

ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA SPT PADA PROYEK PEMBANGUNAN MENARA BRI KOTA MEDAN

Reni Anggraini¹, Rudianto Surbakti²

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Medan Area

Email: strenianggraini@gmail.com

²Program Studi Manajemen Rekayasa Konstruksi gedung, Politeknik Negeri Medan

Abstrak. Likuifaksi merupakan suatu perubahan sifat tanah dari padat hingga menjadi cair sehingga dapat menyebabkan bencana besar seperti runtuhnya bangunan kedalam tanah. Dalam hal ini Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan menjadi lokasi penelitian potensi likuifaksi menggunakan data uji SPT dan perhitungan dilakukan menggunakan gabungan antara metode Youd Idriss (2001) dan Idriss-Bowlanger (2008). Penelitian ini dilakukan dengan maksud untuk menganalisis potensi likuifaksi pada Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan menggunakan data SPT berdasarkan data riwayat gempa yang terjadi di Sumatera Utara dalam rentang waktu 50 tahun kebelakang. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui pada gempa dengan magnitudo berapakah lapisan tanah pada lokasi tersebut akan mengalami likuifaksi serta untuk mengetahui perbandingan nilai *safety factor* potensi likuiefaksi pada tiap-tiap lapisan tanah menggunakan referensi nilai percepatan gempa dasar berdasarkan SNI 03-1726-2002 dan Desain Spektra Indonesia PuskimPU. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pada lokasi tersebut memiliki potensi likuifaksi pada titik BH.01 dengan kedalaman 01.00 – 01.45 m jika terjadi gempa berkekuatan 8,0 SR.

Kata kunci: Likuifaksi, Kota Medan, *Standart Penetration Test*

Diterima Redaksi: 26-04-2023 | Selesai Revisi: 26-04-2025 | Diterbitkan *Online*: 31-05-2023

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan wilayah yang terletak di antara pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu Lempeng Pasifik, Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia. Atas kondisi tersebut, Indonesia kemudian mendapat julukan sebagai negara yang berada di lingkaran *ring of fire* atau barisan gunung api sehingga menyebabkan Indonesia menjadi rawan terhadap bencana alam gempa bumi. Peristiwa gempa bumi yang terjadi di wilayah Indonesia dapat menyebabkan berbagai kerusakan terutama pada struktur bangunan. Kerusakan-kerusakan tersebut salah satunya adalah kerusakan susulan (*secondary damage*) (Amri, 2010).

Likufaksi merupakan proses berubahnya sifat tanah yang awalnya padat menjadi cair dan dapat terjadi pada jenis tanah pasir. Likuifaksi sendiri dapat menyebabkan runtuhnya bangunan kedalam tanah. Likuifaksi dapat dianalisis potensinya dengan menggunakan perhitungan yang dikemukakan oleh (Idriss, 1982). Dalam perhitungan tersebut digunakan data *standart penetration test* (SPT) sebagai landasan perhitungan. Dalam pembangunan Menara BRI Kota Medan, ditemukan pada laporan uji SPT bahwa mayoritas tanah pada area tersebut merupakan tanah pasir dan lanau. Lokasi proyek tersebut berada di tengah-tengah kota namun tidak menutup kemungkinan terjadinya peristiwa likuifaksi yang diakibatkan oleh gempa.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan dengan maksud untuk menganalisis potensi likuifaksi pada

Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan khususnya pada titik BH.01 menggunakan data SPT berdasarkan data riwayat gempa yang terjadi di Sumatera Utara dalam rentang waktu 50 tahun kebelakang serta bertujuan untuk mengetahui pada gempa dengan magnitudo berapakah lapisan tanah pada lokasi tersebut akan mengalami likuifaksi serta untuk mengetahui perbandingan nilai *safety factor* potensi likuiefaksi pada tiap-tiap lapisan tanah menggunakan referensi nilai percepatan gempa dasar berdasarkan SNI 03-1726-2002 dan Desain Spektra Indonesia PuskimPU.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di tengah-tengah Kota Medan yaitu pada area Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan seperti yang terlihat pada Gambar 1 di bawah ini.



