

Analisis Komparatif Potensi Likuefaksi Menggunakan Metode Youd & Idriss dan Idriss & Boulanger Berdasarkan Data SPT

*M. Naufal Ramadhan¹, Bagas Aryaseta², Karina Meilawati Eka Putri³, Miguel Felix Wijaya⁴

¹²³⁴Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Kota Surabaya, Indonesia

^{*)}22035010021@student.upnjatim.ac.id

Abstract

Indonesia is one of the countries with high levels of seismic activity because it lies at the junction of three major tectonic plates and along the Pacific Ring of Fire. These conditions make several regions, including the Special Region of Yogyakarta, vulnerable to earthquakes and their associated impacts, one of which is liquefaction. This study aims to analyze the potential for liquefaction in the Yogyakarta Toll Road Construction Project, Section 2, Package 2.1, Sleman, using the Youd & Idriss and Idriss & Boulanger methods based on Standard Penetration Test (SPT) data. The analysis was conducted at three borehole locations—BH-86, BH-89, and BH-93—selected because they have the highest groundwater levels, thereby representing the most critical conditions regarding the likelihood of liquefaction. Earthquake magnitude variations of 6, 6.3, and 7 were used in this study to evaluate the influence of magnitude on liquefaction potential at the study site. The analysis was conducted by calculating soil resistance parameters against liquefaction based on each method, then comparing the results for each borehole and earthquake magnitude variation. The analysis results indicate that an increase in earthquake magnitude leads to an increase in soil cyclic load and a decrease in the Safety Factor value, thereby increasing the potential for liquefaction. Soil layers located below the groundwater table exhibit higher vulnerability to liquefaction compared to those above it. A comparison of the results shows that both methods exhibit similar trends, namely that the potential for liquefaction increases as earthquake magnitude increases. However, the Idriss & Boulanger (2008) method generally yields lower Safety Factor values compared to the Youd & Idriss (2001) method, making it more conservative in evaluating liquefaction potential. Thus, this study demonstrates that variations in earthquake magnitude and differences in analytical methods influence the results of liquefaction potential evaluations at the study site.

Keywords: Idriss & Boulanger, Liquefaction, SPT, Safety Factor, Youd & Idriss

Abstrak

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat aktivitas seismik yang tinggi karena berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama dan jalur Cincin Api Pasifik. Kondisi tersebut menyebabkan beberapa wilayah, termasuk Daerah Istimewa Yogyakarta, memiliki kerentanan terhadap bencana gempa bumi dan dampak turunannya, salah satunya Likuefaksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi Likuefaksi pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta Seksi 2 Paket 2.1 Sleman menggunakan metode Youd & Idriss dan Idriss & Boulanger berdasarkan data *Standard Penetration Test* (SPT). Analisis dilakukan pada tiga titik borehole, yaitu BH-86, BH-89, dan BH-93, yang dipilih karena memiliki muka air tanah tertinggi sehingga merepresentasikan kondisi paling kritis terhadap kemungkinan terjadinya Likuefaksi. Variasi magnitudo gempa yang digunakan dalam penelitian ini adalah 6, 6.3, dan 7 untuk mengevaluasi pengaruh besar magnitudo terhadap potensi Likuefaksi pada lokasi penelitian. Tahapan analisis dilakukan dengan menghitung parameter ketahanan tanah terhadap Likuefaksi berdasarkan masing-masing metode, kemudian membandingkan hasilnya untuk setiap titik dan variasi magnitudo gempa. Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan magnitudo gempa menyebabkan meningkatnya beban siklik tanah dan menurunnya nilai faktor keamanan, sehingga potensi Likuefaksi menjadi lebih besar. Lapisan tanah yang berada di bawah muka air tanah menunjukkan kerentanan yang lebih tinggi terhadap Likuefaksi dibandingkan lapisan di atasnya. Perbandingan hasil menunjukkan bahwa kedua metode memberikan kecenderungan yang serupa, yaitu potensi Likuefaksi meningkat seiring bertambahnya magnitudo gempa. Namun, metode Idriss & Boulanger (2008) umumnya menghasilkan nilai *Safety Factor* yang lebih rendah dibandingkan metode Youd & Idriss (2001), sehingga dinilai lebih konservatif dalam mengevaluasi potensi Likuefaksi. Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa variasi magnitudo gempa dan perbedaan metode analisis berpengaruh terhadap hasil evaluasi potensi Likuefaksi pada lokasi penelitian.

Kata Kunci: Faktor Keamanan, Idriss & Boulanger, Likuefaksi, SPT, Youd & Idriss

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat aktivitas seismik tertinggi di dunia karena terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Indo-Australia, serta berada pada jalur Cincin Api Pasifik. Kondisi tektonik tersebut menyebabkan banyak wilayah di Indonesia memiliki tingkat kerawanan gempa bumi yang tinggi, di antaranya Aceh, Sumatra Barat, Bengkulu, Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Daerah Istimewa Yogyakarta, Jawa Timur, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, Maluku, Maluku Utara, dan Papua (Amanullah, 2022).

Dampak gempa bumi tidak hanya berkaitan dengan korban jiwa, tetapi juga mencakup kerusakan pada bangunan, infrastruktur, dan tanah pendukung fondasi. Kerusakan pada tanah akibat gempa dapat berupa penurunan tanah (*settlement*), runtuhnya batuan (*rock fall*), longsor, gangguan kestabilan lereng, serta likuefaksi.

Likuefaksi merupakan fenomena menurunnya kekuatan tanah akibat getaran gempa yang menyebabkan peningkatan tekanan air pori dan penurunan tegangan efektif tanah (Amanda, 2022). Kondisi ini umumnya terjadi pada tanah berpasir lepas hingga sedang, jenuh air, dan memiliki distribusi ukuran butiran yang relatif seragam. Ketika tanah mengalami pembebanan dinamis akibat

gempa, peningkatan tekanan air pori dapat menyebabkan tanah kehilangan kemampuan untuk menahan beban, sehingga perilakunya menyerupai fluida. Oleh karena itu, likuefaksi menjadi salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan dalam perencanaan, desain, dan evaluasi geoteknik pada wilayah rawan gempa.

Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan salah satu wilayah yang memiliki kerentanan terhadap bahaya gempa bumi dan potensi likuefaksi. Secara geologis, kondisi tanah di wilayah ini banyak didominasi oleh material berpasir yang berasal dari endapan vulkanik dan hasil pelapukan. Material berpasir tersebut memiliki pori antarbutir yang relatif besar dan mudah terisi air. Pada saat terjadi gempa, kondisi tersebut berpotensi meningkatkan tekanan air pori secara signifikan sehingga dapat memicu terjadinya likuefaksi (Ash Shiddiqie, 2022). Dengan demikian, wilayah yang memiliki dominasi tanah pasir jenuh, terutama pada area pembangunan infrastruktur, memerlukan evaluasi yang cermat terhadap potensi likuefaksi agar risiko geoteknik dapat diminimalkan.

Berbagai penelitian terdahulu di wilayah Yogyakarta telah menunjukkan bahwa kawasan dengan dominasi tanah berpasir memiliki kerentanan terhadap potensi likuefaksi berdasarkan data investigasi lapangan. Penelitian Nova dkk. (2024) di Kulon Progo, Yogyakarta, menggunakan metode Idriss and Boulanger (2014) berbasis data SPT pada tiga titik borehole dan menunjukkan bahwa lokasi penelitian rentan terhadap likuefaksi. Penelitian lain di kawasan Yogyakarta International Airport menilai potensi likuefaksi berbasis N-SPT dan menunjukkan bahwa area penelitian memiliki potensi likuefaksi yang tinggi, terutama pada kedalaman sekitar 15 m, serta bahwa peningkatan magnitudo gempa berasosiasi dengan peningkatan potensi likuefaksi (Alfaqi & Zayadi, 2024). Meskipun demikian, kajian mengenai potensi likuefaksi pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta masih perlu dilakukan, mengingat wilayah Yogyakarta memiliki potensi likuefaksi yang perlu diwaspadai serta pentingnya proyek tersebut sebagai infrastruktur strategis yang menunjang konektivitas dan mobilitas wilayah.

Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta, kondisi tanah berpasir dan keberadaan muka air tanah yang relatif tinggi pada beberapa titik borehole menunjukkan adanya potensi terjadinya likuefaksi yang perlu dikaji secara lebih mendalam. Namun, kajian spesifik yang membandingkan potensi likuefaksi pada lokasi tersebut menggunakan metode Youd & Idriss serta metode Idriss & Boulanger berdasarkan data SPT, khususnya dengan variasi magnitudo gempa 6, 6.3, dan 7, masih terbatas. Selain itu, belum banyak penelitian yang secara khusus memfokuskan analisis pada titik borehole dengan muka air tanah tertinggi sebagai kondisi yang paling kritis dalam mengevaluasi potensi likuefaksi pada paket pekerjaan ini. Keterbatasan tersebut menunjukkan adanya *research gap* yang perlu dijawab melalui penelitian ini.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi likuefaksi pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta, menggunakan metode Youd & Idriss serta metode Idriss & Boulanger berdasarkan data SPT. Analisis dilakukan dengan variasi

magnitudo gempa 6, 6.3, dan 7 untuk mengetahui pengaruh perbedaan magnitudo terhadap potensi terjadinya likuefaksi. Magnitudo 6.3 dipilih karena merepresentasikan kejadian gempa yang tercatat pernah memicu likuefaksi pada tahun 2006, sedangkan magnitudo 6 dan 7 digunakan untuk menggambarkan batas bawah dan batas atas gempa kuat yang berpotensi terjadi di wilayah tersebut. Titik borehole BH-86, BH-89, dan BH-93 dipilih sebagai lokasi analisis karena memiliki muka air tanah tertinggi pada paket tersebut, sehingga dianggap merepresentasikan kondisi paling kritis terhadap kemungkinan terjadinya likuefaksi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam kajian potensi likuefaksi pada lokasi dengan kondisi geoteknik serupa, serta menjadi bahan pertimbangan teknis dalam upaya mitigasi risiko geoteknik pada perencanaan dan pelaksanaan infrastruktur jalan tol.

METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan tiga titik pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) yang berada pada proyek Pembangunan Jalan Tol Solo–Yogyakarta–NYIA di Kabupaten Sleman, Yogyakarta. Lokasi penelitian secara lebih jelas ditunjukkan pada Gambar 1.



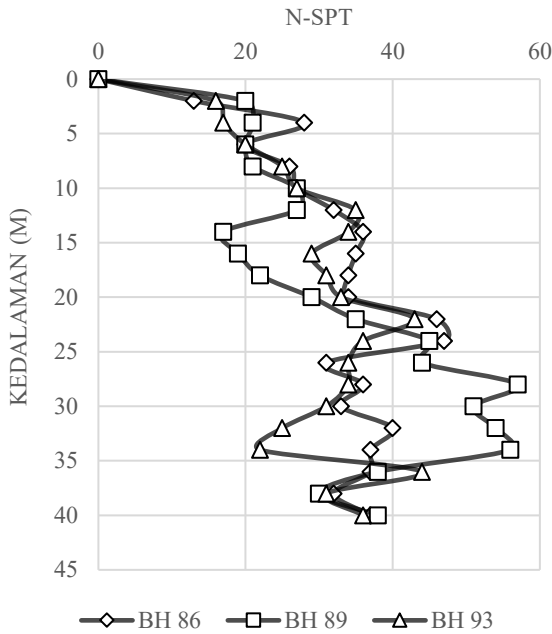
Gambar 1 Lokasi Penelitian
Sumber : Google Earth 2026

Data Gempa

Data mengenai gempa yang diambil dalam studi ini mengacu pada SNI 8460:2017 mengenai Persyaratan Geoteknik. Untuk merancang ketahanan suatu bangunan dan struktur non-bangunan terhadap gempa, parameter desain yang diterapkan mencakup umur rencana 50 tahun, kemungkinan terlampaui sebesar 2%, serta periode ulang yang mencapai 2500 tahun. Berdasarkan hasil analisis data dari RSA Cipta Karya, diperoleh nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) di lokasi kajian sebesar 0,4263 g. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan nilai PGA sebesar 0,4263 g, dengan variasi magnitudo gempa yang ditinjau yaitu 6,0 Mw, 6,3 Mw, dan 7,0 Mw. Penggunaan variasi magnitudo gempa 6, 6.3, dan 7 didasarkan pada kondisi kegempaan wilayah Yogyakarta. Gempa yang terjadi dalam waktu sekitar 10 tahun terakhir umumnya berada pada kisaran magnitudo 6–7. Magnitudo 6,3 dipilih sebagai representasi kejadian gempa yang tercatat pernah memicu likuefaksi pada tahun 2006, sedangkan magnitudo 6 dan 7 digunakan untuk menggambarkan batas bawah dan batas atas gempa besar yang berpotensi terjadi di wilayah tersebut.

Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah data tanah yang diambil di lokasi Sleman, Yogyakarta. Terdapat tiga sampel tanah yang berasal dari tiga lokasi berbeda, yaitu BH86, BH89, dan BH-93, sesuai dengan lokasi yang ditunjukkan pada Gambar 1. Diantaranya data tanah yang digunakan adalah berupa SPT (Gambar 2), dan nilai FC (Tabel 1).



Gambar 2 Data SPT
Sumber : Data Proyek

Tabel 1 Rekapitulasi Nilai FC

Kedalaman	BH 86	BH 89	BH 93
0	0	0	0
2	8.1	43.2	5.7
4	8.1	43.2	5.7
6	14.8	6.6	24.81
8	14.8	6.6	24.81
10	14.8	6.6	24.81
12	28.95	22.18	23.8
14	28.95	22.18	23.8
16	24.9	25.8	26.5
18	24.9	25.8	26.5
20	24.9	25.8	26.5
22	26.7	33.3	27.4
24	26.7	33.3	27.4
26	8	26.51	9.7
28	8	26.51	9.7
30	8	26.51	9.7
32	7.3	23.11	19.1
34	7.3	23.11	19.1
36	26.97	8.6	32.33
38	26.97	8.6	32.33
40	26.97	8.6	32.33

Sumber : Data Proyek

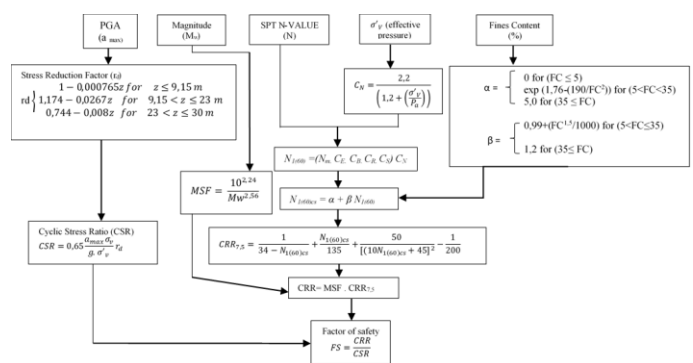
Metode Analisis

Analisis potensi likuefaksi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu Youd &

Idriss serta Idriss & Boulanger. Kedua metode tersebut didasarkan pada perbandingan antara *Cyclic Stress Ratio* (CSR) sebagai beban gempa yang bekerja pada tanah dan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) sebagai ketahanan tanah terhadap likuefaksi. Hasil analisis dinyatakan dalam faktor keamanan (FS), di mana tanah berpotensi mengalami likuefaksi apabila $FS < 1,0$.

Metode Youd & Idriss (2001)

Metode Youd & Idriss merupakan metode empiris yang banyak digunakan untuk mengevaluasi potensi likuefaksi berdasarkan data Standard Penetration Test (SPT). Pada metode ini, nilai pukulan SPT dikoreksi terlebih dahulu untuk memperoleh nilai $(N1)60$, kemudian disesuaikan terhadap pengaruh kadar butiran halus sehingga diperoleh $(N1)60cs$. Nilai tersebut digunakan untuk menentukan CRR, sedangkan CSR dihitung berdasarkan parameter gempa dan kondisi tegangan tanah. Selanjutnya, nilai faktor keamanan dihitung untuk menentukan potensi likuefaksi pada setiap lapisan tanah.

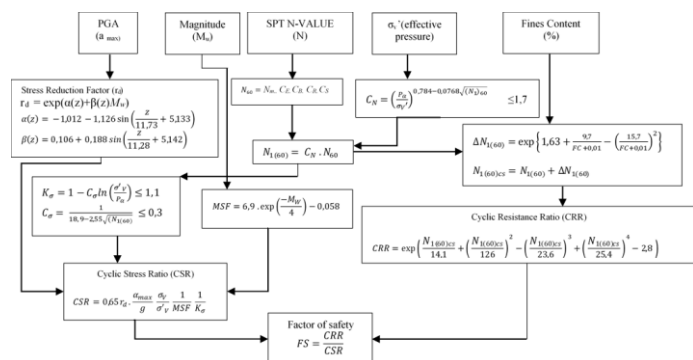


Gambar 3 Bagan Alir Perhitungan Metode Youd & Idriss (2001)

Sumber : Youd dan Idriss (2001)

Metode Idriss & Boulanger (2008)

Metode Idriss & Boulanger merupakan pengembangan metode analisis likuefaksi yang juga menggunakan data SPT serta perbandingan antara CSR dan CRR. Pada metode ini, nilai SPT dikoreksi menjadi $(N1)60$ dan $(N1)60cs$, kemudian digunakan untuk menentukan nilai CRR. Selain itu, metode ini mempertimbangkan pengaruh kondisi tegangan dan magnitudo gempa secara lebih rinci. Hasil akhir analisis dinyatakan dalam nilai faktor keamanan untuk menilai potensi likuefaksi tanah.



Gambar 4 Bagan Alir Perhitungan Metode Idriss & Boulanger (2008)

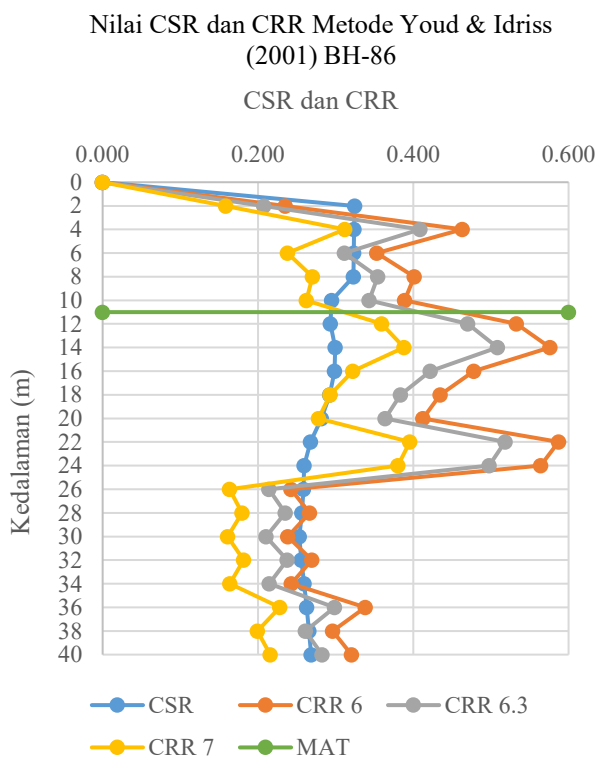
Sumber : Idriss dan Boulanger (2008)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Grafik pada Gambar 6 sampai Gambar 11 menunjukkan hubungan antara *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) pada titik BH-86, BH-89, dan BH-93 untuk variasi magnitudo Mw 6,0; 6,3; dan 7,0. Penilaian potensi likuefaksi dilakukan dengan membandingkan nilai CSR dan CRR pada setiap kedalaman. Lapisan tanah dinyatakan berpotensi mengalami likuefaksi apabila nilai CSR lebih besar dibandingkan dengan CRR ($CSR > CRR$), sedangkan apabila $CRR > CSR$ maka lapisan tanah tersebut relatif tidak berpotensi likuefaksi.

