

# Analisis Modulus Geser Tanah Berdasarkan Data Cone Penetration Test pada Proyek Rumah Sakit Madani Medan

Dwi Jaya Abdinata<sup>1</sup>, Tika Ermita Wulandari<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Sipil, Universitas Medan Area  
Jl. Kolam Nomor 1 Medan Estate, Medan  
E-mail: abdinata29@gmail.com

**Abstract** — This study aims to analyze the shear modulus of soil based on Cone Penetration Test (CPT) data at the construction site of Madani General Hospital in Medan. The shear modulus is a crucial geotechnical parameter that represents the stiffness of soil against shear forces. An empirical approach was used by first calculating the elastic modulus ( $E$ ) from cone resistance ( $qc$ ), followed by computing the shear modulus ( $G$ ) using the linear elasticity equation  $G = E/2(1 + 2\mu)$ , assuming a Poisson's ratio ( $\mu$ ) of 0.3. The value of  $E$  was obtained using the equation  $E = \alpha \cdot qc$  with  $\alpha = 4$ , based on the classification of hard soil. CPT results indicate that hard soil layers were encountered at depths of 9.20 to 11.00 meters, with  $G$  values ranging from 24,026 to 25,004 kPa. Based on these findings, deep foundations (driven piles or bored piles) are recommended to reach the hard soil layer effectively.

**Keywords:** shear modulus; cone penetration test; cone resistance; soil elasticity; deep foundation.

**Abstrak** — Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai modulus geser tanah berdasarkan data Cone Penetration Test (CPT) pada proyek pembangunan Rumah Sakit Umum Madani Medan. Modulus geser merupakan parameter penting dalam geoteknik yang mencerminkan kekakuan tanah terhadap gaya geser. Metode yang digunakan adalah pendekatan empiris dengan menghitung modulus elastisitas ( $E$ ) dari nilai cone resistance ( $qc$ ), kemudian menghitung modulus geser ( $G$ ) menggunakan hubungan elastisitas linier  $G = E/2(1 + 2\mu)$ , dengan asumsi rasio Poisson ( $\mu$ ) sebesar 0,3. Nilai  $E$  diperoleh dari rumus  $E = \alpha \cdot qc$  dengan  $\alpha = 4$ , mengacu pada klasifikasi tanah keras. Hasil pengujian CPT menunjukkan bahwa lapisan tanah keras berada pada kedalaman 9,20 hingga 11,00 meter, dengan nilai  $G$  berkisar antara 24.026 hingga 25.004 kPa. Berdasarkan hasil tersebut, disarankan penggunaan pondasi dalam (tiang pancang atau tiang bor) dengan kedalaman hingga 11 meter untuk mencapai lapisan tanah keras secara optimal.

**Kata-kata kunci:** modulus geser; cone penetration test; cone resistance; elastisitas tanah; pondasi dalam.

## I. PENDAHULUAN

Pondasi merupakan bagian dari struktur bawah bangunan yang berfungsi meneruskan beban dari struktur atas ke tanah pendukung di bawahnya. Dalam merancang suatu sistem pondasi yang aman dan efisien, pemahaman terhadap sifat mekanik tanah sangatlah penting. Salah satu parameter penting yang digunakan untuk menggambarkan kekakuan tanah terhadap deformasi geser adalah modulus geser (*shear modulus*,  $G$ ). Parameter ini digunakan dalam analisis deformasi dan getaran tanah serta dalam desain fondasi dinamis dan gempa.

Modulus geser merupakan bagian dari parameter elastis tanah, dan sangat berkaitan dengan modulus elastisitas ( $E$ ) serta rasio Poisson ( $\mu$ ). Karena pengujian laboratorium seperti triaxial test atau resonant column test memerlukan biaya dan waktu yang tinggi, maka pendekatan berbasis uji lapangan seperti *Cone Penetration Test* (CPT) menjadi alternatif yang efisien. CPT mampu memberikan data secara langsung mengenai kekuatan tanah seperti *cone resistance* ( $qc$ ) dan hambatan lekat (*skin friction*).

Menurut Robertson dan Campanella (1983), CPT sangat efektif untuk mengidentifikasi stratigrafi tanah dan mengestimasi parameter mekanik lainnya secara tidak langsung. Dalam konteks ini, nilai  $qc$  yang diperoleh dari CPT dapat dikorelasikan secara empiris dengan modulus elastisitas dan selanjutnya dengan modulus geser. Oleh karena itu, penelitian ini memanfaatkan data CPT untuk menghitung modulus geser sebagai dasar evaluasi kualitas tanah di lokasi proyek pembangunan Rumah Sakit Umum Madani Medan, dan untuk menentukan jenis pondasi yang sesuai berdasarkan karakteristik lapisan tanah keras yang ditemukan.