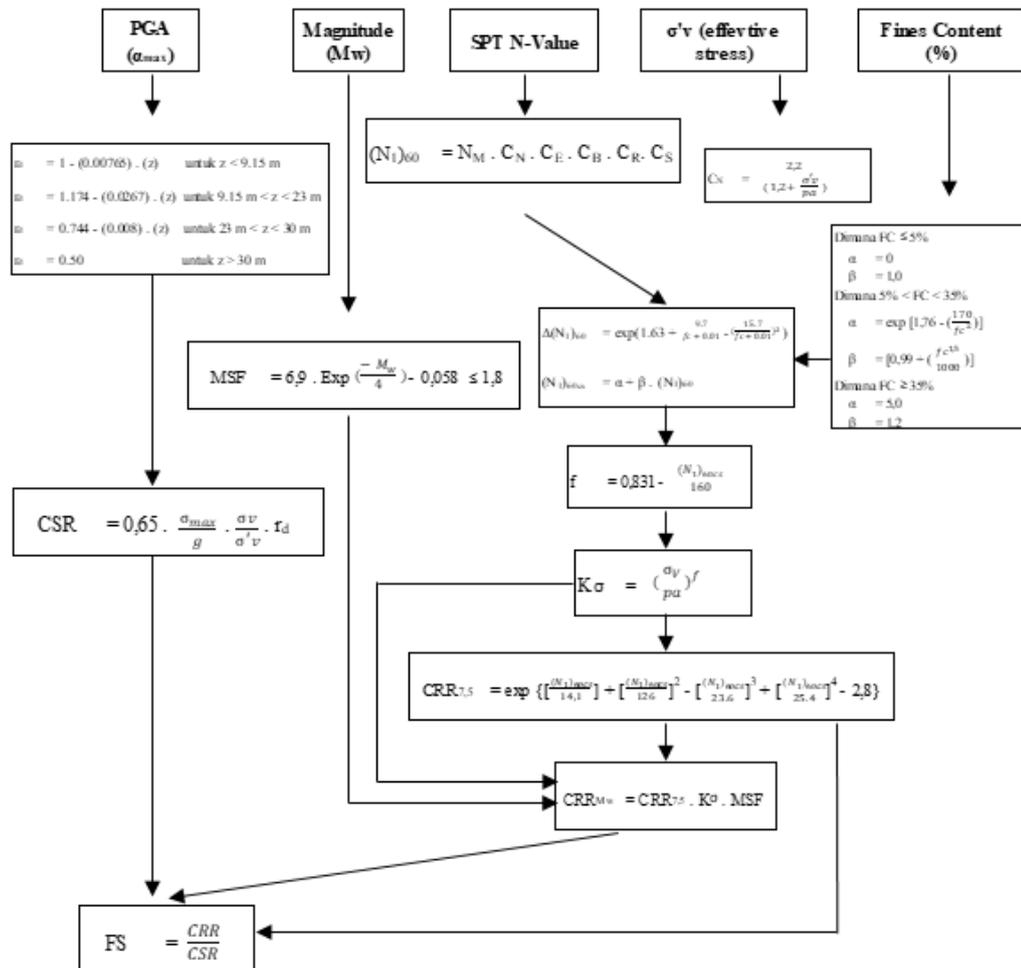
Gambar 1: Peta Lokasi Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan

Teknik Pengumpulan Data

Terdapat 2 macam cara dalam pengumpulan data penelitian ini, yaitu data primer berupa data-data aktual yang diambil langsung dari lapangan dan data sekunder yaitu merupakan data yang diperoleh secara tidak langsung yaitu berupa referensi jurnal, *website* PuskimPU dan SNI 03-1726-2002 sebagai referensi nilai *peak ground acceleration* (PGA) serta data *soil investigation* yaitu berupa data uji *standart penetration test* (Badan Standardisasi Nasional, 2008).