Metode Youd & Idriss (2001)

BH-86



Gambar 5 Grafik Nilai CSR dan CRR Metode Youd & Idriss BH-86
Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

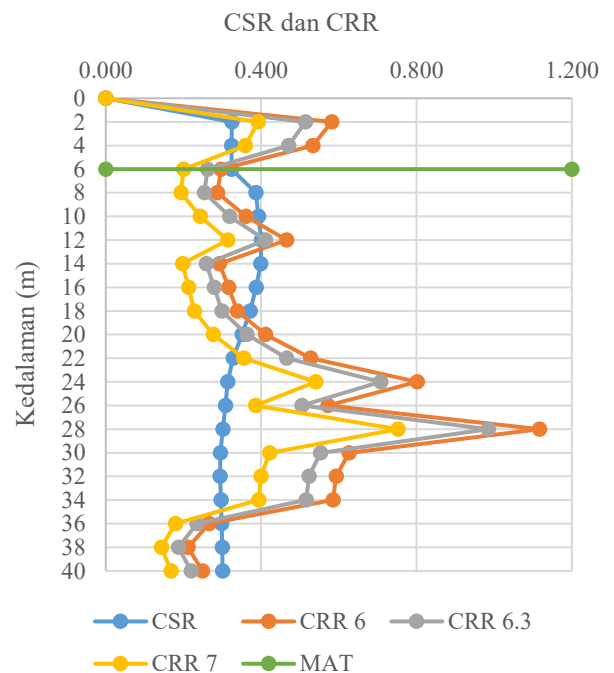
Pada variasi magnitudo Mw 6,0 dan Mw 6,3, sebagian besar lapisan tanah pada titik BH-86 masih menunjukkan kondisi yang aman terhadap potensi likuefaksi, yang ditunjukkan oleh nilai CRR yang lebih besar daripada CSR. Hal ini mengindikasikan bahwa lapisan tanah pada sebagian besar kedalaman masih memiliki ketahanan yang memadai terhadap beban siklik akibat gempa, sehingga potensi terjadinya likuefaksi relatif kecil.

Evaluasi potensi likuefaksi secara spesifik dititikberatkan pada zona jenuh air di bawah elevasi Muka Air Tanah (MAT), yakni mulai kedalaman 11 meter, mengingat degradasi kekuatan geser tanah mensyaratkan

kondisi saturasi penuh. Berdasarkan hasil komparasi, pada interval kedalaman 11 hingga 24 meter, nilai kapasitas perlawanan (*Cyclic Resistance Ratio/CRR*) untuk skenario gempa Mw 6,0 dan Mw 6,3 terdistribusi secara konstan di atas kurva tegangan geser seismik (*Cyclic Stress Ratio/CSR*). Deviasi positif antara nilai CRR dan CSR ini mengindikasikan bahwa tegangan siklik yang dibangkitkan oleh beban gempa pada magnitudo tersebut belum cukup untuk memicu eskalasi tekanan air pori yang kritis. Dengan demikian, lapisan tanah pada rentang kedalaman ini memiliki kapasitas tahanan internal yang memadai, sehingga margin keamanan terhadap inisiasi likuefaksi dapat diklasifikasikan pada tingkat yang tinggi.

BH-89

Nilai CSR dan CRR Metode Youd & Idriss (2001) BH-89



Gambar 6 Grafik Nilai CSR dan CRR Metode Youd & Idriss BH-89
Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

Berdasarkan profil stratigrafi pada titik BH-89, kerentanan likuefaksi bervariasi secara signifikan pada setiap kedalaman. Evaluasi kerentanan ini difokuskan pada lapisan tanah jenuh air di bawah elevasi Muka Air Tanah (MAT), yaitu mulai kedalaman 6 meter. Pada interval kedalaman 6 hingga 20 meter, grafik secara jelas menunjukkan zona rawan. Di area ini, nilai kapasitas perlawanan tanah (CRR), khususnya pada magnitudo Mw 6,3 dan Mw 7,0, secara konsisten berada di bawah kurva rasio tegangan gempa (CSR). Kondisi ini menunjukkan tingginya potensi terjadinya likuefaksi akibat hilangnya kekuatan geser tanah saat terjadi beban siklik.

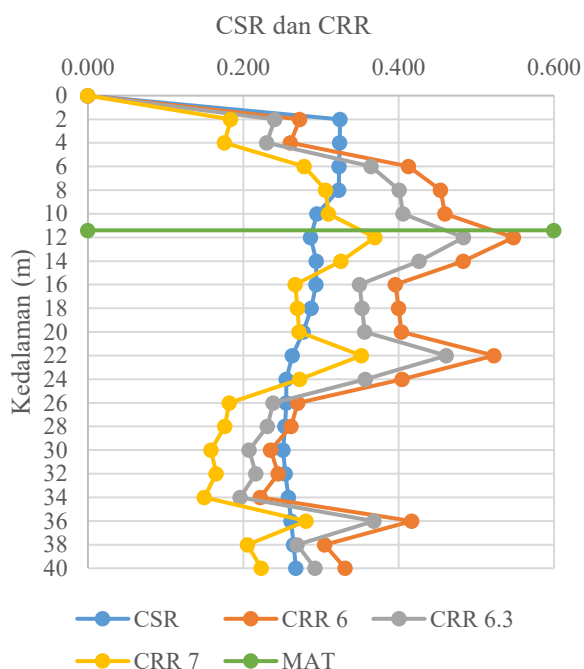
Sebaliknya, peningkatan tingkat keamanan terlihat pada rentang kedalaman 22 hingga 34 meter. Pada lapisan ini, nilai CRR meningkat secara substansial untuk skenario Mw 6,0 dan Mw 6,3, sehingga posisinya berada jauh di atas

kurva CSR. Hal ini mengindikasikan adanya transisi ke lapisan tanah dengan kepadatan yang lebih tinggi—sejalan dengan peningkatan nilai N-SPT—yang mampu menahan akumulasi tekanan air pori. Namun, saat disimulasikan dengan gempa Mw 7,0, tingkat keamanan lapisan ini menurun tajam, membuktikan bahwa lapisan tersebut sangat sensitif terhadap besaran magnitudo gempa.

