hingga 283.965 m/s, yang mengidentifikasi bahwa kawasan NYIA berada pada jenis tanah sedang dan berpotensi likuifaksi.

Metode geoteknik memberikan analisis yang relevan, spesifik, dan akurat karena menggunakan parameter tanah langsung dari lapangan, namun kurang efektif untuk area luas. Sedangkan pendekatan geofisika lebih efisien untuk analisis area luas, menghasilkan data kontinu yang ideal untuk kajian regional, dan kurang akurat jika digunakan untuk menganalisis titik tertentu.

## Daftar Pustaka

- Annas, M.C, Wibowo, N.B., dan Niyartama1,T.F. (2021). Analisis Potens Likuefaksi Berdasarkan Metode Global Geospatial Model Di Kecamatan Sanden Kabupaten Bantul Yogyakarta. *Journal of Physics*. Sunan Kali jaga.
- 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>
- BAPPENAS .(2006). Preliminary Assessment of Damage and Loss of Natural Disasters in Yogyakarta and Central Java, 15<sup>th</sup> Meeting of the Consultative Group for Indonesia, 2006. <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/29135/damage-assessment-indonesia-earthquake.pdf>
- Cetin, K. O., Seed, R. B., Der Kiureghian, A., Tokimatsu, K., Harder, L. F., Kayen, R. E., & Moss, R. E. S. (2004). Standard Penetration Test-Based Probabilistic and Deterministic Assessment of Seismic Soil Liquefaction Potential. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. ASCE 130(12). 1314–340. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2004\)130:12\(1314\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2004)130:12(1314))
- Das, Braja M. (1993). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Penerbit Erlangga.
- Haldar, A. and Tang, H.W. (1979). Probabilistic Evaluation of Liquefaction Potential. *Journal of Geotechnical Engineering*. ASCE Vol. 105, No.GT2. pp 145-153. <https://doi.org/10.1061/AJGEB6.0000765>
- Idriss, I. M. (1999). An update to the Seed-Idriss simplified procedure 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/IDRIS\\_S.pdf](http://www.ce.memphis.edu/7137/PDFs/IDRIS_S.pdf)
- Idriss, I.M., and Boulanger, R.W. (2003). Relating  $K\sigma$  and  $K\sigma'$  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 uating Liquefaction Potential During uakes. Department Of Civil and Eitnental Engineering University Of California. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2004.11.023>
- Idriss, I.M., and Boulanger, R.W. (2008). *Soil Liquefaction During Earthquake*. Earthquake Engineering Reseach Institute (EERI) Publication No.MNO-12. California.
- Konagai, K., Nakano, Y., Teshigawara, M., Suziku, T., Ikeda Takaaki., Ogushi Tetsuya. (2006). Important Features of Damages Cause by The May 27, 2006, Mid Java Earthquake, Indonesia., JSCE/AIJ/EWBJ Report. [https://www.jsce.or.jp/library/eq\\_repo/Vol3/01/20060527report.pdf](https://www.jsce.or.jp/library/eq_repo/Vol3/01/20060527report.pdf)
- 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>
- Sunardi, B., Naimah, S., Haryoko, U., Rohadi, S., Sulastri Dan Rasmid. 2018. Vs30 Mapping And Soil Classification In The Southern Part Of Kulon Progo Using Rayleigh Wave Ellipticity Inversion. *Journal Of Geospatial Information Science And Engineering*. 1(2):58-64. <https://doi.org/10.22146/jgise.39780>
- 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*.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana. (2007).
- Youd, T.L. and Idriss, I.M. (2001). Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from The 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. *Journal of Geotechnical*

and Geoenvironmental Engineering. ASCE. Vol.  
127 No. 4 : 297 – 313.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2001\)127:10\(817\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:10(817))