

ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA N-SPT PADA KAWASAN IKN KALIMANTAN TIMUR

Tiffani Artamevia, Laily Endah Fatmawati, Andi Patriardi

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
tiffaniarta@gmail.com; lailyendah@untag-sby.ac.id; andipatriadi@untag-sby.ac.id

Abstrak

Pembangunan Ibu Kota Negara (IKN) di Kalimantan Timur menghadirkan tantangan geoteknik, terutama terkait potensi terjadinya likuifaksi akibat kondisi tanah yang bervariasi dan aktivitas seismik di wilayah tersebut. Likuifaksi merupakan fenomena hilangnya kekuatan geser tanah akibat peningkatan tekanan air pori selama guncangan gempa, yang menyebabkan tanah jenuh air berperilaku seperti fluida dan dapat membahayakan struktur di atasnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi likuifaksi di kawasan IKN ketika terjadinya gempa pada kekuatan 7,0 SR. Metode yang digunakan adalah analisis nilai safety factor (SF) yang didapatkan dengan membandingkan nilai cyclic resistance ratio (CRR) dan cyclic stress ratio (CSR) dengan menggunakan parameter tanah yang berasal dari data borlog standart penetration test (SPT). Suatu tanah akan terlikuifaksi apabila memiliki nilai SF kurang dari satu dan tidak terlikuifaksi apabila nilainya lebih atau sama dengan satu. Berdasarkan hasil analisis likuifaksi dengan mengambil nilai percepatan gempa rata-rata sebesar 0.58 g diperoleh hasil bahwa seluruh kawasan IKN memiliki potensi untuk mengalami likuifaksi pada kedalaman rata-rata antara 0 meter sampai 8 meter.

Kata Kunci: Likuifaksi, Safety Factor, Standart Penetration Test (SPT).

I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki keanekaragaman jenis tanah akibat pengaruh letak geologis dan aktivitas vulkanik. Tanah vulkanik yang subur mendominasi daerah sekitar gunung api seperti Jawa dan Sumatera, sementara tanah alluvial dari endapan sungai ditemukan di delta-delta besar[1].

Tanah lunak memiliki sifat konsistensi lunak hingga sangat lunak, dengan kadar air yang tinggi (biasanya 80-100%), batas cair yang tinggi (80-110%), dan batas plastis yang relatif rendah (30-45%) [2]. Tanah lempung lunak umumnya terdiri dari lempung dan lanau, yang memiliki gaya geser rendah, kemampatan tinggi, dan koefisien permeabilitas rendah, sehingga daya dukungnya sangat rendah[3]. Tanah lunak juga rentan terhadap fenomena likuifaksi, terutama pada tanah berpasir jenuh air dengan kepadatan rendah. Guncangan seismik dapat memicu likuifaksi, ditandai dengan penurunan nilai N-SPT, peningkatan tekanan air pori, dan kehilangan kekuatan geser tanah[4]. Likuifaksi adalah fenomena hilangnya kekuatan tanah akibat guncangan gempa, yang menyebabkan tanah granular jenuh air berperilaku seperti cairan. Proses ini terjadi ketika tekanan air dalam pori-pori tanah meningkat akibat getaran seismik, sehingga mengurangi tegangan efektif tanah hingga mendekati nol. Akibatnya, tanah kehilangan kekuatannya dan tidak mampu menopang beban di atasnya[5]. Beberapa area di IKN memiliki tanah lunak yang berpotensi mengalami likuifaksi. Tanah di daerah kawasan Ibu Kota Negara (IKN) di Kalimantan Timur, tepatnya di sebagian Kabupaten Penajam Paser Utara dan Kabupaten Kutai

Kartanegara pada penelitian Arianto, 2020 diketahui bahwa pada area tersebut merupakan hasil endapan sungai dan pantai, yang perlu diwaspadai karena menunjukkan nilai uji sondir yang lebih rendah, mengalami penurunan tanah paling tinggi, dan memiliki potensi besar terhadap likuifaksi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