Pada lapisan yang lebih dalam (36–40 meter), penurunan daya tahan tanah kembali terjadi, di mana seluruh kurva CRR kembali turun hingga berada di bawah kurva CSR. Secara keseluruhan, perilaku tanah pada BH-89 ini menyimpulkan bahwa potensi likuefaksi tidak tersebar merata, melainkan sangat bergantung pada variasi karakteristik lapisan tanah, tingkat kepadatan, serta besaran magnitudo gempa yang bekerja.

BH-93

Nilai CSR dan CRR Metode Youd & Idriss (2001) BH-93



Gambar 7 Grafik Nilai CSR dan CRR Metode Youd & Idriss BH-93

Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

Evaluasi potensi likuefaksi pada titik BH-93 difokuskan pada lapisan tanah jenuh air yang berada di bawah elevasi Muka Air Tanah (MAT), yakni mulai kedalaman 11,5 meter. Berdasarkan hasil analisis, pada rentang kedalaman 11,5 hingga 24 meter, nilai kapasitas perlawanan (CRR) untuk skenario gempa Mw 6,0 dan Mw 6,3 secara konsisten berada di atas kurva rasio tegangan (CSR), mengindikasikan bahwa lapisan tersebut memiliki ketahanan yang aman terhadap beban siklik.

Namun, tingkat keamanan ini terbukti sangat sensitif terhadap peningkatan magnitudo. Ketika disimulasikan dengan Mw 7,0, nilai CRR mengalami penurunan hingga berada di bawah ambang batas CSR, khususnya pada

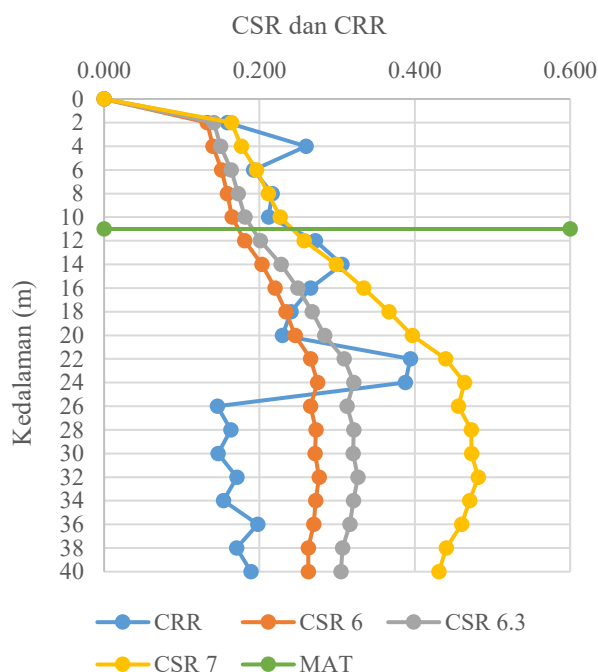
interval kedalaman 16 hingga 20 meter, yang menandakan inisiasi awal kerentanan likuefaksi.

Lebih lanjut, zona kritis yang sesungguhnya teridentifikasi pada rentang kedalaman 26 hingga 34 meter. Pada lapisan ini, nilai CRR menurun drastis untuk seluruh skenario magnitudo. Bahkan pada gempa moderat (Mw 6,0 dan Mw 6,3), nilai CRR nyaris bersinggungan dan pada beberapa titik spesifik jatuh di bawah kurva CSR. Penurunan daya tahan yang ekstrem pada zona ini memperlihatkan adanya sisipan lapisan tanah yang sangat rentan. Hal ini menegaskan bahwa pada titik BH-93, peningkatan magnitudo memperluas zona likuefaksi.

Metode Idriss & Boulanger (2008)

BH-86

Nilai CSR dan CRR Metode Idriss & Boulanger (2008) BH-86



Gambar 8 Grafik Nilai CSR dan CRR Metode Idriss & Boulanger BH-86

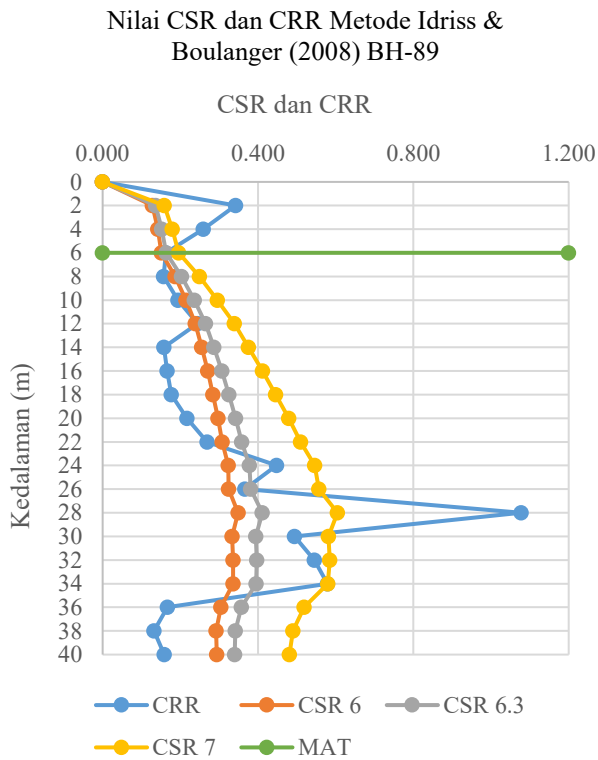
Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

Berdasarkan analisis kerentanan likuefaksi metode Idriss & Boulanger (2008) pada titik BH-86, evaluasi difokuskan pada lapisan tanah jenuh air di bawah elevasi Muka Air Tanah (MAT), yakni mulai kedalaman 11 meter. Pada kedalaman 12 hingga 14 meter, tanah menunjukkan kapasitas perlawanan (CRR) yang memadai untuk menahan rasio tegangan gempa (CSR) pada skenario Mw 6,0 dan Mw 6,3.

