



POTENSI LIKUIFAKSI PEMBANGUNAN MENARA MESJID AGUNG KISARAN

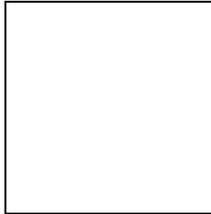
¹Rudolf K R Datubara, ²Batumahadi Siregar, ³Samsuardi Batubara,
⁴Martius Ginting

^{1,2}Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur Universitas Negeri Medan

^{3,4}Universitas Khatolik Santo Thomas

¹Teknik Sipil

rudolf@gmail.com



ABSTRAK

Likuifaksi yang terjadi pada gempa Palu Tahun 2018 menunjukkan betapa berbahayanya likuifaksi, likuifaksi bukan sekedar mengakibatkan kegagalan struktur tapi lebih dari itu berubahnya peta lahan sekitar lokasi terjadinya likuifaksi. Mengingat resiko gempa Indonesia sangat besar maka potensi likuifaksi menjadi keharusan untuk di kaji sebelum konstruksi dilaksanakan untuk meminimalkan terjadinya keruntuhan struktur. Makalah ini menyajikan analisa potensi likuifaksi menggunakan data *Standard Penetration Test (SPT)* pada perencanaan Menara Mesjid Agung yang berlokasi di Kisaran Sumatera Utara. Analisa menentukan layer tanah yang terlikuifaksi dilakukan dengan cara *Simplified Procedure Method*. Hasil Analisa menunjukkan *ditemukannya* potensi likuifaksi pada kedalaman 4.0 – 12.0 m dengan tingkat likuifaksi menengah hingga tinggi. Dengan adanya potensi likuifaksi tersebut maka friksi untuk perhitungan daya dukung pondasi tiang pada kedalaman tersebut adalah nol.

Kata Kunci : likuifaksi, gempa, SPT, simplified

ABSTRACT

Likuifaksi yang terjadi pada gempa Palu Tahun 2018 menunjukkan betapa berbahayanya likuifaksi, likuifaksi bukan sekedar mengakibatkan kegagalan struktur tapi lebih dari itu berubahnya peta lahan sekitar lokasi terjadinya likuifaksi. Mengingat resiko gempa Indonesia sangat besar maka potensi likuifaksi menjadi keharusan untuk di kaji sebelum konstruksi dilaksanakan untuk meminimalkan terjadinya keruntuhan struktur. Makalah ini menyajikan analisa potensi likuifaksi menggunakan data *Standard Penetration Test (SPT)* pada perencanaan Menara Mesjid Agung yang berlokasi di Kisaran Sumatera Utara. Analisa menentukan layer tanah yang terlikuifaksi dilakukan dengan cara *Simplified Procedure Method*. Hasil Analisa menunjukkan *ditemukannya* potensi likuifaksi pada kedalaman 4.0 – 12.0 m dengan tingkat likuifaksi menengah hingga tinggi. Dengan adanya potensi likuifaksi tersebut maka friksi untuk perhitungan daya dukung pondasi tiang pada kedalaman tersebut adalah nol.

Keywords: likuifaksi, gempa, SPT, simplified

Pendahuluan

Indonesia termasuk daerah yang memiliki aktivitas gempa yang tinggi. Hal ini disebabkan lokasi Indonesia yang terletak pada pertemuan empat lempeng tektonik utama bumi yaitu Lempeng Eurasia, Indo-Australia, Pasifik dan Philipina. Oleh sebab itu, setiap perencanaan pembangunan di Indonesia, sangat perlu memperhitungkan resiko - resiko yang disebabkan oleh terjadinya gempa. Resiko - resiko tersebut, bukanlah hanya resiko yang terjadi pada kegagalan struktur bangunan saja, namun juga resiko kegagalan yang akan terjadi pada struktur tanah yang mendukung / menopang beban di atasnya. Dalam penelitian ini, penulis akan membahas salah satu kegagalan yang terjadi pada struktur tanah sehingga menjadikan tanah tersebut tidak memiliki kekuatan untuk mendukung / menopang beban di atasnya yang disebut likuifaksi. Likuifaksi adalah proses hilangnya kekuatan tanah akibat tegangan air pori yang timbul akibat beban siklis (berulang). Sehingga tegangan tanah total hampir seluruhnya digantikan oleh tegangan air pori.