Namun demikian, salah satu permasalahan yang muncul adalah bagaimana menghubungkan hasil CPT yang berupa  $qc$  dengan nilai modulus geser ( $G$ ), karena secara langsung nilai  $G$  tidak diperoleh dari uji CPT. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan pendekatan empiris yang didasarkan pada hasil-hasil studi terdahulu, dengan memanfaatkan korelasi antara nilai  $qc$  dengan modulus elastisitas ( $E$ ), dan kemudian

menghitung modulus geser (G) dari E melalui rumus elastisitas.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis nilai modulus geser tanah berdasarkan data CPT dari lokasi proyek Rumah Sakit Madani Medan, dengan terlebih dahulu menentukan nilai modulus elastisitas sebagai dasar perhitungannya. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai karakteristik kekakuan tanah di lokasi tersebut, dan menjadi acuan dalam pemilihan jenis dan dimensi pondasi yang tepat. Penelitian ini juga memperkuat peran uji CPT sebagai salah satu metode yang praktis dan efisien dalam penyelidikan tanah.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Di Indonesia telah dilakukan berbagai penelitian mengenai hubungan antara hasil uji *Cone Penetration Test* (CPT) dengan parameter mekanik tanah seperti modulus elastisitas dan modulus geser. Salah satu penelitian yang relevan adalah oleh Desiani, Wiyono, dan Pramono (2024) dalam Jurnal Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada yang mengkaji pengaruh koefisien  $N_k$  terhadap kuat geser tanah lunak berdasarkan data CPTu. Selain itu, Saputra (2025) dalam Jurnal Komposit menyajikan pendekatan stratifikasi dan klasifikasi tanah berdasarkan grafik hasil uji CPT yang juga digunakan dalam estimasi parameter tanah. Hasil dari kedua penelitian tersebut mengindikasikan bahwa data  $q_c$  dari CPT dapat digunakan secara akurat dalam estimasi parameter kekuatan dan kekakuan tanah di Indonesia, terutama pada kondisi tanah keras dan jenuh air. Dengan dasar teori dan pendekatan dari literatur nasional tersebut, penelitian ini dilakukan untuk memberikan kontribusi terhadap perencanaan fondasi bangunan berdasarkan data lapangan yang representatif.

Mayne dan Kulhawy (1991) juga menyatakan bahwa CPT adalah metode praktis untuk mengestimasi sifat elastik tanah secara tidak langsung. Pendekatan berbasis CPT ini sangat berguna terutama di lokasi proyek yang memerlukan investigasi cepat dan efisien tanpa pengujian laboratorium yang kompleks. Penelitian ini memperkuat pentingnya CPT sebagai alat investigasi utama dalam menentukan parameter tanah yang dibutuhkan untuk perencanaan pondasi yang efektif dan aman, sebagaimana diterapkan dalam studi ini pada proyek Rumah Sakit Madani Medan.

## III. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif menggunakan data primer dari hasil uji *Cone Penetration Test* (CPT) yang diperoleh di lokasi proyek pembangunan Rumah Sakit Madani Medan. Metodologi yang digunakan bertujuan untuk menghitung nilai modulus geser (G) berdasarkan data *cone resistance* ( $q_c$ ) dengan mempertimbangkan korelasi empiris yang telah dikembangkan oleh para peneliti sebelumnya.

*Cone Penetration Test* (CPT) merupakan metode uji tanah in-situ yang memberikan informasi langsung mengenai daya dukung tanah, klasifikasi lapisan tanah, serta parameter-parameter geoteknik lainnya seperti modulus elastisitas (E) dan modulus geser (G). Berdasarkan teori elastisitas linier, modulus geser dapat dihitung dari modulus elastisitas dan rasio Poisson menggunakan rumus :

$$G = E/2 (1 + 2 \mu)$$

Menurut Bowles (1997) dan Das (2010), terdapat korelasi empiris yang dapat digunakan untuk mengestimasi nilai E dari nilai  $q_c$ :

$$E = \alpha \times q_c$$

dengan  $\alpha$  adalah faktor korelasi yang bergantung pada jenis tanah. Untuk tanah keras atau sangat padat, nilai  $\alpha$  biasanya berkisar antara 3 – 5.