Namun, penurunan ketahanan mulai terdeteksi pada kedalaman 16 hingga 18 meter, di mana kurva CSR untuk Mw 6,3 dan Mw 7,0 telah melampaui kurva CRR. Meskipun nilai CRR kembali mengalami amplifikasi (peningkatan) pada kedalaman 20 hingga 24 meter, kapasitas tersebut tetap tidak mampu mengakomodasi

lonjakan nilai CSR saat disimulasikan dengan gempa Mw 7,0.

Kondisi paling kritis teridentifikasi secara persisten pada rentang kedalaman 26 hingga 40 meter. Pada zona dalam ini, kurva kapasitas perlawanan (CRR) tereduksi drastis dan secara konsisten berada di sebelah kiri seluruh kurva demand CSR. Hal ini membuktikan bahwa lapisan tanah pada rentang kedalaman 26-40 meter tersebut memiliki kerentanan likuefaksi yang sangat tinggi, di mana inisiasi likuefaksi akan terjadi bahkan pada skenario magnitudo terendah yang disimulasikan (Mw 6,0).
BH-89



Gambar 9 Grafik Nilai CSR dan CRR Metode Idriss & Boulanger BH-89
Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

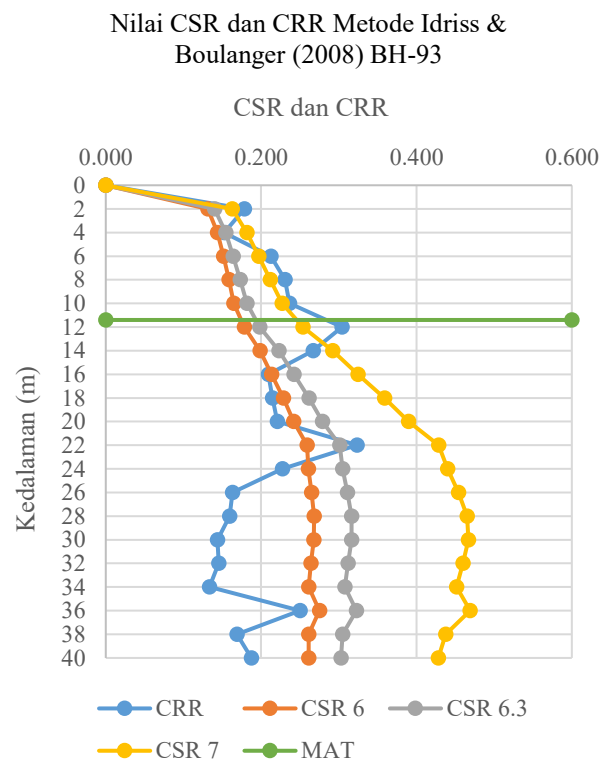
Analisis potensi likuefaksi pada titik BH-89 berdasarkan metode Idriss & Boulanger (2008) dievaluasi mulai kedalaman Muka Air Tanah (MAT) pada 6 meter. Hasil pemodelan memperlihatkan zona kerentanan kontinu yang terbentuk pada rentang kedalaman 8 hingga 22 meter. Di area tersebut, kurva kapasitas perlawanan (CRR) secara stabil berada di bawah kurva rasio tegangan (CSR) untuk seluruh skenario magnitudo gempa (Mw 6,0; 6,3; dan 7,0). Hal ini mengindikasikan bahwa lapisan tersebut memiliki risiko likuefaksi persisten, di mana ketahanan tanah gagal mengimbangi beban seismik minimal sekalipun.

Akan tetapi, grafik mendemonstrasikan perubahan drastis pada horizon kedalaman 24 hingga 34 meter. Pada zona tersebut, terjadi amplifikasi substansial terhadap nilai perlawanan tanah, yang memuncak secara ekstrem pada kedalaman 28 meter. Loncatan kurva CRR yang melampaui kurva CSR—bahkan untuk skenario terburuk Mw 7,0—menandakan keberadaan formasi lapisan tanah dengan

tingkat kepadatan atau sementasi yang superior, sehingga margin keamanan terhadap inisiasi likuefaksi menjadi sangat tinggi.

Kerentanan kembali muncul pada zona dalam (kedalaman 36-40 meter), di mana daya perlawanan tanah (CRR) mengalami degradasi dan kembali berpotongan hingga berada di bawah kurva beban gempa (CSR). Perilaku ekstrem pada titik BH-89 ini menyimpulkan bahwa potensi likuefaksi bersifat spesifik per lapisan (heterogen) dan sangat dikontrol oleh variabilitas kepadatan stratigrafi bawah permukaan, di mana penambahan kekuatan gempa akan memperluas cakupan area kerentanan.

BH-93



Gambar 10 Grafik Nilai CSR dan CRR Metode Idriss & Boulanger BH-93
Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

Pada titik BH-93, pola grafik menunjukkan bahwa nilai CRR pada lapisan dangkal hingga menengah masih cukup baik, tetapi mengalami penurunan pada beberapa kedalaman tertentu. Sementara itu, kurva CSR memperlihatkan peningkatan yang konsisten dari Mw 6,0 ke Mw 7,0. Pada magnitudo 6,0, sebagian besar lapisan masih menunjukkan kondisi relatif aman karena CRR umumnya lebih besar daripada CSR.

Pada magnitudo 6,3, beberapa lapisan mulai menunjukkan kondisi kritis karena CSR mendekati CRR. Sementara itu, pada magnitudo 7,0, kurva CSR berada lebih jauh ke kanan dan pada banyak kedalaman melampaui CRR, sehingga menunjukkan potensi likuefaksi yang lebih tinggi dibandingkan dua variasi magnitudo lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa BH-93 juga mengalami peningkatan kerentanan likuefaksi akibat kenaikan magnitudo gempa.