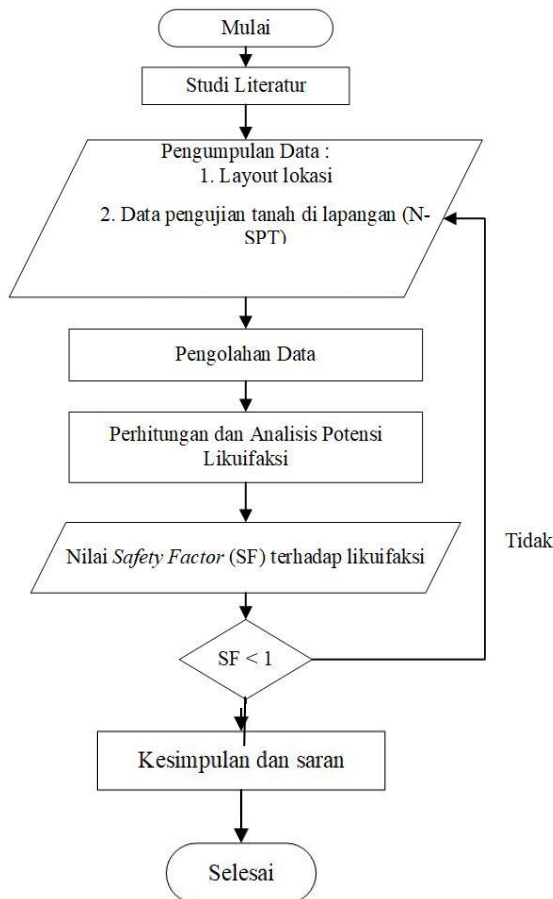
Likuifaksi adalah fenomena geoteknik di mana tanah jenuh air kehilangan kekuatan dan kekakuannya akibat beban siklik seperti gempa bumi, sehingga tanah berperilaku seperti cairan. Kondisi ini menyebabkan berkurangnya daya dukung tanah dan berisiko menimbulkan kerusakan struktural. Oleh karena itu, identifikasi zona rawan dan penerapan strategi mitigasi seperti perbaikan tanah sangat diperlukan [6]. Likuifaksi terjadi pada tanah non-kohefif jenuh air seperti pasir atau lanau dengan muka air tanah dangkal, dan biasanya dipicu oleh gempa bermagnitudo $\geq 5,0$ SR. Guncangan gempa menyebabkan peningkatan tekanan air pori yang melebihi kekuatan gesek tanah, sehingga daya dukung tanah hilang. Evaluasi bahaya likuifaksi juga mempertimbangkan fenomena seperti *flow liquefaction* dan *cyclic mobility*, serta dapat dianalisis menggunakan indeks seperti LPI, LSI, dan LRI berdasarkan karakteristik tanah, kedalaman air tanah, dan parameter gempa[7].

Likuifaksi terjadi pada tanah pasir lepas yang jenuh air ketika gempa menyebabkan peningkatan tekanan air pori hingga melebihi tegangan efektif. Akibatnya, kekuatan geser antar partikel pasir menurun, tanah melunak, dan kehilangan kemampuan menopang beban. Dalam kondisi

ekstrem, tegangan efektif dapat mendekati nol, menjadikan tanah berperilaku seperti cairan, yang menyebabkan bangunan amblas atau miring. Setelah gempa mereda, partikel pasir akan mengendap kembali dan secara bertahap memulihkan kekuatan gesernya [8].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data bore log pada kawasan IKN Kalimantan Timur sebagai data primer dan juga data dari Desain Spektra Indonesia Puskim PU sebagai data sekundernya.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Diambil perhitungan pada kedalaman 0,00-2,50 m. Menggunakan nilai percepatan gempa berdasarkan analisis seismic hazard gempa dan site specific response spectra gempa untuk wilayah Penajam dimana percepatan gempa di permukaan yang dihasilkan adalah 0.2 g - 0.58 g (g= Percepatan gravitasi) [9].