Perhitungan likuifaksi pada umumnya dilakukan pada tanah yang memiliki gradasi buruk seperti sandy poor (SP) atau yang disebut dengan pasir lepas, karena pada tanah seperti ini lebih banyak berpotensi menyimpan air dibandingkan dengan tanah yang bergradasi baik.

2. Kajian Literatur

Likuifaksi adalah berkurangnya tegangan efektif tanah dan bertambahnya tegangan air pori tanah akibat adanya gaya gempa. Tanah yang berpotensi likuifaksi adalah tanah pasir lepas jenuh. Pengecekan potensi likuifaksi menggunakan metode Liquefaction potensial integral (LPI). Metoda ini menggunakan nilai factor of safety (FoS dari analisis Simplified Method) dan fungsi kedalaman tanah (W_z). Berikut ini dijabarkan langkah langkah dalam proses analisis pengecekan potensi likuifaksi seperti (1) Percepatan Gempa untuk Analisis Potensi Likuifaksi, (2) Menentukan lapisan Tanah Likuifaksi, dan (3) Menentukan Besarnya Tingkat Potensi likuifaksi (Ansori, 2021).

2.1. Percepatan Gempa untuk Analisis Potensi Likuifaksi

Percepatan gempa yang berpengaruh dalam likuifaksi adalah percepatan puncak di permukaan tanah. Nilai ini bergantung pada percepatan puncak di batuan dasar (PGA/Peak Ground Acceleration) (Arifudin, 2018). Nilai PGA bergantung pada keadaan tanah di lokasi proyek yang menentukan kelas situs. Nilai percepatan di permukaan tanah didapat dengan Persamaan 1.

$$A_{surface} = F_{PGA} \times PGA (g) \quad (1)$$

Keterangan:

$A_{surface}$: percepatan gempa di permukaan tanah (dalam satuan g)

F_{PGA} : faktor amplikasi tanah

PGA : Percepatan puncak di batuan dasar (Peak Ground Acceleration) dalam satuan (g)

2.2. Menentukan lapisan Tanah Likuifaksi

Menentukan layer tanah yang terlikuifaksi dengan cara *Simplified Procedure Method*. Metoda ini dapat menentukan lapisan tanah yang terlikuifaksi dari nilai faktor keamanan (FoS) (Mona dkk, 2007). Nilai faktor keamanan didapatkan dari Persamaan 2.

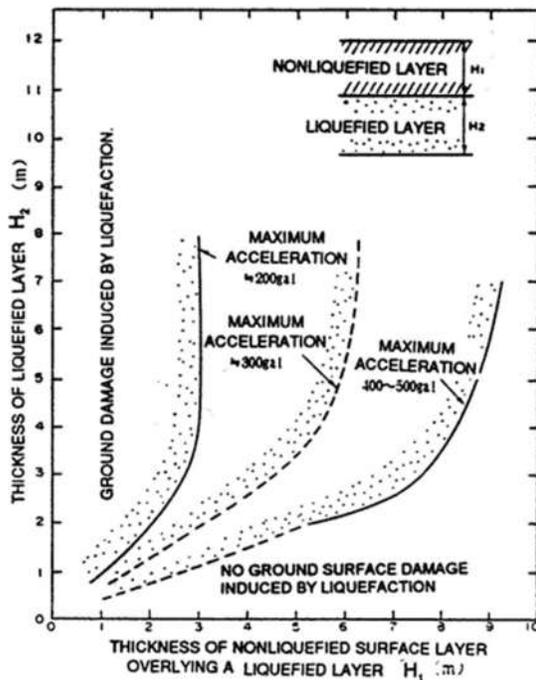
$$FoS = CRR/CSR \quad (2)$$

dimana:

CRR = *Cyclic resistance ratio*

CSR = *Cyclic stress ratio*

Adapun besarnya potensi kerusakan akibat likuifaksi ditentukan berdasarkan grafik yang diperlihatkan pada Gambar 1 (Ishihara, dkk, 1993).



