

Pengaruh likuefaksi terhadap daya dukung fondasi *bored pile* pada Jembatan Bantul-Kulon Progo P10-177 dan P13-234

Azizah Nadya Soraya Utami^{1,*}, Anisa Nur Amalina¹

¹ Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Liquefaction
Bearing Capacity
Pile Driving Analyzer

Corresponding Author:

Anisa Nur Amalina
anisa.amalina@uii.ac.id

Abstract

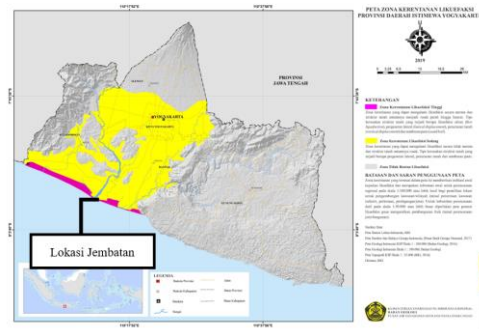
The Kabanaran Bridge is a 2-km structure spanning the Progo River and connecting Bantul and Kulon Progo regencies. Based on the Yogyakarta Liquefaction Zone map published by the Geological Agency in 2019, the bridge site falls within a high liquefaction-vulnerability zone; therefore, an evaluation of foundation bearing capacity considering liquefaction effects was conducted. Bearing capacity was analyzed using Meyerhof (1963) and Reese & O'Neill (1989) methods, while Pile Driving Analyzer (PDA) test results were used to compare design predictions with in-situ field capacity. Liquefaction potential was assessed using the Safety Factor approach and the Idriss & Boulanger (2008) procedure. Results indicate that a subsurface layer is susceptible to liquefaction for an earthquake of $M = 7.5$, prompting detailed evaluations at piles P10 and P13; the analyses show reductions in bearing capacity ranging approximately 17–91% at P10 and 20–91% at P13. Despite these substantial reductions, both foundations continue to satisfy safety requirements ($P < Q_g$), and liquefaction effects at depths greater than 20 m can be disregarded because they do not influence surface behavior.

Copyright © 2026 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Indonesia sebagai negara kepulauan membutuhkan infrastruktur jembatan untuk menghubungkan wilayah yang dipisahkan perairan dan mendukung mobilitas serta pembangunan nasional. Salah satu proyek strategis tersebut adalah Jembatan Kabanaran di Bantul–Kulon Progo, Yogyakarta, yang menjadi bagian dari pembangunan Jalur Jalan Lintas Selatan (JJLS) untuk memperkuat konektivitas, ekonomi, dan pariwisata kawasan selatan. Jembatan ini berada di zona pesisir selatan Yogyakarta, tepat di area pertemuan Lempeng Indo-Australia dan Eurasia yang membentuk Sesar Opak. Aktivitas sesar tersebut dapat memicu gempa pemicu likuefaksi. Berdasarkan Atlas Zona Likuefaksi Indonesia (2019), lokasi Jembatan Kabanaran termasuk dalam Zona Kerentanan Likuefaksi Tinggi, sehingga memiliki risiko besar terhadap kerusakan

tanah akibat likuefaksi. Untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1 Zona Kerentanan Likuefaksi D.I. Yogyakarta

Tinjauan Pustaka

Berbagai penelitian terkait potensi likuefaksi dan pengaruhnya terhadap fondasi di wilayah selatan Yogyakarta menunjukkan bahwa area tersebut memiliki kerentanan yang tinggi. Nurdiansyah (2023) mengidentifikasi potensi likuefaksi pada

Jembatan Kretek 2 menggunakan metode FSLIQ, LPI, dan LSI, dengan hasil menunjukkan potensi dan tingkat keparahan yang tinggi hingga kedalaman 10 meter. Saputra (2022) juga menemukan potensi likuefaksi pada kedalaman 4,5–15 meter melalui metode Tsuchida (1970) dan analisis CSR–CRR, dengan muka air tanah dangkal pada 1–1,2 meter.

Studi lain oleh Sjahrain (2024) pada proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen menunjukkan perbedaan signifikan metode perhitungan daya dukung; metode Egyptian (2005) menghasilkan kapasitas izin yang lebih tinggi dibandingkan Meyerhoff (1956). Azzahra & Sitompul (2024) pada kasus Jembatan Pandansimo juga menemukan bahwa metode Meyerhoff (1976) serta Reese & Wright (1977) memiliki hasil yang paling mendekati uji PDA, sementara O’Neil & Reese (1988) mendekati hasil numerik SHAFT.

Analisis Saputra (2022) menunjukkan bahwa likuefaksi dapat menurunkan kapasitas izin fondasi tiang pancang sebesar 6–12% berdasarkan metode empiris, dan sebesar 35–59% berdasarkan data PDA. Sementara itu, Nurdiansyah (2023) memperkirakan penurunan fondasi akibat likuefaksi mencapai 30–40 cm, dengan simulasi Rspile menunjukkan peningkatan penurunan dari 1,78 mm menjadi 2,03 mm ketika likuefaksi terjadi. Pada penelitian lainnya, Sjahrain (2024) menemukan bahwa variasi magnitudo gempa menyebabkan penurunan daya dukung fondasi sebesar 1–3% menurut Meyerhoff (1963), 3–46% menurut metode Egyptian, dan 0,86–2% berdasarkan data PDA.

Metode Penelitian

Pengumpulan data penelitian

Dalam pengumpulan data terdapat dua metode, yaitu melalui data primer dan data sekunder. Dalam penelitian tugas akhir ini metode yang digunakan adalah melalui data primer. Data yang digunakan diperoleh langsung dari pihak PT. Adhi Karya-SWS, Kso sebagai kontraktor pelaksana pada

pembangunan Jembatan Kabanaran. Untuk mengetahui kapasitas daya dukung fondasi dan potensi likuefaksi tanah yang dapat terjadi. Metode yang digunakan untuk mengetahui kapasitas daya dukung adalah metode Meyerhoff (1963) dan metode Reese O’Neil (1989), sedangkan menganalisis potensi likuefaksi digunakan metode Idriss & Boulanger. Analisis pembebanan dilakukan mengacu pada SNI 1725 : 2016. Berdasarkan dari metode penelitian yang digunakan, terdapat dua variabel yang digunakan yaitu, daya dukung fondasi *boredpile* sebagai variabel terikat yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas yaitu potensi likuefaksi tanah.