1. Data SPT
 Jenis tanah : Pasir Lanauan
 Kedalaman Lapisan : 2,5 m
 Muka Air Tanah : 0,5 m
 N-SPT : 4
 Percepatan gempa (α_{max}) : 0,58 g

2. Tegangan total σ
 $\sigma_v = h \times \gamma_t$
 $= 2,5 \text{ m} \times 16 \text{ kN/m}^3$
 $= 40 \text{ kN/m}^2$
3. Tegangan efektif σ'
 $\sigma'v = (h \times \gamma_t) + (h \times (\gamma_{sat} - \gamma_w))$
 $= (0,5 \text{ m} \times 16 \text{ kN/m}^3) + (2 \text{ m} \times (16 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3))$
 $= 20,38 \text{ kN/m}^2$

Tabel 1. Tegangan vertikal total tanah dan tegangan efektif tanah

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT	γ kN/m ³	γ_w kN/m ³	σ_v kN/m ²	$\sigma'v$ kN/m ²
0		4	16	9,81	0	0,00
2,5	Pasir Lanauan	4	16	9,81	40	20,38
4		5	15	9,81	60	26,17
6		5	15	9,81	90	36,05
8		7	15	9,81	120	46,43
10	Lempung Pasiran	16	18,5	9,81	185	90,06
12		23	21	9,81	252	137,94
14		29	21	9,81	294	161,57
16		34	21	9,81	336	183,95
18		42	21	9,81	378	206,33
20		52	21	9,81	420	228,71
22		60	21	9,81	462	251,09
24	Batu Lempung	>60	21	9,81	504	273,47
26		>60	21	9,81	546	295,85
28		>60	21	9,81	588	318,23
30		>60	21	9,81	630	340,61

Pada Tabel 1 disajikan data parameter tanah yang meliputi kedalaman, jenis tanah, nilai N-SPT, berat volume tanah total (γ), berat volume air (γ_w), tegangan overburden total (σ_v), dan tegangan efektif ($\sigma'v$).

4. Perhitungan Stress Reduction Factor
 Kedalaman = 0,00 – 2,50 m
 Kedalaman yang akan ditinjau (z)= 2,50 m
 $\alpha(z) = -1,012 - 1,126 \sin \left[\frac{z}{11,73} + 5,133 \right]$
 $= -1,012 - 1,126 \sin \left[\frac{2,5}{11,73} + 5,133 \right]$
 $= -0,195$
 $\beta(z) = 0,106 + 0,118 \sin \left[\frac{z}{11,28} + 5,142 \right]$
 $= 0,106 + 0,118 \sin \left[\frac{2,5}{11,28} + 5,142 \right]$
 $= 0,00185$
 $r_d = \exp [\alpha(z) + \beta(z)M]$
 $= \exp [-0,195(2,5) + 0,00185(2,5)7]$
 $= 0,85$

Maka nilai r_d pada kedalaman 2,50 m adalah 0,85.

Tabel 2. Hasil perhitungan stress reduction factor

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT	α	β	r_d
0		4	-0,074	0,006	1,00
2,5	Pasir Lanauan	4	-0,195	0,019	0,85
4		5	-0,287	0,028	0,70
6		5	-0,431	0,043	0,46
8		7	-0,594	0,060	0,25
10	Lempung Pasiran	16	-0,772	0,078	0,11
12		23	-0,959	0,097	0,04
14		29	-1,151	0,117	0,01
16		34	-1,341	0,136	0,00
18		42	-1,524	0,154	0,00
20		52	-1,695	0,171	0,00
22		60	-1,849	0,186	0,00
24	Batu Lempung	>60	-1,981	0,198	0,00
26		>60	-2,088	0,207	0,00
28		>60	-2,166	0,213	0,00
30		>60	-2,213	0,216	0,00

Pada Tabel 2 disajikan parameter-parameter yang digunakan dalam perhitungan koefisien reduksi tegangan gempa (r_d) pada setiap kedalaman tanah. Nilai-nilai parameter seperti N-SPT, konstanta α dan β berperan dalam menentukan besarnya nilai r_d .