Gambar 1. Grafik Identifikasi Kerusakan Tanah Akibat Likuifaksi.

Hasil plot pada grafik yang diperlihatkan Gambar 1, menentukan apakah akan terjadi kerusakan akibat likuifaksi atau tidak. Apabila jatuh di area berpotensi kerusakan, grafik tersebut juga mensyaratkan nilai percepatan gempa di permukaan tanah yang dapat menyebabkan kerusakan akibat likuifaksi (Wicaksono, 2023).

2.3. Menentukan Besarnya Tingkat Potensi likuifaksi

Beberapa jenis tanah, seperti pasir dan lumpur, cenderung lebih rentan terhadap likuifaksi daripada jenis tanah yang lebih padat. Pasir yang memiliki butir kasar dan tidak terikat secara kuat cenderung memiliki potensi likuifaksi yang lebih tinggi (Harahap & Rudi, 2018).

Kandungan Air: Kandungan air dalam tanah merupakan faktor penting dalam likuifaksi. Tanah yang jenuh air atau memiliki kadar air yang tinggi akan memiliki potensi likuifaksi yang lebih besar dibandingkan dengan tanah yang lebih kering.

Oleh karena itu, perlu dihitung besarnya potensi likuifaksi tersebut. Besarnya Potensi

likuifaksi (LPI) dapat didefinisikan dalam sebagai berikut (Tandaju, 2019).

LPI = Nilai liquefaction potensial integral

F = Potensi kejadian likuifaksi

$F = (FoS < 1)$ = Potensi tinggi

$F = (FoS = 1)$ = Potensi sedang

$F = (FoS > 1)$ = Potensi rendah

$W(z)$ = Faktor bobot kedalaman, dimana:

$W(z) = (10-0.5z)$ dengan z kedalaman yang ditinjau, maksimal 20 m.

Berikut ini adalah indikasi nilai potensi likuifaksi berdasarkan LPI:

LPI = 0 (Potensi likuifaksi sangat rendah)

$0 < LPI < 5$ (Potensi likuifaksi rendah)

$5 < LPI < 15$ (Potensi likuifaksi tinggi)

LPI > 15 (Potensi likuifaksi sangat tinggi)

3. Metode Penelitian

3.1 Pengumpulan Data

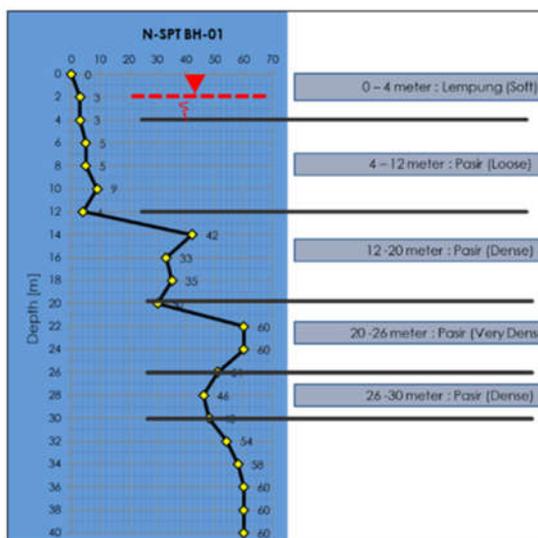
Untuk penelitian ini, metode yang digunakan adalah dengan teknik sondir (Mutmainah, 2021). Lokasi pengujian tanah pada penelitian ini adalah Masjid Agung H. Achmad Bakrie Kisaran seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi pengujian tanah.

Penyelidikan tanah meliputi uji lapangan berupa 1 titik pemboran @ 40 m dengan pengambilan sample tanah dan pengujian laboratorium serta 6 Titik sondir. Lokasi pemboran dan sondir pada area proyek ditampilkan Gambar 2.