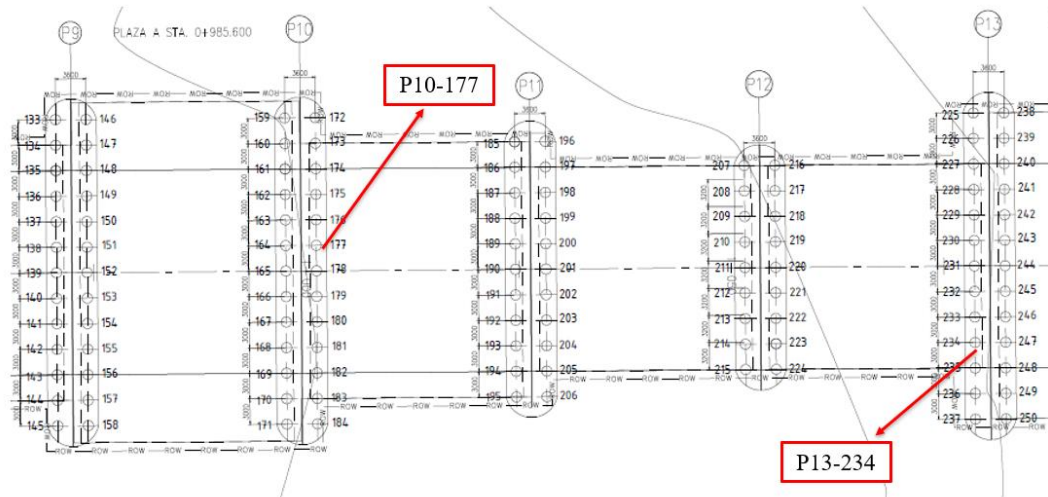
Lokasi penelitian

Penelitian ini mengambil topik dan objek yang berkaitan dengan lokasi magang penulis, yaitu pada Jembatan Kabanaran. Berikut Gambar 2 lokasi penelitian.

Hasil dan Pembahasan

Analisis pembebanan

Berikut hasil analisis pembebanan yang dilakukan pada P10-177 & P13-234 di Jembatan Kabanaran. Menurut Das (2010), berat total massa dapat dinyatakan sebagai berat isi bila dikalikan dengan volumenya. Dengan demikian berat jenis berperan sebagai pengali untuk mengubah volume menjadi berat. Berikut Tabel 1 dan 2 merupakan tabel rekapitulasi pembebanan pada P10-177 dan P13-234.



Gambar 2 Lokasi Titik Penelitian

Tabel 1 Rekapitulasi Pembebanan P10-177

No	Beban	P (Ton)
1	Mati (MS)	2227,50
2	Mati Tambahan (MA)	1395,515
3	Lajur "D"	399,473
Total Beban		4022,490

Tabel 2 Rekapitulasi Pembebanan P13-234

No	Beban	P (Ton)
1	Mati (MS)	2227,50
2	Mati Tambahan (MA)	1708,561
3	Lajur "D"	399,473
Total Beban		4335,537

Analisis data karakteristik tanah

Berikut merupakan Tabel 3 dan 4 hasil analisis karakteristik tanah yang dilakukan pada P10-177 & P13-234 di Jembatan Kabanaran berdasarkan dari hasil uji SPT.

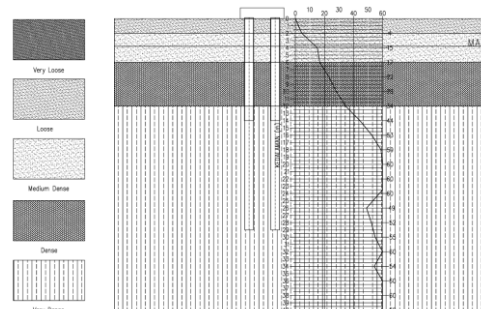
Tabel 3 Hubungan N_{60} dengan Parameter Tanah Pada P10-177

Kedalaman (m)	N_{60}	Lapisan	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_b (kN/m ³)
0-2	5,6	Loose	-	13,6
2-4	21	Medium Dense	-	14,84
4-6	23,8	Medium Dense	19,316	-
6-8	30,8	Dense	19,806	-
8-10	39,2	Dense	20,394	-
10-12	47,6	Dense	20,786	-
12-14	61,6	Very Dense	21,276	-
14-16	74,2	Very Dense	21,864	-
16-18	82,6	Very Dense	22,452	-
18-20	84	Very Dense	22,55	-
20-22	84	Very Dense	22,55	-
22-24	84	Very Dense	22,55	-
24-26	68,6	Very Dense	21,521	-
26-28	72,8	Very Dense	21,766	-
28-30	77	Very Dense	22,06	-
30-32	84	Very Dense	22,55	-
32-34	75,6	Very Dense	21,962	-
34-36	84	Very Dense	22,55	-
36-38	84	Very Dense	22,55	-
38-40	84	Very Dense	22,55	-

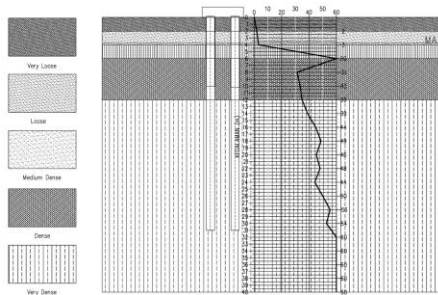
Tabel 4 Hubungan N_{60} dengan Parameter Tanah Pada P13-234

Kedalaman (m)	N_{60}	Lapisan	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_b (kN/m ³)
0-2	2,8	Very Loose	-	12,8
2-4	4,2	Loose	-	13,2
4-6	84	Very Dense	22,55	-
6-8	43,4	Dense	20,639	-
8-10	46,2	Dense	20,737	-
10-12	49	Dense	20,835	-
12-14	54,6	Very Dense	21,031	-
14-16	61,6	Very Dense	21,276	-
16-18	68,6	Very Dense	21,521	-
18-20	64,4	Very Dense	21,374	-
20-22	67,2	Very Dense	21,472	-
22-24	61,6	Very Dense	21,276	-
24-26	70	Very Dense	21,57	-
26-28	78,4	Very Dense	22,158	-
28-30	75,6	Very Dense	21,962	-
30-32	84	Very Dense	22,55	-
32-34	84	Very Dense	22,55	-
34-36	84	Very Dense	22,55	-
36-38	84	Very Dense	22,55	-
38-40	84	Very Dense	22,55	-

Untuk dapat melihat lebih jelas klasifikasi lapisan tanah berdasarkan hasil analisis dari tabel di atas dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4 sebagai berikut.