Alur Perhitungan

Dalam menganalisis potensi likuifaksi pada Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan digunakan metode perhitungan Youd-Idriss (2001) dan Idriss Boulanger (2008) pada Gambar 2. Pada metode tersebut akan dihitung nilai tegangan tanah dengan mengkorelasi berat isi tanah dengan *finer content* berdasarkan USCS *classification system* (California Department of Transportation, 2016), $(N_1)_{60}$, $(N_1)_{60cs}$, percepatan gempa dasar (PGA) yang diambil berdasarkan referensi Desain Spektra Indonesia PuskimPU dan SNI 03-1726-2002 (BSN, 2002), *stress reduction factor* (r_d), *cyclic stress ratio* (CSR), *cyclic resistance ratio* (CRR) dan *factor of safety* (FS). Jika nilai FS pada akhir perhitungan $>1,0$ maka tanah tersebut aman terhadap likuifaksi, jika nilai tersebut sama dengan 1,0 maka tanah tersebut termasuk dalam kondisi kritis, dan jika nilai FS $<1,0$ maka tanah tersebut terdapat potensi likuifaksi.



Gambar 2: Alur Perhitungan (Anggraini, 2023).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi Potensi Likuifaksi

Sebelum melakukan perhitungan, sebaiknya pada lokasi tersebut perlu dilakukan evaluasi pada persyaratan-persyaratan potensi likuifaksi. Adapun evaluasi potensi likuifaksi pada suatu lokasi dapat dilakukan seperti pada Tabel 1. di bawah ini.

Tabel 1: Hasil Analisis Data (Anggraini, 2023).

Syarat Terjadinya Likuifaksi	Titik Bore Hole
	BH.01
Lapisan Tanah berupa Pasir (<i>sand</i>) atau Lanau (<i>silt</i>)	✓
Lapisan Tanah Jenuh Air	✓
Muka Air Tanah < 10 m, pada BH.01 = - 1.90 m	✓
Terjadi Gempa dengan Magnitudo > 5,0 SR	✓
Nilai <i>Peak Ground Acceleration</i> > 0,1 g	
- Berdasarkan Desain Spektra Indonesia Puskim PU = 0,3030 g	✓
- Berdasarkan SNI 01-1726-2002 = 0,15 g	✓

Kode : ✓ Memenuhi Syarat
 x Tidak Memenuhi Syarat

Perhitungan Identifikasi Likuifaksi

Pada Gambar 2. sebelumnya terdapat bagan alur penelitian dalam menghitung analisis potensi likuifaksi. Perhitungan-perhitungan tersebut meliputi tegangan tanah, $(N_1)_{60}$ dan $(N_1)_{60cs}$, *peak ground acceleration* (PGA), *cyclic stress ratio*, *cyclic resistance ratio* dan nilai *factor of safety*.

Perhitungan Tegangan Tanah

Perhitungan yang dilakukan merupakan perhitungan pada titik BH.01 dengan lapisan 01.00 - 01.45 m atau kedalaman 1.45 m. Tegangan tanah pada kedalaman dapat dihitung menggunakan rumus di bawah ini :

$$\begin{aligned}\sigma_v &= \sum (\gamma \cdot z) \\ &= 18.8 \text{ kN/m}^3 \times 1.45 \text{ m} &&= 27.26 \text{ kN/m}^2 \\ \sigma'_v &= \sigma_v - \mu \\ &= 27.26 \text{ kN/m}^2 - 14.22 \text{ kN/m}^2 &&= 13.04 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Dimana :

- σ_v = Tegangan total tanah
- σ'_v = Tegangan vertikal efektif tanah
- μ = Tekanan air pori tanah

Perhitungan $(N_1)_{60}$ dan $(N_1)_{60cs}$

Perhitungan $(N_1)_{60}$ dan $(N_1)_{60cs}$ dapat menggunakan rumus di bawah ini:

$$\begin{aligned}(N_1)_{60} &= N_m C_N C_E C_B C_R C_S \\ &= 3.0 \times 1.65 \times 0.85 \times 1.05 \times 0.80 \times 1.0 = 3.54 \\ \Delta(N_1)_{60} &= \exp\left(1.63 + \frac{9.7}{FC+0.01} - \left(\frac{15.7}{FC+0.01}\right)^2\right) \\ &= \exp\left(1.63 + \frac{9.7}{50+0.01} - \left(\frac{15.7}{50+0.01}\right)^2\right) = 6.16 \\ (N_1)_{60cs} &= (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60} \\ &= 3.54 + 6.16 = 9.70\end{aligned}$$

Peak Ground Acceleration (PGA)

Untuk metode perhitungan menggunakan nilai referensi *peak ground acceleration* (PGA) berdasarkan SNI 03-1726-2002 untuk wilayah Kota Medan yaitu 0,15 g dan Desain Spektra Indonesia PuskimPU yaitu 0,3030 g.