Berdasarkan drilling BH_01 diperoleh deskripsi lapisan tanah, muka air tanah dan nilai SPT seperti diperlihatkan Gambar 3.



Gambar 3. Perkiraan Lapisan Tanah pada BH-01.

3.2 Penentuan site class

Pada penelitian ini ditentukan sebuah site class situs yang berdasarkan pada Standar Nasional Indonesia. Penentuan site class berdasarkan data tanah Nspt dengan kedalaman 30 m. Penentuan site class dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan data tanah titik bor BH-01, lokasi rencana desain Menara masjid Kisaran dikelompokkan ke dalam kelas situs Tanah Lunak

Nilai - nilai ini didapat dari peraturan gempa Indonesia yang didapatkan dari analisis struktur atas.

Tabel 1. Data berdasarkan Tipe tanah.

Klasifikasi Situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N}_{SPT} atau $\bar{N}_{SP_{60}}$	\bar{s}_s (kPa)
SA (batuan keras)	>1.500	N/A	N/A
SB (batuan dasar)	750 sampai 1.500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks Plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $(w) \geq 40\%$, dan 3. Kuat geser nirair, $s_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan penyelidikan geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah teresmentasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan, $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas tinggi (ketebalan, $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas, $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_s < 50$ kPa		

Keterangan: N/A = tidak dapat dipakai

Selanjutnya, dari data tanah yang diperlihatkan Tabel 1. Dilakukan peninjauan profil tanah dan perhitungan untuk mendapatkan pengelompokan tanah ke dalam kelas situs

seperti diperlihatkan Tabel 2.

Tabel 2. Tabel peninjauan profil tanah.

Profil tanah		BH-01			
SPT Mulai dari GL -		0			
Interval SPT		2		m	
D [m]	Jenis Tanah	N - SPT [blows/30 cm] (m)	di (m)	di/N	Konsistensi
0		0	0		
2	Lempung	3	2	0.66667	Very Soft
4	Lempung	3	4	0.66667	Very Soft
6	Pasir	5	6	0.4	Loose
8	Pasir	5	8	0.4	Loose
10	Pasir	9	10	0.22222	Loose
12	Pasir	4	12	0.5	Loose
14	Pasir	42	14	0.04762	Dense
16	Pasir	33	16	0.06061	Dense
18	Pasir	35	18	0.05714	Dense
20	Pasir	30	20	0.06667	Dense
22	Pasir	60	22	0.03333	Very Dense
24	Pasir	60	24	0.03333	Very Dense
26	Pasir	51	26	0.03922	Very Dense
28	Pasir	46	28	0.04348	Dense
30	Pasir	48	30	0.04167	Dense
32	Pasir	54	32	0.03704	Very Dense
34	Pasir	58	34	0.03448	Very Dense
36	Pasir	60	36	0.03333	Very Dense
38	Pasir	60	38	0.03333	Very Dense

Selanjutnya perhitungan untuk mendapatkan klasifikasi tanah ke dalam situs dapat ditentukan dengan Persamaan 3.

$$N = \sum di / (\sum di/Ni) \quad (2)$$

dimana:

N_{avg} = rata-rata penetrasi tanah

di = variasi kedalaman tanah

Ni = variasi tahanan penetrasi tanah

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data tanah titik bor BH-01, lokasi rencana desain Menara masjid Kisaran dikelompokkan ke dalam kelas situs Tanah Lunak. Nilai - nilai ini didapat dari peraturan gempa Indonesia yang didapatkan dari analisis struktur atas. Data ini disesuaikan dengan peta Gempa di Indonesia pada tahun 2017 seperti diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta gempa Indonesia tahun 2017.

Data peta gempa pada Gambar 4, kemudian

Tabel 4. Hasil perhitungan analisis likuifaksi tanah pengujian.