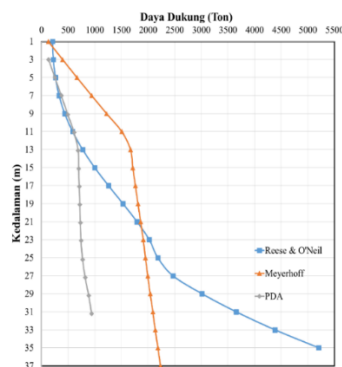
Gambar 3 Klasifikasi Lapisan Tanah P10-177



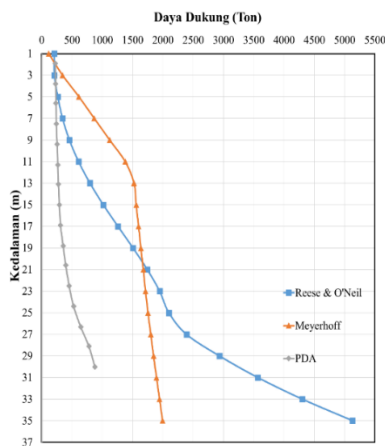
Gambar 4 Klasifikasi Lapisan Tanah P13-234

Analisis daya dukung fondasi tunggal

Berdasarkan dari Persamaan Meyerhoff (1963), Reese & O'Neil (1989) dan hasil daya dukung fondasi dari PDA Berikut Gambar 5 dan Gambar 6 grafik perbandingan hasil perhitungan daya dukung fondasi pada P10-177 & P13-234.



Gambar 5 Grafik Perbandingan Daya Dukung Metode Meyerhoff (1963), Reese & O'Neil (1989) dan PDA Pada P10-177



Gambar 6 Grafik Perbandingan Daya Dukung Metode Meyerhoff (1963), Reese & O'Neil (1989) dan PDA Pada P13-234

Analisis daya dukung fondasi kelompok

Menurut Hardiyatmo (2020) kapasitas kelompok tiang tidak selalu sama dengan nilai kapasitas tiang tunggal, dalam beberapa kondisi besaran kapasitas kelompok tiang lebih rendah dari jumlah masing-masing tiang. Hal ini diakibatkan karena perilaku lapisan tanah terhadap tindakan fondasi seperti di bor atau di pancang. Berikut merupakan Tabel 5 dan 6 hasil analisis daya dukung kelompok tiang keruntuhan blok dan Tabel 7 dan 8 daya dukung fondasi tereduksi pada P10 dan P13 yang dapat di lihat sebagai berikut.

Tabel 5 Analisis Daya Dukung Kelompok Tiang Keruntuhan Blok P10-177

Lapisan	z	N_{irr}	c	Cb	ϕ	N_c	D	B	L	Q_u	SF	Q_{ult}
m	m		kN/m ²	kN/m ²	°		m	m	m	kN		Ton
0-2	1	4	2.4	32.4	28	25.800	1	6	40.8	266247.821	2.5	106499.128
2-4	3	15	9	32.4	32.5	37.065	3	6	40.8	384703.525	2.5	153881.410
4-6	5	17	10.2	32.4	33.5	40.400	5	6	40.8	421337.030	2.5	168534.812
6-8	7	22	13.2	32.4	36	50.590	7	6	40.8	530280.916	2.5	212112.366
8-10	9	28	16.8	32.4	39	67.870	9	6	40.8	713958.361	2.5	285383.304
10-12	11	34	20.4	32.4	41	83.860	11	6	40.8	885682.287	2.5	354272.915
12-14	13	44	26.4	32.4	43.5	111.740	13	6	40.8	1184271.978	2.5	473708.791
14-16	15	53	31.8	32.4	46.5	162.870	15	6	40.8	1723995.861	2.5	689598.344
16-18	17	59	35.4	32.4	49.5	248.410	17	6	40.8	2617678.028	2.5	1047071.211
18-20	19	60	36	32.4	50	266.890	19	6	40.8	2815918.785	2.5	1126367.514
20-22	21	60	36	32.4	50	266.890	21	6	40.8	2823657.985	2.5	1129963.194
22-24	23	60	36	32.4	50	266.890	23	6	40.8	2828997.185	2.5	1131758.874
24-26	25	49	29.4	32.4	44.75	130.003	25	6	40.8	1409248.657	2.5	563699.463
26-28	27	52	31.2	32.4	46	266.890	27	6	40.8	2830745.025	2.5	1132298.010
28-30	29	55	33	32.4	47.5	186.450	29	6	40.8	2012056.675	2.5	804822.670
30-32	31	60	36	32.4	50	266.890	31	6	40.8	2846353.285	2.5	1142541.594

Tabel 6 Analisis Daya Dukung Kelompok Tiang Keruntuhan Blok P13-234

Lapisan	z	N_{irr}	c	Cb	ϕ	N_c	D	B	L	Q_u	SF	Q_{ult}
m	m		kN/m ²	kN/m ²	°		m	m	m	kN		Ton
0-2	1	2	1.2	36	14	10.370	1	6	40.8	118917.677	2.5	47567.071
2-4	3	3	1.8	36	21	15.820	3	6	40.8	181749.485	2.5	72699.794
4-6	5	60	36	36	50	266.890	5	6	40.8	3074510.650	2.5	1229804.260
6-8	7	31	18.6	36	40.75	77.448	7	6	40.8	899474.846	2.5	359399.919
8-10	9	33	19.8	36	40.75	81.723	9	6	40.8	953944.782	2.5	381177.913
10-12	11	35	21	36	41.25	86.323	11	6	40.8	1010387.406	2.5	404234.963
12-14	13	39	23.4	36	42.75	96.560	13	6	40.8	1124726.278	2.5	453890.111
14-16	15	44	26.4	36	43.5	111.740	15	6	40.8	1317230.554	2.5	526892.221
16-18	17	49	29.4	36	44.75	130.003	17	6	40.8	1536173.122	2.5	614469.249
18-20	19	46	27.6	36	44	118.370	19	6	40.8	1405206.317	2.5	562082.527
20-22	21	48	28.8	36	44.5	126.125	21	6	40.8	1501378.000	2.5	600631.200
22-24	23	44	26.4	36	43.5	111.740	23	6	40.8	1336998.874	2.5	534799.540
24-26	25	50	30	36	45	133.880	25	6	40.8	1604014.963	2.5	641605.985
26-28	27	56	33.6	36	48	199.260	27	6	40.8	2367764.006	2.5	947105.603
28-30	29	54	32.4	36	47	175.640	29	6	40.8	2077277.230	2.5	830911.012