Penggunaan CPT sebagai alat utama dalam penelitian ini didasarkan pada keunggulannya dalam menghasilkan data cepat, efisien, dan representatif tanpa perlu pengambilan sampel tanah yang besar. Selain itu, CPT dinilai mampu memberikan gambaran kontinu terhadap profil tanah di bawah permukaan.

### A. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di area proyek Pembangunan dan Pengembangan Rumah Sakit Umum Madani Medan yang terletak di Jalan AR. Hakim No. 168, Kecamatan Medan Area, Kota Medan, Sumatera Utara. Lokasi ini dipilih karena rencana pembangunan bertingkat memerlukan analisis geoteknik yang mendalam untuk menjamin stabilitas fondasi.



Gambar 1. Lokasi penelitian  
Sumber: Google Earth (2025)

Pemilihan lokasi juga didasarkan pada kepentingan praktis untuk menyediakan data aktual dan real-time terhadap kondisi bawah permukaan sebagai dasar perencanaan struktur. Tanah di lokasi ini diketahui memiliki kondisi stratigrafi yang kompleks, terdiri dari lapisan tanah lunak di permukaan hingga tanah keras pada kedalaman lebih dari 9 meter, yang menjadikannya relevan untuk studi modulus geser.

#### B. Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui pengujian langsung di lapangan menggunakan alat sondir mekanis standar ASTM D3441-86 dengan kapasitas maksimal 2.5 ton. Uji sondir dilakukan pada 5 titik lokasi (S-1 sampai S-5) yang tersebar merata di area proyek guna memperoleh gambaran representatif mengenai kondisi tanah di seluruh area fondasi. Setiap titik diuji dengan penetrasi konus secara vertikal hingga kedalaman maksimum 11 meter atau sampai ditemukannya lapisan tanah keras. Alat sondir mencatat:

1. *Cone Resistance* ( $q_c$ ) dalam  $\text{kg/cm}^2$ : tahanan ujung kerucut terhadap penetrasi vertikal;
2. *Total Skin Friction* (TSF) dalam  $\text{kg/cm}$ : hambatan lekat pada selubung batang selama penetrasi.

Pengambilan data dilakukan setiap interval 20 cm, mengikuti prosedur standar uji penetrasi statis. Hasil dari pengujian ini kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk menunjukkan variasi nilai  $q_c$  dan TSF terhadap kedalaman tanah. Penggunaan metode CPT di sini bertujuan tidak hanya untuk mengukur daya dukung tanah, tetapi juga untuk mengevaluasi konsistensi lapisan tanah, klasifikasi jenis tanah menurut nilai  $q_c$ , serta

penentuan lokasi yang optimal bagi pondasi berdasarkan zona tanah keras.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pembacaan manometer pada alat sondir yaitu perlawanan ujung konus (*cone resistance*) dengan simbol  $q_c$  dinyatakan dalam  $\text{kg/cm}^2$  dan total perlawanan (*total resistance*) dinyatakan dalam  $\text{kg/cm}^2$ , maka dilakukan perhitungan hambatan lekat (*skin friction*) dengan symbol SF dinyatakan dalam  $\text{kg/cm}$  dan jumlah hambatan lekat (*total skin friction*) dinyatakan dengan simbol TSF dinyatakan dalam  $\text{kg/cm}$  dan selanjutnya digambarkan dalam bentuk grafik sondir (*graphic sondering test*) yaitu hubungan perlawanan penetrasi konus dengan kedalaman dan hubungan jumlah hambatan lekat dengan kedalaman. Berdasarkan hasil pengujian penetrasi sondir yaitu dari data perlawanan konus ( $q_c$ ), tingkat kepadatan relatif dari lapisan tanah dapat diketahui yaitu sebagai berikut:

- a.  $q_c$  ( $\text{kg/cm}^2$ ) = 0 - 16 : Sangat lepas;
- b.  $q_c$  ( $\text{kg/cm}^2$ ) = 16 - 40 : Lepas;
- c.  $q_c$  ( $\text{kg/cm}^2$ ) = 40 - 120 : Sedang;
- d.  $q_c$  ( $\text{kg/cm}^2$ ) = 120 - 200 : Padat;
- e.  $q_c$  ( $\text{kg/cm}^2$ ) > 200 : Sangat Padat (keras).