Depth (m)	N-SPT	Soil type	Soil Behaviour	γ	σ_v (kPa)	γ_w (kN/m ³)	σ_v' (kPa)	C_N	C_E	C_B	C_S	C_R	$N_{1(60)}$	Gravel	Sand	Silt	Clay	FC (%)	α	β	$N_{1(60)}$ - clean sand equivalent	100-CRR _{M=7.5}	CRR _{M=7.5}	MSF	CRR	r_d	CSR	FS	Liq/No Liq	LPI	
0	0																														
2	3	Lempung	Clay	16.5	33	0	33	-	-	-	-	-	-	0.00	61.64			38.36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	3	Lempung	Clay	16.5	66	10	46	-	-	-	-	-	-						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	5	Pasir	Sand	16	98	10	58	1.3	1	1	1	0.88	6					0.00	1.00	6	0.078	1.334	0.104	0.954	0.38	0.275	Liq	High			
8	5	Pasir	Sand	16	130	10	70	1.2	1	1	1	0.96	6	0.00	65.95			34.05	4.93	1.19	12	0.129	1.334	0.172	0.939	0.41	0.421	Liq	Moderate		
10	9	Pasir	Sand	16	162	10	82	1.1	1	1	1	1	10						0.00	1.00	10	0.113	1.334	0.150	0.907	0.42	0.358	Liq	Moderate		
12	4	Pasir	Sand	15.7	193.4	10	93.4	1.0	1	1	1	1	4						0.00	1.00	4	0.066	1.334	0.088	0.854	0.41	0.212	Liq	Moderate		
14	42	Pasir	Sand	17.5	228.4	10	108.4	1.0	1	1	1	1	40	0.00	75.74			20.40	4.43	1.15	20	N/A	1.334	N/A	0.800	0.39	N/A	NoLiq	Non Liquefiable		
16	33	Pasir	Sand	17.5	263.4	10	123.4	0.9	1	1	1	1	30						0.00	1.00	30	0.448	1.334	0.598	0.747	0.37	1.604	NoLiq	Non Liquefiable		
18	35	Pasir	Sand	17.5	298.4	10	138.4	0.9	1	1	1	1	30						0.00	1.00	30	0.451	1.334	0.602	0.693	0.35	1.721	NoLiq	Non Liquefiable		
20	30	Pasir	Sand	17	332.4	10	152.4	0.8	1	1	1	1	24						0.00	1.00	24	0.279	1.334	0.372	0.640	0.33	1.139	NoLiq	Non Liquefiable		
22	60	Pasir	Sand	18	368.4	10	168.4	0.8	1	1	1	1	46						0.00	1.00	46	N/A	1.334	N/A	0.587	0.30	N/A	NoLiq	Non Liquefiable		
24	60	Pasir	Sand	18	404.4	10	184.4	0.7	1	1	1	1	44						0.00	1.00	44	N/A	1.334	N/A	0.533	0.27	N/A	NoLiq	Non Liquefiable		
26	51	Pasir	Sand	18	440.4	10	200.4	0.7	1	1	1	1	36						0.00	1.00	36	N/A	1.334	N/A	N/A	N/A	N/A	NoLiq	Non Liquefiable		
28	46	Pasir	Sand	17.5	475.4	10	215.4	0.7	1	1	1	1	31						0.00	1.00	31	N/A	1.334	N/A	N/A	N/A	N/A	NoLiq	Non Liquefiable		
30	48	Pasir	Sand	17.5	510.4	10	230.4	0.7	1	1	1	1	32						0.00	1.00	32	N/A	1.334	N/A	N/A	N/A	N/A	NoLiq	Non Liquefiable		
32	54	Pasir	Sand	18	546.4	10	246.4	0.6	1	1	1	1	34						0.00	1.00	34	N/A	1.334	N/A	N/A	N/A	N/A	NoLiq	Non Liquefiable		
34	58	Pasir	Sand	18	582.4	10	262.4	0.6	1	1	1	1	36						0.00	1.00	36	N/A	1.334	N/A	N/A	N/A	N/A	NoLiq	Non Liquefiable		
36	60	Pasir	Sand	18	618.4	10	278.4	0.6	1	1	1	1	36						0.00	1.00	36	N/A	1.334	N/A	N/A	N/A	N/A	NoLiq	Non Liquefiable		
38	60	Pasir	Sand	18	654.4	10	294.4	0.6	1	1	1	1	35						0.00	1.00	35	N/A	1.334	N/A	N/A	N/A	N/A	NoLiq	Non Liquefiable		
40	60	Pasir	Sand	18	690.4	10	310.4	0.6	1	1	1	1	34						0.00	1.00	34	N/A	1.334	N/A	N/A	N/A	N/A	NoLiq	Non Liquefiable		