Tabel 7 Analisis Daya Dukung Fondasi Tereduksi P10-177

Lapisan	z	d	s	θ	n'	E_p	Meyerhoff	Reese & O'Neil	PDA	
m	m	m	m	°	m	MPa	Q_u (Ton)	Q_u (Ton)	Q_u (Ton)	
0-2	1	1.2	3	0.381	13	2	0.994	120.865	3356.097	335.246
2-4	3	1.2	3	0.381	13	2	0.994	396.662	10251.939	1025.193
4-6	5	1.2	3	0.381	13	2	0.994	667.089	17239.965	1723.996
6-8	7	1.2	3	0.381	13	2	0.994	942.146	24348.417	2434.841
8-10	9	1.2	3	0.381	13	2	0.994	1222.285	31588.205	3158.205
10-12	11	1.2	3	0.381	13	2	0.994	1507.549	38960.442	3896.442
12-14	13	1.2	3	0.381	13	2	0.994	1671.953	43209.236	4320.923
14-16	15	1.2	3	0.381	13	2	0.994	1714.792	44116.340	4411.634
16-18	17	1.2	3	0.381	13	2	0.994	1762.865	45558.728	4555.872
18-20	19	1.2	3	0.381	13	2	0.994	1812.062	46830.148	4683.014
20-22	21	1.2	3	0.381	13	2	0.994	1861.488	48107.504	4810.750
22-24	23	1.2	3	0.381	13	2	0.994	1911.087	49389.312	4938.931
24-26	25	1.2	3	0.381	13	2	0.994	1951.708	50439.098	5043.909
26-28	27	1.2	3	0.381	13	2	0.994	1994.873	51554.627	5154.627
28-30	29	1.2	3	0.381	13	2	0.994	2040.589	52736.104	5273.610
30-32	31	1.2	3	0.381	13	2	0.994	2090.532	54026.816	5402.681

Tabel 8 Analisis Daya Dukung Fondasi Tereeduksi P13-234

Lapian	τ	d	s	θ	n'	m	E_p	Meyerhoff		Reese & O'Neil		PDA	
m	m	m	m	m	m	m	m	Q_c (Ton)	Q_u (Ton)	Q_c (Ton)	Q_u (Ton)	Q_c (Ton)	Q_u (Ton)
0-2	1	1,2	3	0,381	13	2	0,094	113.927	2944.281	206.83	5345.158	224.300	5796.713
2-4	3	1,2	3	0,381	13	2	0,094	342.427	8849.538	209.51	5414.525	229.300	5925.931
4-6	5	1,2	3	0,381	13	2	0,094	613.705	15860.325	265.75	6867.806	234.400	6057.733
6-8	7	1,2	3	0,381	13	2	0,094	866.439	22391.864	344.07	8891.919	242.500	6267.066
8-10	9	1,2	3	0,381	13	2	0,094	1121.124	28973.859	456.91	11808.107	253.600	6553.029
10-12	11	1,2	3	0,381	13	2	0,094	1377.648	35603.543	608.50	13725.684	265.500	6861.468
12-14	13	1,2	3	0,381	13	2	0,094	1523.431	39370.889	796.51	20584.616	275.600	7122.488
14-16	15	1,2	3	0,381	13	2	0,094	1559.302	40297.922	1016.04	26258.045	290.800	7515.310
16-18	17	1,2	3	0,381	13	2	0,094	1599.420	41334.712	1258.45	32522.749	311.000	8037.350
18-20	19	1,2	3	0,381	13	2	0,094	1637.256	42312.543	1506.60	38925.890	333.800	9143.455
20-22	21	1,2	3	0,381	13	2	0,094	1676.840	43335.524	1742.69	45057.209	396.600	10249.560
22-24	23	1,2	3	0,381	13	2	0,094	1713.211	44275.500	1946.48	50104.075	453.600	11272.643
24-26	25	1,2	3	0,381	13	2	0,094	1754.600	45345.122	2099.30	54263.310	527.300	12627.314
26-28	27	1,2	3	0,381	13	2	0,094	1801.037	46545.227	2389.09	61743.315	645.400	14679.440
28-30	29	1,2	3	0,381	13	2	0,094	1845.886	47704.285	2933.10	75801.727	780.400	20168.322

Analisis potensi likuefaksi

Menurut Zakariya (2023) Likuefaksi merupakan suatu fenomena kenaikan tekanan air pori yang menyebabkan partikel tanah lepasan terlepas satu sama lain sehingga tegangan efektif tanah berkurang drastis bahkan hilang. Penyebab likuefaksi secara umum diakibatkan getaran gempa yang memicu beban siklik dan naiknya tekanan air pori pada tanah. Menurut Day (2012) Likuefaksi adalah kejadian hilangnya kekuatan tanah yang disebabkan oleh getaran akibat peristiwa gempa bumi. Lapisan tanah tersebut menjadi cair (liqified) yang berakibat tidak mampu untuk menahan beban bangunan ataupun struktur yang berada diastanya. Likuefaksi umunya terjadi pada konsistensi tanah granular jenuh (saturated) dengan tingkat kepadatan loose dense dan medium dense.

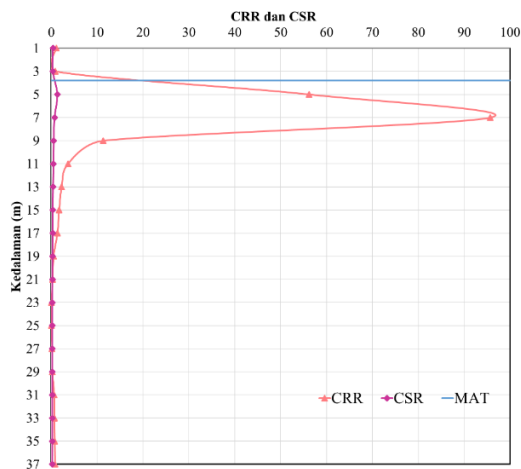
Dengan menggunakan metode Idriss & Boulanger (2008) ditemukan potensi likuefaksi pada Jembatan Kabanaran di titik fondasi P10 dan P13 dengan rentang kedalaman 21-27 meter. Ada dua parameter yang diperlukan untuk menganalisis potensi likuefaksi yaitu nilai rasio tegangan siklik atau *cyclic stress ratio* (CSR) dan nilai rasio tahanan siklik atau *cyclic resistance ratio* (CRR). Nilai CRR bisa didapatkan dari hasil pengujian SPT, CPT dan pengukuran kecepatan gelombang geser (V_s) ditinjau dari SNI 8460:2017 (BSN, 2017). Untuk dapat melihat lebih jelas berikut Tabel 9 dan Tabel 10 hasil analisis potensi likuefaksi.