Hasil pelaksanaan pengujian penetrasi sondir sebanyak 5 (lima) titik dapat dilihat seperti pada table berikut ini:

Tabel 1. Hasil pengujian sondir

Titik Sondir	Kedalaman (m)	<i>Cone Resistance</i> ( $q_c$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ )	Total Skin Friction (TSF) ( $\text{kg/cm}$ )
S-1	9,80	200	324
S-2	9,20	198	324
S-3	9,80	200	258
S-4	11,00	203	320
S-5	10,80	205	252

Dalam penelitian ini, sebelum dilakukan perhitungan nilai modulus geser ( $G$ ), terlebih dahulu dihitung nilai modulus elastisitas tanah ( $E$ ) sebagai salah satu parameter mekanik penting yang menunjukkan tingkat kekakuan tanah terhadap deformasi aksial. Hal ini dilakukan karena hubungan antara modulus elastisitas dan

modulus geser bersifat linier dan dapat dihitung secara teoritis melalui pendekatan elastisitas linier.

Tabel 2. Nilai empiris  $\alpha$  berdasarkan jenis tanah

Jenis Tanah	Rentang nilai $\alpha$	Sumber
Pasir lepas	2 – 3	Bowles (1997)
Pasir padat	3 – 5	Das (2010)
Lempung lunak	1 – 2	Mayne & kulhawy (1991)
Lempung keras	2,5 – 4	SNI & Jurnal Teknik Sipil

Modulus elastisitas (E) dihitung berdasarkan data *cone resistance* (qc) yang diperoleh dari uji CPT. Beberapa literatur dan referensi, seperti Das (2010) dan Bowles (1997), memberikan korelasi empiris antara qc dan E. Dalam studi ini digunakan pendekatan empiris dari Bowles, yaitu:

$$E = \alpha \times qc$$

Dengan  $\alpha$  sebagai faktor korelasi yang nilainya tergantung pada jenis tanah, biasanya berkisar antara 2.5 – 5 untuk tanah pasir padat dan lempung keras.

A. Perhitungan Modulus Elastisitas (E)

Berdasarkan data dari uji sondir pada proyek RSU Madani Medan, nilai *cone resistance* (qc) berkisar antara 198 hingga 205 kg/cm<sup>2</sup>. Karena tanah diklasifikasikan sebagai tanah keras, maka digunakan faktor korelasi  $\alpha = 4$ .

Nilai qc terlebih dahulu dikonversi ke satuan kPa: 1 kg/cm<sup>2</sup> = 98,0665 kPa

1. Titik 1

$$200 \text{ kg/cm}^2 = 19613,3 \text{ kPa}$$

$$E = 4 \times 19613,3 = 78453,2 \text{ kPa}$$

2. Titik 2

$$198 \text{ kg/cm}^2 = 19221,1 \text{ kPa}$$

$$E = 4 \times 19221,1 = 76884,4 \text{ kPa}$$

3. Titik 3

$$200 \text{ kg/cm}^2 = 19613,3 \text{ kPa}$$

$$E = 4 \times 19613,3 = 78453,2 \text{ kPa}$$

4. Titik 4

$$203 \text{ kg/cm}^2 = 19907,5 \text{ kPa}$$

$$E = 4 \times 19907,5 = 79630,0 \text{ kPa}$$

5. Titik 5

$$205 \text{ kg/cm}^2 = 20003,6 \text{ kPa}$$

$$E = 4 \times 20003,6 = 80014,4 \text{ kPa}$$

Tabel 3. Konversi nilai qc ke modulus elastisitas (E)

Titik Sondir	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (kPa)	E (kPa)
S-1	200	19613,3	78453,2
S-2	198	19221,1	76884,4
S-3	200	19613,3	78453,2
S-4	203	19907,5	79630,0
S-5	205	20003,6	80014,4

B. Perhitungan Modulus Geser Tanah (G)

Setelah diperoleh nilai modulus elastisitas (E), maka perhitungan modulus geser (G) dilakukan menggunakan rumus hubungan elastisitas isotropik, yaitu:

$$E = 2(1 + \mu).G$$

Dari persamaan ini, modulus geser G dapat dinyatakan dalam bentuk modulus Young E dan rasio Poisson  $\mu$  sebagai :

$$G = E/2(1 + 2\mu)$$

Keterangan :

- G = modulus geser tanah (kg/m<sup>2</sup>)
- E = modulus elastisitas (kg/m<sup>2</sup>)
- $\mu$  = poisson ratio

Dalam menghitung modulus geser dari modulus elastisitas, sehingga nilai rasio Poisson harus

ditentukan terlebih dahulu. Tabel di bawah ini menyajikan kisaran nilai rasio Poisson berdasarkan jenis tanah menurut referensi geoteknik. (Das, 2011)

Jenis Tanah	Poisson's Ratio
Lempung Tanah	0,4 – 0,5
Lempung tak Jenuh	0,1 – 0,3
Lempung Berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir	0,1 – 1,0
Batuan	0,1 – 0,4
Umum dipakai untuk tanah	0,3 – 0,4