Perhitungan Stress Reduction Factor (rd)

Perhitungan *stress reduction factor* dapat digunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned}rd &= 1 - (0.00765) \cdot (z) \\ &= 1 - (0.00765) \times (1.45) = 0.989\end{aligned}$$

Dimana :

rd = Faktor reduksi terhadap tegangan

z = Kedalaman tanah

Perhitungan *Cyclic Stress Ratio* Berdasarkan SNI 03-1726-2002

Perhitungan *cyclic stress ratio* dapat digunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned} \text{CSR} &= 0.65 \cdot \frac{\alpha_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d \\ &= 0.65 \times \frac{0.15}{9.81} \times \frac{27.26}{13.04} \times 0.989 = 0.02055 \end{aligned}$$

Perhitungan *Cyclic Stress Ratio* Berdasarkan PuskimPU

Perhitungan *cyclic stress ratio* dapat digunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned} \text{CSR} &= 0.65 \cdot \frac{\alpha_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d \\ &= 0.65 \times \frac{0.3030}{9.81} \times \frac{27.26}{13.04} \times 0.989 = 0.04152 \end{aligned}$$

Perhitungan *Cyclic Resistance Ratio* Berdasarkan SNI 03-1726-2002

Perhitungan *cyclic resistance ratio* pada magnitudo 7,5 SR dapat digunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned} \text{CRR}_{7,5} &= \exp \left\{ \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{14,1} \right] + \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{126} \right]^2 - \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{23,6} \right]^3 + \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{25,4} \right]^4 - 2,8 \right\} \\ &= \exp \left\{ \left[\frac{9,70}{14,1} \right] + \left[\frac{9,70}{126} \right]^2 - \left[\frac{9,70}{23,6} \right]^3 + \left[\frac{9,70}{25,4} \right]^4 - 2,8 \right\} = 0.1160 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan CRR dengan magnitudo selain 7,5 SR, nilai MSF, f, dan K_σ harus dihitung terlebih dahulu. Nilai MSF harus lebih kecil dari 1.8 agar dapat perhitungan dapat dilanjutkan.

Untuk perhitungan CRR pada magnitudo 6,0 SR dapat digunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned} \text{MSF} &= 6.9 \cdot \exp \left(\frac{-M_w}{4} \right) - 0,058 \leq 1,8 \\ &= 6.9 \times \exp \left(\frac{-6}{4} \right) - 0,058 \leq 1,8 = 1.48 \leq 1,8 \\ f &= 0,831 - \frac{(N_1)_{60cs}}{160} \\ &= 0,831 - \frac{9,70}{160} = 0.7704 \\ K_\sigma &= \left(\frac{\sigma_v}{p_a} \right)^f \\ &= \left(\frac{27.26}{100} \right)^{0.7704} = 0.3674 \\ \text{CRR}_6 &= \text{CRR}_{7,5} \cdot K_\sigma \cdot \text{MSF} \\ &= 0.1160 \times 0.3674 \times 1.48 = 0.0631 \end{aligned}$$

Dimana :

MSF = *Magnitude scalling factors*

f = Faktor kerapatan relatif tanah

$K\sigma$ = Faktor koreksi *overburden*

Nilai MSF, f, dan $K\sigma$ harus dihitung mengikuti nilai magnitudo masing-masing gempa. Jika menghitung nilai MSF, f, dan $K\sigma$ pada magnitudo 6,0 SR maka hasil perhitungannya hanya dapat digunakan pada perhitungan CRR_6 .