Tabel 9 Analisis Potensi Likuefaksi Pada P10-177

Muka air tanah : 3,78 meter													
Z	N ₆₀	σ'_{vm}	σ'_{vm}	σ'_{vm}	σ'_{vm}	σ'_{vm}	σ'_{vm}	σ'_{vm}	σ'_{vm}	σ'_{vm}	σ'_{vm}	σ'_{vm}	σ'_{vm}
0	15	14,84	0	13,680	0,000	13,680	0,000	43,284	0,978	5,570	0,361	0,390	110,714
1	17	0	19,316	66,890	49,090	17,800	0,063	5,570	1,334	0,334	1,700	28,790	87,003
2	22	0	19,886	136,625	66,870	61,955	0,040	5,570	0,737	0,352	1,184	26,444	76,714
3	28	0	26,394	237,082	86,280	146,792	0,031	5,570	0,440	0,367	0,601	24,231	68,047
4	34	0	26,766	387,137	107,619	279,247	0,028	5,570	0,454	0,372	0,602	23,205	57,361
5	44	0	21,276	583,321	127,536	455,791	0,036	5,570	0,399	0,335	0,584	25,474	39,603
6	53	0	21,864	826,035	147,250	678,785	0,032	5,570	0,352	0,335	0,530	27,638	33,603
7	59	0	22,402	1,051,031	166,756	884,275	0,032	5,570	0,337	0,335	0,498	24,488	31,006
8	66	0	22,491	1,266,643	186,798	1,079,845	0,032	5,570	0,307	0,335	0,457	20,237	27,109
9	76	0	22,25	1,479,275	206,735	1,272,540	0,032	5,570	0,267	0,335	0,407	16,340	22,503
10	88	0	22,25	1,696,265	226,536	1,469,729	0,032	5,570	0,226	0,335	0,357	12,339	17,979
11	99	0	21,231	2,047,060	246,230	1,800,830	0,032	5,570	0,186	0,335	0,307	8,334	13,324
12	110	0	21,231	2,374,060	265,930	2,108,130	0,032	5,570	0,146	0,335	0,257	4,334	8,334
13	122	0	21,231	2,701,060	285,630	2,415,430	0,032	5,570	0,106	0,335	0,207	0,334	3,334
14	134	0	21,231	3,028,060	305,330	2,722,730	0,032	5,570	0,066	0,335	0,157	0,334	2,334
15	146	0	21,231	3,355,060	325,030	3,029,030	0,032	5,570	0,026	0,335	0,107	0,334	1,334
16	158	0	21,231	3,682,060	344,730	3,336,330	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
17	170	0	21,231	4,009,060	364,430	3,643,630	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
18	182	0	21,231	4,336,060	384,130	3,950,930	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
19	194	0	21,231	4,663,060	403,830	4,258,230	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
20	206	0	21,231	4,990,060	423,530	4,565,530	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
21	218	0	21,231	5,317,060	443,230	4,872,830	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
22	230	0	21,231	5,644,060	462,930	5,180,130	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
23	242	0	21,231	5,971,060	482,630	5,487,430	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
24	254	0	21,231	6,298,060	502,330	5,794,730	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
25	266	0	21,231	6,625,060	522,030	6,102,030	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
26	278	0	21,231	6,952,060	541,730	6,409,330	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
27	290	0	21,231	7,279,060	561,430	6,716,630	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
28	302	0	21,231	7,606,060	581,130	7,023,930	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
29	314	0	21,231	7,933,060	600,830	7,331,230	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
30	326	0	21,231	8,260,060	620,530	7,638,530	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
31	338	0	21,231	8,587,060	640,230	7,945,830	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
32	350	0	21,231	8,914,060	659,930	8,253,130	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
33	362	0	21,231	9,241,060	679,630	8,560,430	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
34	374	0	21,231	9,568,060	699,330	8,867,730	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
35	386	0	21,231	9,895,060	719,030	9,175,030	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
36	398	0	21,231	10,222,060	738,730	9,482,330	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
37	410	0	21,231	10,549,060	758,430	9,789,630	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334

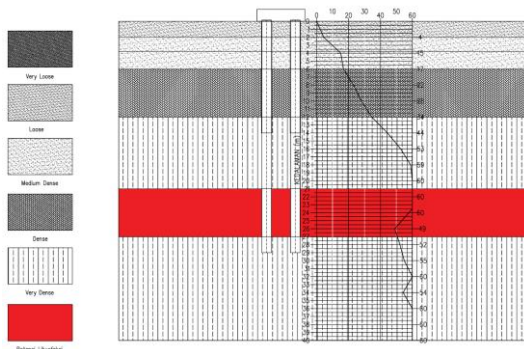
Tabel 10 Analisis Potensi Likuefaksi Pada P13-234