digunakan sebagai landasan mengukur tingkat likuifaksi tanah di lokasi pengujian. Sesuai dengan perhitungan menggunakan persamaan 1 hingga persamaan 4 dan ditambahkan dengan data faktor amplifikasi untuk PGA SNI seperti diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. amplifikasi untuk PGA

Kelas situs	$PGA \leq 0,1$	$PGA = 0,2$	$PGA = 0,3$	$PGA = 0,4$	P _s
	$S_x \leq 0,25$	$S_x = 0,5$	$S_x = 0,75$	$S_x = 1,0$	
Batuan keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	
Tanah keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	
Tanah sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	
Tanah lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	
Tanah khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	

Keterangan: Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linear

Hasil perhitungan kemudian di peroleh dan ditampilkan pada Tabel 4. Berdasarkan tabel diatas menunjukkan bahwa pada kedalaman 4 - 12 meter berpotensi likuifaksi dari tingkat menengah sampai tinggi. Dengan adanya potensi likuifaksi tersebut, maka pada perhitungan daya dukung tiang tunggal untuk daya dukung friksi nya di nol kan.

5. Kesimpulan

Berdasarkan Analisa data potensi likuifaksi lokasi rencana pembangunan Menara Mesjid Agung kisaran dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Potensi likuifaksi ditemukan pada kedalaman 4 - 12 meter berpotensi likuifaksi dari tingkat menengah sampai tinggi.
2. Dengan adanya potensi likuifaksi pada kedalaman 4.00 - 12.00 tersebut maka pada perhitungan daya dukung tiang tunggal untuk daya dukung friksi adalah nol.

6. Referensi

- Ansori, A.L., 2021. Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Berdasarkan Data Insitu Test Menggunakan Metode Probabilitas (Analysis of Liquefaction Potential Due To Earthquake Based on Insitu Test Using Probability Method) (Studi Kasus Pembangunan New Yogyakarta Internasional Airport (Nyia) Di Desa Glagah Dan Desa Palihan, Kulon Progo). Arifudin, Anggit Mas. "Karakteristik Situs Dan Kerentanan Seismik Di Kabupaten Klaten Dengan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSr) Dari Data Mikrotremor." Master's Thesis, Universitas Islam Indonesia, 2018.
- Ishihara, K., Acacio, A.A. and Towhata, I., 1993. Liquefaction-induced ground damage in Dagupan in the July 16, 1990 Luzon earthquake. *Soils and Foundations*, 33(1), pp.133-154.
- Mutmainah, H., 2021. Potensi Likuifaksi Di Pesisir Barat Sumatera Menggunakan Sondir. *Sebatik*, 25(2), pp.704-714.
- Mona, N., Yunita, H. and Setiawan, B., 2023. Analisis Potensi Likuifaksi dengan Data SPT Menggunakan Metode Simplified Procedure dan Kishida. *Journal of The Civil Engineering Student*, 5(2), pp.169-175.
- Tandaju, C.A.V., Manoppo, F.J. and Ticoh, J.H., 2019. Analisis Potensi Likuifaksi (Studi Kasus: Pltu Area Gorontalo). *Jurnal Sipil Statik*, 7(9).
- Wicaksono, V.P., 2023. Pemodelan Potensi Longsor Lereng Pada Ruas-Ruas Jalan Di Wilayah Kota Semarang (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).