Sumber: Das (2011)

$$\begin{aligned}
 G &= E/2 (1 + 2 \mu) \\
 &= E/2 (1 + 2 \times 0,3) \\
 &= E/2 (1 + 0,6) \\
 &= E/3,2
 \end{aligned}$$

1. Titik 1

$$\begin{aligned}
 G &= \frac{78453,2}{3,2} \\
 &= 24516,6 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

2. Titik 2

$$\begin{aligned}
 G &= \frac{76884,4}{3,2} \\
 &= 24026,4 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

3. Titik 3

$$\begin{aligned}
 G &= \frac{78453,2}{3,2} \\
 &= 24516,6 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

4. Titik 4

$$\begin{aligned}
 G &= \frac{879630,0}{3,2} \\
 &= 24884,4 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

5. Titik 5

$$\begin{aligned}
 G &= \frac{80014,4}{3,2}
 \end{aligned}$$

$$= 25004,5 \text{ kPa}$$

Tabel 5. Hasil perhitungan modulus geser (G)

Titik Sondir	E (kPa)	G (kPa)
S-1	78453,2	24516,6
S-2	76884,4	24026,4
S-3	78453,2	24516,6
S-4	79630,0	14884,4
S-5	80014,4	15004,5

Hasil ini menunjukkan bahwa nilai modulus geser tanah pada lokasi penelitian berkisar antara 24.026,4 hingga 25.004,5 kPa, menunjukkan bahwa tanah pada kedalaman antara 9,2 m hingga 11 m tergolong sangat padat dan memiliki kekakuan yang tinggi terhadap gaya geser. Nilai ini cukup representatif untuk digunakan dalam perencanaan pondasi dalam (tiang pancang atau bor pile).

## V. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik tanah di lokasi proyek pembangunan Rumah Sakit Umum Madani Medan bervariasi secara vertikal, dengan lapisan tanah lunak ditemukan hingga kedalaman sekitar 4,20 meter dan lapisan tanah keras mulai muncul antara 9,20 hingga 11,00 meter. Hasil uji Cone Penetration Test (CPT) yang dilakukan pada lima titik menunjukkan nilai cone resistance ( $q_c$ ) yang tinggi, berkisar antara 198 hingga 205 kg/cm<sup>2</sup>, yang setelah dikonversi ke satuan SI setara dengan 19.221 hingga 20.003 kPa. Berdasarkan korelasi empiris dari literatur geoteknik dan dengan menggunakan nilai  $\alpha$  sebesar 4 serta rasio Poisson 0,3, diperoleh nilai modulus elastisitas (E) antara 76.884 hingga 80.014 kPa dan nilai modulus geser (G) antara 24.026 hingga 25.004 kPa. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa lapisan tanah keras pada kedalaman tersebut memiliki kekakuan yang baik dan layak untuk digunakan sebagai lapisan pendukung pondasi. Oleh karena itu, dapat direkomendasikan bahwa jenis pondasi yang sesuai untuk kondisi tanah di lokasi proyek adalah pondasi dalam, seperti tiang pancang atau tiang bor, dengan kedalaman instalasi mencapai 11 meter untuk menjangkau lapisan tanah keras

secara optimal. Pendekatan berbasis CPT terbukti sebagai metode yang efisien, praktis, dan akurat dalam menentukan parameter teknis tanah yang dibutuhkan dalam perencanaan pondasi bangunan.

#### REFERENSI

- Bowles, J. E. (1997). *Foundation analysis and design* (5th ed.). McGraw-Hill International Editions.
- Das, B. M. (2010). *Principles of foundation engineering* (7th ed.). Cengage Learning.
- Das, B. M. (2011). *Soil mechanics laboratory manual* (7th ed.). Oxford University Press.
- Desiani, A., Wiyono, A., & Pramono, B. (2024). Pengaruh koefisien  $N_k$  terhadap parameter geser tanah lunak berdasarkan data CPTu. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 12(2), Universitas Gadjah Mada.
- Mayne, P. W., & Kulhawy, F. H. (1991). *Manual on estimating soil properties for foundation design*. Report EL-6800, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California.
- Saputra, R. (2025). Analisis stratifikasi tanah menggunakan hasil uji CPT untuk perencanaan struktur bangunan. *Jurnal Komposit*, Vol. 10(1), Universitas Negeri Padang.
- SNI 8460:2017. (2017). *Standar Nasional Indonesia - Tata cara perencanaan geoteknik*. Badan Standardisasi Nasional (BSN), Jakarta.