Muka air tanah : 3,78 meter													
Z	N ₆₀	σ'_{vm}	σ'_{vm}	σ'_{vm}	σ'_{vm}	σ'_{vm}	σ'_{vm}	σ'_{vm}	σ'_{vm}	σ'_{vm}	σ'_{vm}	σ'_{vm}	σ'_{vm}
0	2	13,8	0	12,800	0,000	12,800	0,000	43,284	0,978	5,570	0,361	0,390	110,714
1	3	13,2	0	39,200	0,000	39,200	0,000	43,284	0,978	5,570	0,361	0,390	110,714
2	4	0	22,500	66,711	49,000	17,661	0,063	5,570	1,342	0,334	1,700	28,790	87,003
3	5	0	26,809	133,189	66,670	64,499	0,040	5,570	0,722	0,352	1,184	26,444	76,714
4	6	0	26,737	241,416	86,290	155,126	0,031	5,570	0,441	0,367	0,601	24,231	68,047
5	7	0	26,835	391,844	107,619	283,934	0,028	5,570	0,452	0,372	0,602	23,205	57,361
6	8	0	21,276	583,780	127,536	456,244	0,036	5,570	0,399	0,335	0,584	25,474	39,603
7	9	0	21,864	826,035	147,250	678,785	0,032	5,570	0,352	0,335	0,530	27,638	33,603
8	10	0	22,402	1,051,031	166,756	884,275	0,032	5,570	0,337	0,335	0,498	24,488	31,006
9	11	0	22,491	1,266,643	186,798	1,079,845	0,032	5,570	0,307	0,335	0,457	20,237	27,109
10	12	0	22,25	1,479,275	206,735	1,272,540	0,032	5,570	0,267	0,335	0,407	16,340	22,503
11	13	0	21,231	1,800,830	226,536	1,574,294	0,032	5,570	0,226	0,335	0,357	12,339	17,979
12	14	0	21,231	2,108,130	246,230	1,861,900	0,032	5,570	0,186	0,335	0,307	8,334	13,324
13	15	0	21,231	2,415,430	265,930	2,153,500	0,032	5,570	0,146	0,335	0,257	4,334	8,334
14	16	0	21,231	2,722,730	285,630	2,441,100	0,032	5,570	0,106	0,335	0,207	0,334	3,334
15	17	0	21,231	3,029,030	305,330	2,727,700	0,032	5,570	0,066	0,335	0,157	0,334	2,334
16	18	0	21,231	3,336,330	325,030	3,014,300	0,032	5,570	0,026	0,335	0,107	0,334	1,334
17	19	0	21,231	3,643,630	344,730	3,301,900	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
18	20	0	21,231	3,950,930	364,430	3,588,500	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
19	21	0	21,231	4,258,230	384,130	3,876,100	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
20	22	0	21,231	4,565,530	403,830	4,163,700	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
21	23	0	21,231	4,872,830	423,530	4,451,300	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
22	24	0	21,231	5,180,130	443,230	4,738,900	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
23	25	0	21,231	5,487,430	462,930	5,026,500	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
24	26	0	21,231	5,794,730	482,630	5,314,100	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
25	27	0	21,231	6,102,030	502,330	5,601,700	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
26	28	0	21,231	6,409,330	522,030	5,889,300	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
27	29	0	21,231	6,716,630	541,730	6,176,900	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
28	30	0	21,231	7,023,930	561,430	6,464,500	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
29	31	0	21,231	7,331,230	581,130	6,752,100	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
30	32	0	21,231	7,638,530	600,830	7,039,700	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
31	33	0	21,231	7,945,830	620,530	7,327,300	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
32	34	0	21,231	8,253,130	640,230	7,614,900	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
33	35	0	21,231	8,560,430	660,000	7,902,500	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
34	36	0	21,231	8,867,730	679,700	8,190,100	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
35	37	0	21,231	9,175,030	699,400	8,477,700	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
36	38	0	21,231	9,482,330	719,100	8,765,300	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
37	39	0	21,231	9,789,630	738,800	9,052,900	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
38	40	0	21,231	10,096,930	758,500	9,340,500	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
39	41	0	21,231	10,404,230	778,200	9,628,100	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
40	42	0	21,231	10,711,530	797,900	9,915,700	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
41	43	0	21,231	11,018,830	817,600	10,203,300	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
42	44	0	21,231	11,326,130	837,300	10,490,900	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
43	45	0	21,231	11,633,430	857,000	10,778,500	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
44	46	0	21,231	11,940,730	876,700	11,066,100	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
45	47	0	21,231	12,248,030	896,400	11,353,700	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
46	48	0	21,231	12,555,330	916,100	11,641,300	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
47	49	0	21,231	12,862,630	935,800	11,928,900	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
48	50	0	21,231	13,169,930	955,500	12,216,500	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
49	51	0	21,231	13,477,230	975,200	12,504,100	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
50	52	0	21,231	13,784,530	994,900	12,791,700	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
51	53	0	21,231	14,091,830	1,014,600	13,079,300	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
52	54	0	21,231	14,399,130	1,034,300	13,366,900	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
53	55	0	21,231	14,706,430	1,054,000	13,654,500	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
54	56	0	21,231	15,013,730	1,073,700	13,942,100	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
55	57	0	21,231	15,321,030	1,093,400	14,229,700	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
56	58	0	21,231	15,628,330	1,113,100	14,517,300	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
57	59	0	21,231	15,935,630	1,132,800	14,804,900	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
58	60	0	21,231	16,242,930	1,152,500	15,092,500	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
59	61	0	21,231	16,550,230	1,172,200	15,380,100	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
60	62	0	21,231	16,857,530	1,191,900	15,667,700	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
61	63	0	21,231	17,164,830	1,211,600	15,955,300	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
62	64	0	21,231	17,472,130	1,231,300	16,242,900	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
63	65	0	21,231	17,779,430	1,251,000	16,530,500	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
64	66	0	21,231	18,086,730	1,270,700	16,818,100	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
65	67	0	21,231	18,394,030	1,290,400	17,105,700	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
66	68	0	21,231	18,701,330	1,310,100	17,393,300	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
67	69	0	21,231	19,008,630	1,329,800	17,680,900	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
68	70	0	21,231	19,315,930	1,349,500	17,968,500	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
69	71	0	21,231	19,623,230	1,369,200	18,256,100	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
70	72	0	21,231	19,930,530	1,388,900	18,543,700	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
71	73	0	21,231	20,237,830	1,408,600	18,831,300	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
72	74	0	21,231	20,545,130	1,428,300	19,118,900	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
73	75	0	21,231	20,852,430	1,448,000	19,406,500	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
74	76	0	21,231	21,159,730	1,467,700	19,694,100	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
75	77	0	21,231	21,467,030	1,487,400	19,981,700	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
76	78	0	21,231	21,774,330	1,507,100	20,269,300	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
77	79	0	21,231	22,081,630	1,526,800	20,556,900	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
78	80	0	21,231	22,388,930	1,546,500	20,844,500	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
79	81	0	21,231	22,696,230	1,566,200	21,132,100	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
80	82	0	21,231	23,003,530	1,585,900	21,419,700	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
81	83	0	21,231	23,310,830	1,605,600	21,707,300	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
82	84	0	21,231	23,618,130	1,625,300	21,994,900	0,032	5,570	0,006	0,335	0,057	0,334	0,334
83	85	0	21,231	23,9									

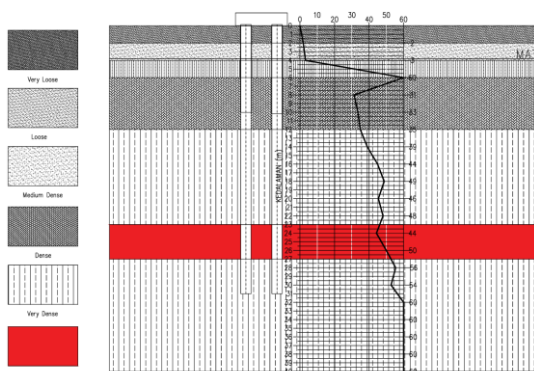


Gambar 8 Grafik Analisis CRR dan CSR Pada P13-234

Untuk dapat melihat lebih jelas ilustrasi lapisan yang mengalami likuefaksi dapat dilihat juga pada Gambar 9 dan Gambar 10 sebagai berikut



Gambar 9 Ilustrasi Sebaran Lapisan Tanah Likuefaksi P10-177



Gambar 10 Ilustrasi Sebaran Lapisan Tanah Likuefaksi P13-234

Berdasarkan dari Gambar 9 dan Gambar 10 di atas dapat dilihat bahwa pada P10 dan P13 berpotensi likuefaksi pada kedalaman 21 hingga 27 meter. Menurut Li dkk. (2006) pada kedalaman >20 meter likuefaksi dapat diabaikan karena tidak memberikan efek ke permukaan. Namun dengan demikian tetap diperlukan evaluasi daya dukung fondasi pada P10 dan P13 di kedalaman yang berpotensi terjadinya likuefaksi untuk memastikan bahwa fondasi masih tergolong aman atau memenuhi persyaratan keamanan.