$$\begin{aligned} CRR_7 &= CRR_{7,5} \cdot K\sigma \cdot MSF \\ &= 0.1160 \times 0.3674 \times 1.14 &= 0.0486 \\ CRR_8 &= CRR_{7,5} \cdot K\sigma \cdot MSF \\ &= 0.1160 \times 0.3674 \times 0.88 &= 0.0373 \end{aligned}$$

Perhitungan *Cyclic Resitance Ratio* Berdasarkan PuskimPU

Perhitungan *cyclic resistance ratio* pada magnitudo 7,5 SR dapat digunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned} CRR_{7,5} &= \exp \left\{ \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{14,1} \right] + \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{126} \right]^2 - \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{23,6} \right]^3 + \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{25,4} \right]^4 - 2,8 \right\} \\ &= \exp \left\{ \left[\frac{9,70}{14,1} \right] + \left[\frac{9,70}{126} \right]^2 - \left[\frac{9,70}{23,6} \right]^3 + \left[\frac{9,70}{25,4} \right]^4 - 2,8 \right\} = 0.1160 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan CRR pada magnitudo 6,0 SR dapat digunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned} MSF &= 6.9 \cdot \exp \left(\frac{-M_w}{4} \right) - 0,058 \leq 1,8 \\ &= 6.9 \times \exp \left(\frac{-6}{4} \right) - 0,058 \leq 1,8 &= 1.48 \leq 1,8 \\ f &= 0,831 - \frac{(N_1)_{60cs}}{160} \\ &= 0,831 - \frac{10,49}{160} &= 0.7654 \\ K\sigma &= \left(\frac{\sigma_v}{pa} \right)^f \\ &= \left(\frac{59.69}{100} \right)^{0.7654} &= 0.6737 \\ CRR_6 &= CRR_{7,5} \cdot K\sigma \cdot MSF \\ &= 0.1215 \times 0.6737 \times 1.48 &= 0.1213 \end{aligned}$$

Selanjutnya dapat dihitung CRR dengan magnitudo 7,0 SR dan 8,0 SR.

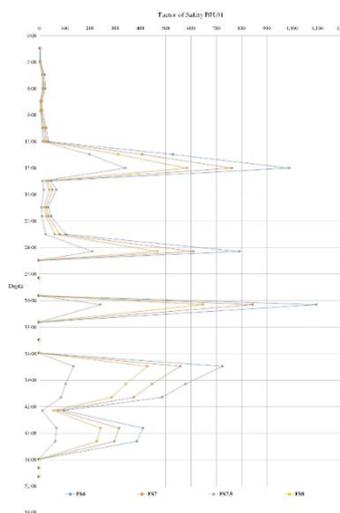
$$\begin{aligned} CRR_7 &= CRR_{7,5} \cdot K\sigma \cdot MSF \\ &= 0.1215 \times 0.6737 \times 1.14 &= 0.0934 \\ CRR_8 &= CRR_{7,5} \cdot K\sigma \cdot MSF \\ &= 0.1215 \times 0.6737 \times 0.88 &= 0.0717 \end{aligned}$$

Perhitungan *Factor of Safety* Berdasarkan SNI 03-1726-2002

Untuk perhitungan FS harus digunakan sesuai dengan masing-masing magnitudo yang telah dihitung sebelumnya. Perhitungan *factor of safety* dapat digunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 FS_6 &= \frac{CRR}{CSR} = \frac{0.0631}{0.0206} = 3.0717 \geq 1 \quad \dots\dots \text{Tidak mengalami likuifaksi} \\
 FS_7 &= \frac{CRR}{CSR} = \frac{0.0486}{0.0206} = 2.3656 \geq 1 \quad \dots\dots \text{Tidak mengalami likuifaksi} \\
 FS_{7.5} &= \frac{CRR}{CSR} = \frac{0.1160}{0.0206} = 5.6430 \geq 1 \quad \dots\dots \text{Tidak mengalami likuifaksi} \\
 FS_8 &= \frac{CRR}{CSR} = \frac{0.0373}{0.0206} = 1.8158 \geq 1 \quad \dots\dots \text{Tidak mengalami likuifaksi}
 \end{aligned}$$