- 5. Perhitungan CSR berdasarkan Desain Spektra Indonesia PuskimPU
 Kedalaman = 0,00 – 2,50 m
 Kedalaman yang akan ditinjau = 2,50 m
 α_{max} = 0,58 g
 $\sigma'v$ = 20,38 kN/m²
 σv = 40 kN/m²
 r_d = 0,85

Rumus cyclic stress ratio :

$$CSR = 0,65 \left(\frac{\sigma'v}{\sigma'v_0} \right)^{\alpha_{max}} \frac{r_d}{g}$$

$$CSR = 0,65 \left(\frac{40 \text{ kN/m}^2}{20,38 \text{ kN/m}^2} \right)^{0,58} \frac{0,85}{g}$$

$$= 0,63$$

Tabel 3. Hasil perhitungan CSR

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT	σv kN/m ²	$\sigma'v$ kN/m ²	g	α_{max}	r_d	CSR
0	Pasir Lanauan	4	0	0,00	9,81	0,58	1,00	0,00
2,5		4	40	20,38	9,81	0,58	0,85	0,63
4	Lempung Pasiran	5	60	26,17	9,81	0,58	0,70	0,60
6		5	90	36,05	9,81	0,58	0,46	0,43
8		7	120	46,43	9,81	0,58	0,25	0,24
10		16	185	90,06	9,81	0,58	0,11	0,08
12		23	252	137,94	9,81	0,58	0,04	0,02
14		29	294	161,57	9,81	0,58	0,01	0,01
16		34	336	183,95	9,81	0,58	0,00	0,00
18		42	378	206,33	9,81	0,58	0,00	0,00
20		52	420	228,71	9,81	0,58	0,00	0,00
22		60	462	251,09	9,81	0,58	0,00	0,00
24	Batu Lempung	>60	504	273,47	9,81	0,58	0,00	0,00
26		>60	546	295,85	9,81	0,58	0,00	0,00
28		>60	588	318,23	9,81	0,58	0,00	0,00
30		>60	630	340,61	9,81	0,58	0,00	0,00

Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 3, diperoleh nilai CSR (Cyclic Stress Ratio) pada masing-masing kedalaman, yang dihitung berdasarkan parameter-parameter seperti nilai N-SPT, tegangan total (σv) dan tegangan efektif ($\sigma'v$), percepatan gravitasi (g), percepatan maksimum gempa (α_{max}), serta koefisien reduksi tegangan (r_d).

- 6. Faktor koreksi $(N_1)_{60}$
 $C_N = \frac{2,2}{(1,2 + \frac{\sigma'v}{Pa})}$
 $= \frac{2,2}{(1,2 + \frac{20,38}{101,325})}$
 $= 1,57$
 $C_E = 1; C_R = 0,75; C_B = 1; C_5 = 1$
 $(N_1)_{60} = C_N C_E C_R C_B C_5 N_M$
 $= 1,57 \times 1 \times 0,75 \times 1 \times 1 \times 095$
 $= 1,49$

Maka nilai $(N_1)_{60}$ pada kedalaman 2,50 m adalah 1,18.

- 7. Perhitungan nilai $(N_1)_{60cs}$
 Kedalaman = 0,00 – 2,50 m
 Kedalaman yang akan ditinjau = 2,50 m
 $(N_1)_{60} = 1,49$
 $\Delta(N_1)_{60} = \left(1,63 + \frac{9,7}{FC+0,01} - \left(\frac{15,7}{FC+0,01} \right)^2 \right)^{exp}$
 $= \left(1,63 + \frac{9,7}{20+0,01} - \left(\frac{15,7}{20+0,01} \right)^2 \right)^{exp}$
 $= 4,48$
 $(N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60}$
 $= 1,49 + 4,48$
 $= 5,97$
 Maka nilai $(N_1)_{60cs}$ pada kedalaman 2,50 m adalah 5,97.

Tabel 4. Hasil perhitungan $(N_1)_{60}$ dan $(N_1)_{60cs}$

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	C_N	$(N_1)_{60}$	$\Delta(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60cs}$
0	Pasir Lanauan	1,83	1,74	4,48	6,22
2,5		1,57	1,49	4,48	5,97
4	Lempung Pasiran	1,51	1,43	5,51	6,94
6		1,41	1,34	5,51	6,85
8		1,33	1,26	5,51	6,77
10		1,05	1,00	5,51	6,51
12		0,86	0,82	5,51	6,32
14		0,79	0,75	5,51	6,25
16		0,73	0,69	5,58	6,27
18		0,68	0,65	5,58	6,22
20		0,64	0,60	5,58	6,18
22		0,60	0,57	5,58	6,14
24	Batu Lempung	0,56	0,54	5,58	6,11
26		0,53	0,51	5,58	6,08
28		0,51	0,48	5,58	6,06
30		0,48	0,46	5,58	6,03

Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 4 diperoleh nilai koreksi faktor energi pukulan (C_N), nilai $(N_1)_{60}$, $\Delta(N_1)_{60}$ dan $(N_1)_{60cs}$.