Evaluasi daya dukung fondasi dengan likuefaksi

Melihat potensi likuefaksi yang dapat terjadi di Jembatan Kabanaran di kedalaman tertentu lapisan tanah sehingga perlu dianalisis apakah likuefaksi dapat mempengaruhi daya dukung fondasi. Likuefaksi yang terjadi di Indonesia terutama pada wilayah Yogyakarta akan mengakibatkan penurunan tanah sebesar 1% (Muntohar, 2014). Likuefaksi menyebabkan *skin friction* fondasi diabaikan dalam perhitungan daya dukung fondasi sehingga perlu dilakukan evaluasi daya dukung fondasi kelompok untuk memastikan daya dukung fondasi tereduksi masih dalam batas aman. Batas aman fondasi yang dimaksud adalah $Q_g > \text{Pembebanan}$ (Sjahrain, 2024). Pada saat terjadi likuefaksi kemampuan fondasi dalam menahan beban berasal dari daya dukung ujung tiang (Q_b) dan sebagian berasal dari daya dukung selimut tiang (Q_s) yang masih stabil atau dalam kondisi tidak terdampak likuefaksi. Fondasi akan tetap dalam kondisi aman apabila tahanan ujung tidak terdampak likuefaksi, namun bila tahanan ujung terdampak likuefaksi maka bisa dipastikan bawah fondasi mengalami kegagalan (Alatas, 2015). Berikut Tabel 11 dan Tabel 12 hasil analisis evaluasi daya dukung fondasi dengan mempertimbangkan likuefaksi di P10 dan P13.

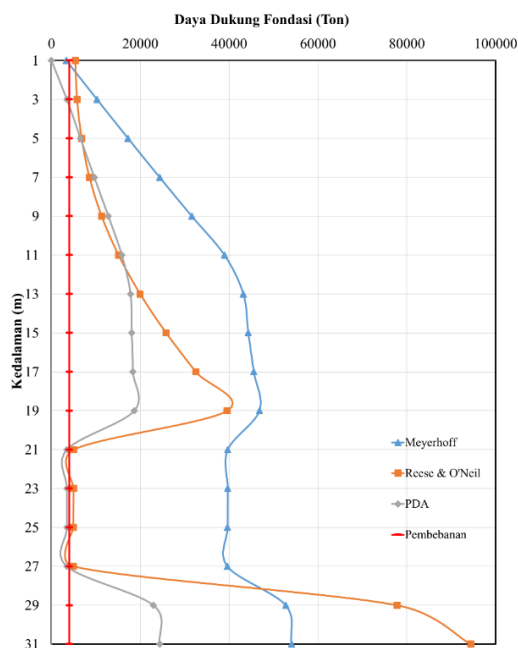
Tabel 11 Evaluasi Daya Dukung Fondasi Dengan Mempertimbangkan Faktor Likuefaksi $M=7,5$ P10-177

Materi dan Kondisi		Daya Dukung Fondasi Tunggal										Lokasi	
No	Kondisi	Meyerhoff (Ton)					Reese & O'Neil (Ton)					No	Kondisi
		Q _u	Q _u	Q _u	Q _u	Q _u	Q _u	Q _u	Q _u	Q _u	Q _u		
1	10	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	1	10
2	11	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	2	11
3	12	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	3	12
4	13	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	4	13
5	14	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	5	14
6	15	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	6	15
7	16	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	7	16
8	17	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	8	17
9	18	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	9	18
10	19	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10	19
11	20	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	11	20
12	21	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	12	21
13	22	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	13	22
14	23	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	14	23
15	24	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	15	24
16	25	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	16	25
17	26	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	17	26
18	27	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	18	27
19	28	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	19	28
20	29	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	20	29
21	30	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	21	30
22	31	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	22	31

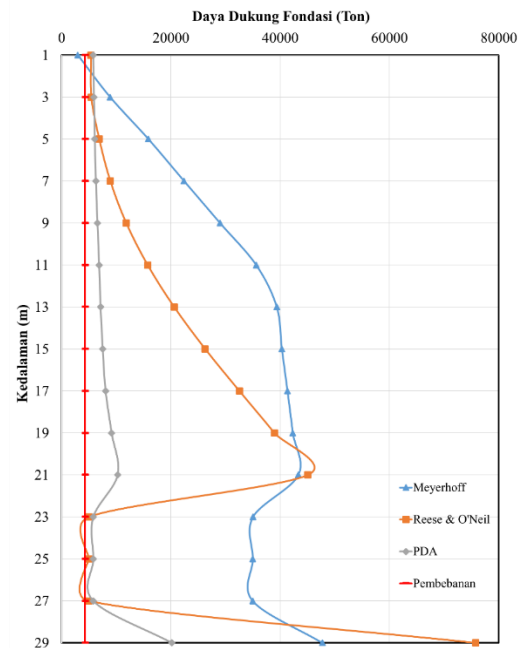
Tabel 12 Evaluasi Daya Dukung Fondasi Dengan Mempertimbangkan Faktor Likuefaksi $M=7,5$ P13-234

Materi dan Kondisi		Daya Dukung Fondasi Tunggal										Lokasi	
No	Kondisi	Meyerhoff (Ton)					Reese & O'Neil (Ton)					No	Kondisi
		Q _u	Q _u	Q _u	Q _u	Q _u	Q _u	Q _u	Q _u	Q _u	Q _u		
1	10	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	1	10
2	11	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	2	11
3	12	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	3	12
4	13	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	4	13
5	14	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	5	14
6	15	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	6	15
7	16	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	7	16
8	17	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	8	17
9	18	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	9	18
10	19	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10	19
11	20	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	11	20
12	21	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	12	21
13	22	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	13	22
14	23	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	14	23
15	24	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	15	24
16	25	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	16	25
17	26	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	17	26
18	27	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	18	27
19	28	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	19	28
20	29	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	20	29
21	30	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	21	30
22	31	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	22	31

Untuk dapat melihat dengan jelas hasil evaluasi daya dukung fondasi pada P10 dan P13 dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12 sebagai berikut.



Gambar 11 Grafik Perbandingan Evaluasi Daya Dukung Fondasi Kelompok Terhadap Pembebanan P10-177



Gambar 12 Grafik Perbandingan Evaluasi Daya Dukung Fondasi Kelompok Terhadap Pembebanan P13-234

Berdasarkan dari Gambar 11 dan Gambar 12 di atas dapat di lihat bahwa pada P10 dan P13 dengan menggunakan pendekatan daya dukung Reese & O'Neil PDA dan Meyerhoff mengalami penurunan daya dukung fondasi pada ke dalam 21 hingga 27 meter. Penurunan ini diakibatkan karena daya dukung selimut tiang atau *skin friction* tidak diperhitungkan saat analisis dengan mempertimbangkan likuefaksi, untuk dapat melihat lebih jelas penurunan daya dukung pada P10 dan P13 berikut Tabel 13 dan Tabel 14.