Perbandingan Safety Factor

Berdasarkan seluruh grafik perbandingan Safety Factor (SF) pada titik BH-86, BH-89, dan BH-93 untuk variasi magnitudo Mw 6,0; 6,3; dan 7,0, dapat disimpulkan bahwa kedua metode menunjukkan kecenderungan hasil yang serupa, yaitu nilai Safety Factor cenderung menurun seiring bertambahnya magnitudo gempa. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar magnitudo gempa, maka potensi terjadinya likuefaksi pada lapisan tanah juga semakin meningkat. Profil perbandingan nilai Safety Factor (SF) antar metode perhitungan terhadap kedalaman diilustrasikan secara komprehensif pada Gambar 12, 13, dan 14.

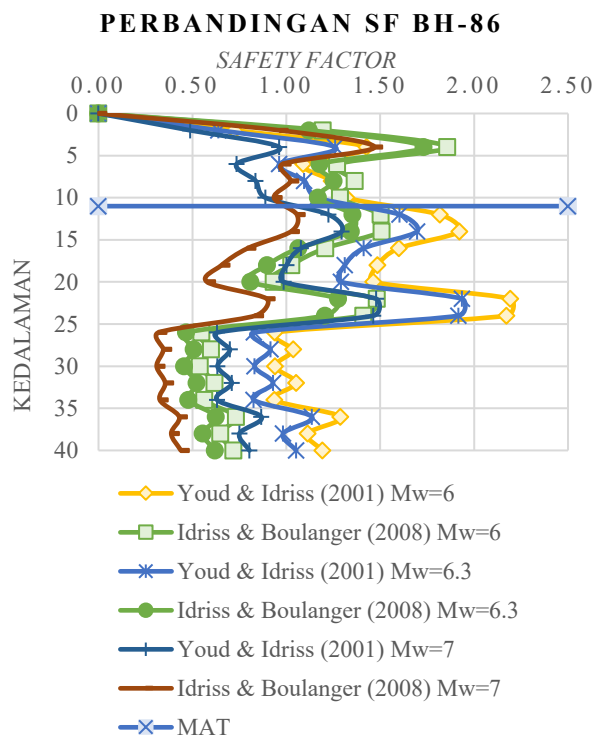
Secara umum, nilai $SF > 1$ menunjukkan bahwa lapisan tanah relatif aman terhadap likuefaksi, sedangkan $SF < 1$ menunjukkan bahwa lapisan tanah berpotensi mengalami likuefaksi. Dari grafik terlihat bahwa pada magnitudo Mw 6,0, sebagian besar lapisan tanah masih memiliki nilai SF yang lebih tinggi, sehingga kondisi tanah relatif lebih stabil. Pada magnitudo Mw 6,3, beberapa lapisan mulai menunjukkan penurunan SF dan mendekati kondisi kritis. Sementara itu, pada magnitudo Mw 7,0, penurunan nilai SF terlihat lebih jelas, sehingga jumlah lapisan yang berpotensi mengalami likuefaksi menjadi lebih banyak.

Hasil perbandingan pada penelitian ini menunjukkan bahwa metode Youd & Idriss (2001) cenderung menghasilkan nilai *Safety Factor* (SF) yang lebih besar dibandingkan metode Idriss & Boulanger (2008) pada kedalaman yang sama. Dengan demikian, pada penelitian ini metode Idriss & Boulanger (2008) memberikan hasil yang relatif lebih konservatif dalam menilai potensi likuefaksi. Hal tersebut diduga berkaitan dengan adanya penyempurnaan prosedur pada metode Idriss & Boulanger, terutama pada korelasi pemicu likuefaksi berbasis SPT dan penggunaan basis data *case history* yang diperbarui. Namun, studi pada situs DOE menunjukkan bahwa hasil kedua metode pada dasarnya masih sebanding dan kecenderungan konservatif tersebut tidak selalu sama pada setiap lokasi.

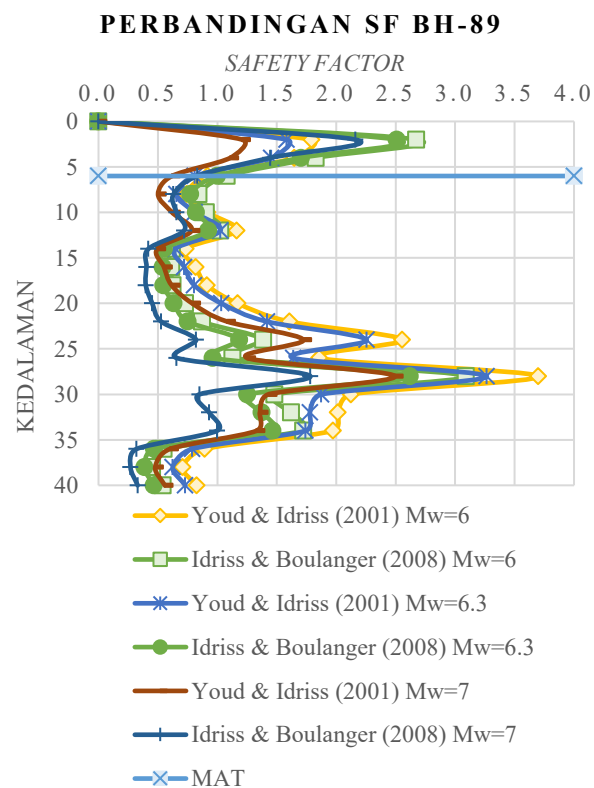
Ditinjau dari kedalaman, lapisan tanah yang berada di bawah muka air tanah (MAT) cenderung menunjukkan nilai SF yang lebih rendah dibandingkan lapisan di atas MAT. Kondisi ini menegaskan bahwa tanah jenuh air memiliki kecenderungan lebih besar untuk mengalami likuefaksi akibat peningkatan tekanan air pori selama gempa. Selain itu, pada beberapa kedalaman tertentu terlihat adanya penurunan SF yang cukup signifikan, yang menunjukkan bahwa kerentanan likuefaksi tidak merata pada seluruh profil tanah, melainkan dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing lapisan.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa potensi likuefaksi pada lokasi penelitian meningkat dengan bertambahnya magnitudo gempa, dan hasil evaluasi menggunakan metode Idriss & Boulanger (2008) cenderung lebih konservatif dibandingkan metode Youd & Idriss (2001). Oleh karena itu, kedua metode dapat digunakan sebagai pembandingan dalam analisis, namun metode Idriss &