- 8. Perhitungan CRR_7
 Kedalaman = 0,00 – 2,50 m
 Kedalaman yang akan ditinjau = 2,50 m
 Magnitudo = 7.0 SR
 $(N_1)_{60cs} = 5,65$
 $\sigma v = 40 \text{ kN/m}^2$
 Pa = 101,325 kPa
 $CRR_{M=7,5 \sigma'v=1atm} = \exp \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{14,1} \right) + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{14,1} \right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{14,1} \right)^3 - \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{14,1} \right)^4 - 2,8$
 $= \exp \left(\frac{5,97}{14,1} \right) + \left(\frac{5,97}{14,1} \right)^2 - \left(\frac{5,97}{14,1} \right)^3 - \left(\frac{5,97}{14,1} \right)^4 - 2,8$
 $= 0,092$

Menghitung nilai *magnitude scaling factors* (MSF) menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}
 MSF &= 6,9 \times \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0,058 \leq 1,8 \\
 &= 6,9 \times \exp\left(\frac{-7}{4}\right) - 0,058 \leq 1,8 \\
 &= 1,14 \leq 1,8
 \end{aligned}$$

Maka nilai MSF memenuhi syarat untuk dilanjutkan perhitungan. Selanjutnya menghitung nilai faktor kerapatan relatif tanah.

$$\begin{aligned}
 f &= 0,831 - \frac{(N_1) \leq 0,5}{160} \\
 &= 0,831 - \frac{5,97}{160} \\
 &= 0,794
 \end{aligned}$$

Maka nilai faktor kerapatan relatif tanah pada kedalaman 2,50 m adalah 0,796. Kemudian dilanjutkan dengan menghitung nilai faktor koreksi *overburden*

$$\begin{aligned}
 K\sigma &= \left(\frac{\sigma_v}{P_a}\right) f \\
 &= \left(\frac{40}{101,325}\right) 0,794 \\
 &= 0,313
 \end{aligned}$$

Maka nilai faktor koreksi *overburden* pada kedalaman 2,50 m adalah 0,318.

Jika ketiga nilai faktor reduksi diatas telah didapatkan maka dapat dilanjutkan dengan menghitung nilai CRR_7 ,

$$\begin{aligned}
 CRR_7 &= CRR_{7,5} \times K\sigma \times MSF \\
 &= 0,092 \times 0,313 \times 1,14 \\
 &= 0,0328
 \end{aligned}$$

Maka nilai CRR_7 pada kedalaman 2,50 m adalah 0,0327.

- Perhitungan *safety factor*
 Perhitungan *safety factor* dengan magnitudo 7.0 SR
 Kedalaman = 0,00 – 2,50 m
 Kedalaman yang akan ditinjau = 2,50 m
 CSR = 0,063
 $CRR_7 = 0,0328$

Digunakan persamaan, yaitu :

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{CRR}{CSR} \\
 &= \frac{0,0328}{0,063} \\
 &= 0,052 < 1 \\
 &\text{(mengalami likuifaksi)}
 \end{aligned}$$

Tabel 5. Rekapitulasi perhitungan potensi likuifaksi

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	CRR	CSR	SF	Potensi Likuifaksi
0	Pasir Lanauan	0,0000	0,00	0,000	L
2,5		0,0328	0,63	0,052	L
4		0,0521	0,60	0,086	L
6		0,0777	0,43	0,179	L
8		0,1031	0,24	0,427	L
10	Lempung Pasiran	0,1566	0,08	1,895	NL
12		0,2111	0,02	8,482	NL
14		0,2454	0,01	37,304	NL
16		0,2806	0,00	203,045	NL
18	Batu Lempung	0,3149	0,00	1350,857	NL
20		0,3490	0,00	10752,388	NL
22		0,3831	0,00	98745,317	NL
24		0,4172	0,00	999231,330	NL
26		0,4512	0,00	10553201,899	NL
28		0,4852	0,00	109456952,484	NL
30		0,5192	0,00	1044228834,392	NL

Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 5 mengenai hasil perhitungan potensi likuifaksi, diketahui bahwa pada kedalaman 0-8 meter terjadi likuifaksi dengan nilai *safety factor* < 1. Pada kedalaman 10-30 tidak terjadi likuifaksi dengan nilai *safety factor* > 1.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh bahwa lapisan tanah yang mengalami likuifaksi didapatkan pada kedalaman 0,00-8,00 meter dengan nilai *safety factor* < 1. Pada kedalaman 10-30 tidak terjadi likuifaksi dengan nilai *safety factor* > 1.

5.2 Saran

Dari hasil yang didapatkan bahwa banyak kedalaman yang memiliki potensi likuifaksi, sehingga dibutuhkan sebuah usaha dalam perbaikan tanah yang dapat berupa pemadatan lahan, perbaikan tanah dengan menggunakan kolom-batu (*stone colum*), *vibroflotatin*, *deep dynamic compaction*, *compacting grouting*, *deep soil mixing* maupun *jet grouting* yang tentunya dipadukan dengan pembuatan saluran drainase yang efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- S. Umira, 2025, *Ciri-ciri tanah di Indonesia,* LMS SPADA INDONESIA. Accessed: Mar. 12, 2025. [Online]. Available: <https://lmsspada.kemdiktisaintek.go.id/mod/forum/discuss.php?d=29683>
- Geoguard, 2025, *Pengertian Tanah Lunak, Klasifikasi dan Cara Memperbaikinya,* Geoguard. Accessed: Mar. 12, [Online]. Available: <https://www.geoguard.co.id/blog/item/46/Pengertian-Tanah-Lunak-Klasifikasi-dan-Cara-Memperbaikinya>
- H. N. Siska and Y. A. Yakin, 2016, *Karakterisasi sifat fisis dan mekanis tanah lunak di Gedebage,* J. Tek. Sipil Itenas, vol. 2, no. 4, pp. 44–55, 2016, [Online]. Available: <https://ejurnal.itenas.ac.id/index.php/rekaracana/article/view/1143>

- [4] Mariyana, 2021, *Studi Perbandingan Perilaku Tanah Lunak Dan Tanah Lunak yang Diperbaiki dengan PVD Pada Konstruksi Jalan Kota Bandung dengan Menggunakan Analisa Finite Elemen*, Pharmacogn. Mag., vol. 75, no. 17, pp. 399–405, 2021.
- [5] S. Bardono, 2025, *Likuifaksi Membuat Tata Guna Lahan Berubah*, Technologyindonesia.id. Accessed: Mar. 09, 2025. [Online]. Available: <https://technologyindonesia.id/pertanian-dan-pangan/inovasi-pertanian/likuifaksi-membuat-tata-guna-lahan-berubah/>
- [6] Admin, 2025, *Apa itu Liquefaction atau Likuifaksi?*, sipil.uma.ac.id. Accessed: Mar. 10, 2025. [Online]. Available: <https://sipil.uma.ac.id/apa-itu-liquefaction-atau-likuifaksi/>
- [7] E. Mina, R. Indera Kusuma, and A. Muzaky, 2022, *Analisis potensi likuifaksi berdasarkan data penyelidikan tanah standard penetration test (SPT)*, vol. 16, no. 01, pp. 128–135, 2020, [Online]. Available: <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/ju-tek/>
- [8] H. Subakti and W. Renagustiarini, 2022, *Analisis Potensi Likuifaksi menggunakan Data Kecepatan Gelombang Geser (V_s)*, Prog. J. Geofis., vol. 1, no. 1, pp. 1–21, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.stmkg.ac.id/index.php/pjg/article/view/264%0Ahttps://jurnal.stmkg.ac.id/index.php/pjg/article/download/264/161>
- [9] M. I. Tawakal, 2022, *Identifikasi Bahaya Gempabumi Kalimantan Timur Menggunakan Metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun (500 Tahun)*, Bul. Meteorol. Klimatologi, dan Geofis., vol. 2, no. 2, pp. 18–25, 2022.