Tabel 13 Persentase Penurunan Daya Dukung (Q_g) Sebelum dan Likuefaksi Pada P10

Kedalaman (m)	Meyerhoff (1963) (Ton)			Reese & O'Neil (1989) (Ton)			PDA (Ton)		
	Q _g sebelum	Q _g Likuefaksi	% Selisih	Q _g sebelum	Q _g Likuefaksi	% Selisih	Q _g sebelum	Q _g Likuefaksi	% Selisih
21	48107,504	39693,095	17,491	46116,937	4990,814	89,225	18889,065	3468,465	81,638
23	49389,312	39661,543	19,696	52281,601	4959,262	90,514	19206,941	3468,465	81,942
25	50439,098	39629,991	21,430	56453,213	4927,709	91,271	19966,742	3468,465	82,629
27	51254,627	39598,438	23,191	63743,445	4896,157	92,319	21225,324	3468,465	83,689

Tabel 14 Persentase Penurunan Daya Dukung (Q_g) Sebelum dan Likuefaksi Pada P13

Kedalaman (m)	Meyerhoff (1963) (Ton)			Reese & O'Neil (1989) (Ton)			PDA (Ton)		
	Q _g sebelum	Q _g Likuefaksi	% Selisih	Q _g sebelum	Q _g Likuefaksi	% Selisih	Q _g sebelum	Q _g Likuefaksi	% Selisih
23	44275,500	35017,054	20,911	50304,075	4989,444	90,081	11722,643	5796,713	50,551
25	45345,122	34985,501	22,846	54253,310	4957,892	90,862	13627,314	5796,713	57,463
27	46545,227	34953,949	24,903	61742,515	4926,340	92,021	16679,440	5796,713	65,246

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

1. Tanah di lokasi Jembatan Kabanaran baik di P10 dan P13 di dominasi pasir dengan kerapatan relatif bervariasi dari *very loose* hingga *very dense* berdasarkan data SPT
2. Perhitungan daya dukung fondasi tunggal *bored pile* menggunakan metode Meyerhoff (1963) dan Reese & O'Neil (1989) menunjukkan perbedaan signifikan, di mana metode Reese & O'Neil menghasilkan nilai daya dukung jauh lebih besar dibanding Meyerhoff.
3. Hasil PDA-CAPWAP menunjukkan kapasitas fondasi eksisting (P10-177 dan P13-234) lebih rendah dibanding hasil analisis teoritis kedua metode.
4. Potensi likuefaksi pada P10-177 ditemukan pada kedalaman 21-27 meter sedangkan pada P13-234 ditemukan pada kedalaman 23-27 meter dengan magnitudo gempa $M=7,5$.
5. Evaluasi daya dukung dengan mempertimbangkan likuefaksi menunjukan :
 - a. Semua metode menunjukkan penurunan kapasitas fondasi kelompok (Q_g) ketika lapisan berpotensi likuefaksi dimasukkan dalam analisis.
 - b. Besarnya penurunan berbeda antar metode: terbesar pada Reese & O'Neil, disusul PDA, dan terkecil pada Meyerhoff.
 - c. Meskipun terjadi penurunan daya dukung izin kelompok fondasi (Q_g) di kedalaman yang berpotensi likuefaksi, kondisi fondasi pada P10 dan P13 masih dalam kondisi aman karena kedalaman ujung fondasi masih dapat menopang beban aksial jembatan.

Saran

1. Perlu dilakukan investigasi tanah yang lebih detail, khususnya pada setiap lapisan untuk memperoleh data yang lebih representatif terhadap kondisi aktual tanah.

2. Analisis daya dukung fondasi pada penelitian ini fokus terhadap beban aksial. Oleh karena itu untuk penelitian selanjutnya analisis dilakukan terhadap pengaruh beban lateral agar memperoleh gambaran perilaku fondasi yang lebih komprehensif.
3. Diperlukan variasi magnitudo gempa dan metode analisis dalam menghitung potensi likuefaksi untuk memperoleh potensi likuefaksi yang lebih akurat.
4. Pengembangan metode analisis untuk menghitung daya dukung dapat dilakukan dengan perangkat lunak seperti *Plaxis* atau *Enshoft*. Dan untuk menghitung beban secara lebih rinci dapat menggunakan SAP 2000.

Daftar Pustaka

- Alatas, I. M. (2015). Studi Daya Dukung Pondasi Bored Pile Pada Tanah Pasir Jenuh Akibat Liquefaksi Di Palu Sulawesi Tengah.
- Azzahra, F., & Sitompul, G. M. (2024). Perbandingan Daya Dukung Fondasi Tiang Bor Jembatan Pandansimo Berdasarkan Metode Empiris Dan Numerik Terhadap Pengujian Pembebanan Dinamis Di Lapangan.
- Buana, T. W., Hermawan, W., Rahdiyana, R. N., Wahyudin, R. W., Hasibuan, G., Wiyono, & Solli, W. P. (2019). Content-Atlas-Zona-Liquefaksi-Indonesia. In Badan Geologi Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Day, R. W. (2012). Earthquake engineering handbook. In *Geotechnical Earthquake Engineering Handbook*. <https://doi.org/10.5860/choice.40-5239>
- Das, B. M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering 7th Edition*.
- Hardiyatmo, H. C. (2020). Analisis dan Perancangan Fondasi II (edisi 5). Gajah Mada University Press.
- Li, D. K., Juang, C. H., & Andrus, R. D. (2006). Liquefaction Potential Index: A Critical Assessment Using Probability Concept. 1(1), 11–24.
- Muntohar, A. S. (2014). Research on Earthquake Induced Liquefaction in Padang City and Yogyakarta Areas. *Jurnal Geoteknik HATTI IX*, 1, 1–9.
- Nurdiansyah, F. (2023). Analisis Potensi Likuefaksi dan Pengaruhnya Terhadap Fondasi Tiang Pancang Pekerjaan SLab On Pile Jembatan Kretek 2.
- Saputra, H. A. (2022). Analisis Potensi Likuefaksi dan Pengaruhnya Pada Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Pancang Pasca Konstruksi (Studi Kasus: Fondasi Tiang Pancang Slab On Pile Proyek

- LOT 3 Pembangunan Jembatan Kretek 2).
43(1), 97–102.
- Sjahrain, D. (2024). Evaluasi Kapasitas Dukung
Fondasi Tiang Bor Terhadap Beban Aksial
Dengan Mempertimbangkan Pengaruh Potensi
Likuefaksi Tanah.
- Standar Nasional Indonesia Pembebanan Untuk
Jembatan SNI 1725:2016. 2016. Badan
Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia Persyaratan Perancangan
Geoteknik 8460:2017, 2017. Badan
Standarisasi Nasional Indonesia. Jakarta.
- Zakariya, A. (2023). Pengaruh Potensi Likuefaksi Dan
Mitigasi Sistem Fondasi Bored Pile Jembatan
Kretek 2 Yogyakarta Ali Zakariya, St, Dr. Ir.
Ahmad Rifa'i, M.T.; Dr. Eng. Sito Ismanti,
S.T., M.Eng. 486142.