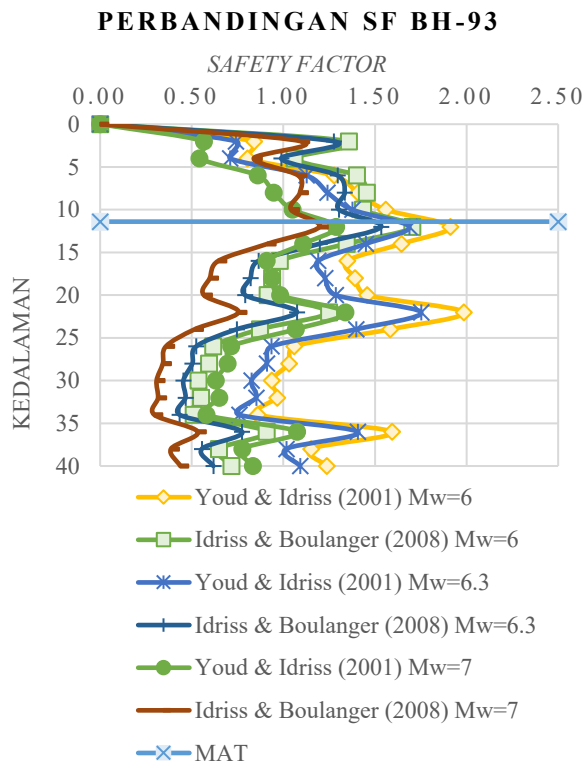
Boulanger lebih menunjukkan kondisi kritis terhadap potensi likuefaksi pada lokasi penelitian.



Gambar 12 Perbandingan Safety Factor BH-86
Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)



Gambar 3 Perbandingan Safety Factor BH-89
Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)



Gambar 4 Perbandingan *Safety Factor* BH-93
Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis potensi likuefaksi pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta menggunakan data SPT pada titik BH-86, BH-89, dan BH-93, dapat disimpulkan bahwa potensi likuefaksi dipengaruhi oleh besarnya magnitudo gempa, kedalaman lapisan tanah, serta metode analisis yang digunakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar magnitudo gempa, yaitu dari Mw 6,0 menjadi Mw 6,3 dan Mw 7,0, nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) semakin meningkat, sehingga nilai *Safety Factor* (SF) cenderung menurun. Kondisi ini mengindikasikan bahwa potensi likuefaksi menjadi semakin besar pada magnitudo gempa yang lebih tinggi.

Pada ketiga titik borehole yang ditinjau, lapisan tanah di bawah muka air tanah menunjukkan kerentanan yang lebih tinggi terhadap likuefaksi dibandingkan lapisan di atas muka air tanah. Hal ini terlihat dari nilai *Safety Factor* yang lebih rendah pada lapisan jenuh air, yang menunjukkan bahwa kondisi kejenuhan tanah sangat berpengaruh terhadap kemungkinan terjadinya likuefaksi saat gempa. Selain itu, potensi likuefaksi tidak terjadi secara merata pada seluruh kedalaman, melainkan bergantung pada karakteristik masing-masing lapisan tanah.

Perbandingan antara metode Youd & Idriss (2001) dan Idriss & Boulanger (2008) menunjukkan bahwa kedua metode memberikan kecenderungan hasil yang sama, yaitu semakin besar magnitudo gempa maka semakin besar pula potensi likuefaksi. Namun demikian, metode Idriss & Boulanger (2008) umumnya menghasilkan nilai *Safety*

Factor yang lebih rendah dibandingkan metode Youd & Idriss (2001), sehingga metode ini cenderung lebih konservatif dalam mengevaluasi potensi likuefaksi. Dengan demikian, metode Idriss & Boulanger (2008) dapat dianggap lebih sensitif dalam menunjukkan kondisi kritis tanah pada lokasi penelitian.

Secara keseluruhan, lokasi penelitian pada titik BH-86, BH-89, dan BH-93 memiliki potensi likuefaksi yang meningkat seiring bertambahnya magnitudo gempa, terutama pada lapisan tanah jenuh air. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam evaluasi geoteknik dan perencanaan mitigasi risiko pada pembangunan infrastruktur di wilayah rawan gempa, khususnya pada proyek jalan tol dengan kondisi tanah berpasir dan muka air tanah relatif tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Amanda K. (2022). “ANALISIS POTENSI LIKUEFAKSI PADA RUMAH SAKIT UII DENGAN METODE YOU-IDRISS (2001), SEED ET.AL (1976) DAN VALERA-DONOVAN (1977) BERDASARKAN DATA N-SPT.” Skripsi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Amanullah F. F. (2022). “ANALISIS POTENSI LIKUEFAKSI AKIBAT GEMPA BUMI MENGGUNAKAN DATA SPT (STANDAR PENETRATION TEST).” Skripsi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Anggraini R. (2023). “ANALISIS POTENSI LIKUEFAKSI BERDASARKAN DATA SPT PADA PROYEK PEMBANGUNAN MENARA BRI KOTA MEDAN.” Skripsi, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Medan Area, Medan
- Farichah, H., & Kumala Sari, P. T. (2019). “Analisis Potensi Likuefaksi dengan Metode Deterministik di Wilayah Surabaya.” *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 4(1), 68. <https://doi.org/10.33366/rekabuana.v4i1.1195>
- Hardiyatmo. H. C. (n.d.). *Mekanika Tanah 1*, Edisi Keenam. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Idriss, I. M., & Boulanger R. W. (2008). “SOIL LIQUEFACTION DURING EARTHQUAKES.”
- Idriss, I. M., & Boulanger, R. W. (2010). *SPT-BASED LIQUEFACTION TRIGGERING PROCEDURES*.
- SNI 1726. (2019). “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nong Gedung.”
- SNI 6371. (2015). “Tata cara pengklasifikasian tanah untuk keperluan teknik dengan sistem klasifikasi unifikasi tanah (ASTM D 2487-06, MOD).” www.bsn.go.id
- T. L. Youd, I. M. Idriss, & dkk. (2001). “Liquefaction Resistance Of Soils: Summary Report From The 1996 NCEER AND 1998 NCEER/NSF Workshops On Evaluation Of Liquefaction Resistance Of Soils.” [Http://www.Scopus.Com/Inward/Record.Url?Eid=2-S2.00034163356&partnerID=40&md5=df5381544c7ef52ba84974e9aa67a996](http://www.Scopus.Com/Inward/Record.Url?Eid=2-S2.00034163356&partnerID=40&md5=df5381544c7ef52ba84974e9aa67a996)