Keseluruhan hasil perhitungan pada tiap-tiap lapisan dapat dilihat pada Gambar 3. di bawah ini:



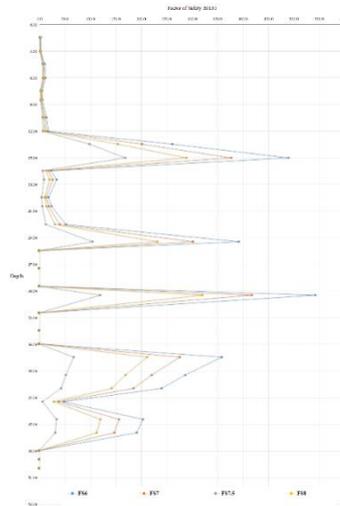
Gambar 3: *Factor of Safety* pada BH.01 Berdasarkan SNI 03-1726-2002

Perhitungan *Factor of Safety* Berdasarkan PuskimPU

Untuk perhitungan FS harus digunakan sesuai dengan masing-masing magnitudo yang telah dihitung sebelumnya. Perhitungan *factor of safety* dapat digunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 FS_6 &= \frac{CRR}{CSR} = \frac{0.0631}{0.0415} = 1.5206 \geq 1 \quad \dots\dots \text{Tidak mengalami likuifaksi} \\
 FS_7 &= \frac{CRR}{CSR} = \frac{0.0486}{0.0415} = 1.1711 \geq 1 \quad \dots\dots \text{Tidak mengalami likuifaksi} \\
 FS_{7.5} &= \frac{CRR}{CSR} = \frac{0.1160}{0.0415} = 2.7935 \geq 1 \quad \dots\dots \text{Tidak mengalami likuifaksi} \\
 FS_8 &= \frac{CRR}{CSR} = \frac{0.0373}{0.0415} = 0.8989 \geq 1 \quad \dots\dots \text{Mengalami likuifaksi}
 \end{aligned}$$

Keseluruhan hasil perhitungan pada tiap-tiap lapisan dapat dilihat pada Gambar 4. di bawah ini:



Gambar 4: *Factor of Safety* pada BH.01 Berdasarkan Puskim PU

Berdasarkan hasil keseluruhan perhitungan, dapat diketahui bahwa Menara BRI Kota Medan tidak berpotensi mengalami keruntuhan karena lapisan yang bergerak hanya lapisan permukaan yaitu pada kedalaman 01.00 – 01.45 m serta lapisan-lapisan lainnya yang telah dihitung masih mampu bertahan dalam menahan beban siklik gempa

4. SIMPULAN

Berdasarkan pada hasil pembahasan sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa bahwasannya lapisan yang mengalami likuifaksi hanya pada kedalaman 01.00 – 01.45 m jika terjadi gempa dengan magnitudo 8,0 SR menggunakan nilai referensi peak ground acceleration PuskimPU. Selain dari lokasi yang disebutkan di atas, lapisan – lapisan lainnya tidak mengalami likuifaksi baik dihitung dengan menggunakan nilai referensi PGA SNI 03-1726-2002 dan PuskimPU jika terjadi gempa dengan magnitudo 6,0 SR, 7,0 SR, 7,5 SR dan 8,0 SR.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Amri, K. (2010). Wilayah Risiko Bencana Gempa Bumi Pada Jalur Patahan Semangko Di Kabupaten Tanah Datar Provinsi Sumatera Barat. *Wilayah Risiko, FMIPA UI*.
- Anggraini, R. (2023). *Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data SPT Pada Proyek Pembangunan Menara BRI Kota Medan*. Universitas Medan Area.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT SNI 4153:2008. Badan Standardisasi Nasional.
- BSN. (2002). SNI 03-1726-2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa. *Badan Standar Nasional*,

7798393(April).

California Department of Transportation. (2016). USCS Classification System. *Journal of Economic Literature*. <http://doi.org/10.1257/jel.54.4.1535>

Idriss, I. M. (1982). *Liquefaction of Soils During Earthquakes*. *NATO Advanced Study Institutes Series, Series C: Mathematical and Physical Sciences* (Vol. 92). <http://doi.org/10.17226/19275>