

**PERKUATAN DAYA DUKUNG TANAH LUNAK  
DENGAN METODE VIBRO STONE COLUMN  
STUDI KASUS: JALAN TOL YOGYAKARTA – BAWEN (STA 72+975 – 73+100)**

**Fatimah Soesilo<sup>1</sup>, Hendri Warman<sup>2</sup>**

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Universitas Bung Hatta

E-mail: <sup>1</sup>faytimehsoesilo@gmail.com, <sup>2</sup>hendriwarman@bunghatta.ac.id

**Abstrak**

Tanah lempung lunak memiliki sifat gaya geser tanah yang kecil, kompresibilitas besar, koefisien permeabilitas kecil dan mempunyai daya dukung rendah, serta terdapat lapisan pasir tebal yang berpotensi terjadinya likuifaksi. Untuk memenuhi syarat daya dukung tanah dan memitigasi potensi likuifaksi dilakukan metode perbaikan tanah. Perbaikan tanah yang digunakan pada studi kasus penelitian ini adalah menggunakan *Vibro Stone Column*, yang mana menggunakan agregat batu pecah untuk membuat kolom di dalam lapisan tanah. Diameter *stone column* digunakan 0,5 m, kedalaman 16 m, jarak 2 m dengan pola konfigurasi bujur sangkar. Analisis perencanaan berfokus pada kapasitas daya dukung ultimate, penurunan yang terjadi tanpa dilakukan perbaikan dan setelah dilakukan perbaikan tanah menggunakan metode *vibro stone column*. Analisis mengacu pada pedoman FHWA (1983), Hughes (1974), perhitungan daya dukung tanpa *stone column* dilakukan menggunakan teori Terzaghi (1943), dan analisis penurunan mengacu pada Barksdale et.al (1989). Metode FHWA menghasilkan daya dukung ultimate ( $q_{ult}$ ) 161,04 t/m<sup>2</sup>, dibandingkan dengan metode Huges, menghasilkan  $q_{ult}$  147,92 t/m<sup>2</sup>, dan teori Terzaghi menghasilkan  $q_u$  77,35 t/m<sup>2</sup>. analisis total penurunan didapatkan sebesar 45,5 cm. Jika tanpa perbaikan tanah terjadi penurunan sebesar 1,245 m. Diperoleh efisiensi dan reduksi penurunan sebesar 63,4% jika dilakukan perbaikan tanah, lalu dilakukan perhitungan kecepatan konsolidasi didapatkan hasil  $S_t$  70mm < 100mm selama 10 tahun. Menerapkan metode perbaikan tanah menggunakan *stone column*, didapatkan efisiensi dan reduksi penurunan. Penelitian ini menekankan pentingnya perbaikan tanah untuk mengurangi penurunan pada konstruksi. *Stone column* adalah metode efektif untuk meningkatkan daya dukung dan mengatasi penurunan pada tanah.

**Kata Kunci:** Daya Dukung Tanah, Perbaikan Tanah, Stone Column, Penurunan.

**PENDAHULUAN**

Perbaikan tanah adalah cara untuk memperbaiki sifat teknis tanah, seperti daya dukung, kuat geser, kekakuan, dan permeabilitasnya. Studi kasus penelitian ini ditinjau pada Tol Yogyakarta - Bawen, Seksi 1, tepatnya pada zona at Grade 2 STA (72+975 – 73+100). Terdapat permasalahan pada tanah dasar yaitu tanah lempung lunak dan lapisan pasir yang tebal serta muka air yang tinggi. pada daerah ini memiliki daya dukung tanah yang rendah dengan nilai N-SPT 8-15 dan berpotensi terhadap terjadinya likuifaksi oleh karena itu dilakukan perbaikan tanah menggunakan metode *stone column*.

*Stone column* adalah kelompok kolom batuan atau pilar terbuat dari agregat batuan, yang dibuat di bawah konstruksi bangunan. Metode digunakan adalah sistem *dry bottom feed*, metode ini sangat baik untuk menaikkan kapasitas dukung tanah, mereduksi penurunan bangunan setelah pembangunan selesai, stabilisasi tanah, fleksibilitas desain, mereduksi risiko terjadinya likuifaksi.

**METODE**

Penelitian ini menghitung dan menganalisis daya dukung *stone column*, bagaimana efektifitas dan

efisiensi metode perbaikan tanah menggunakan *stone column* dan tanpa menggunakan *stone column* berdasarkan penurunan yang terjadi, dan untuk membandingkan kapasitas daya dukung *stone column* berdasarkan metode dan Metode Hughes. Analisis perhitungan didasarkan pada data bore log, N-SPT data laboratorium, dan menggunakan nilai korelasi pendekatan yang relevan.

Analisis *stone column* menggunakan teori yang mengacu pada pedoman (FHWA 1983) dan Huges et.al (1974). Analisis Penurunan kolom batuan Tunggal mengacu pada teori Barksdale dan Bachus (1989).

**HASIL ANALISIS DAN PERHITUNGAN**

**1. Perhitungan luas, rasio dan tegangan**

**Tabel 4.7** Rekap Nilai Perhitungan Luas, Ratio, dan Total Tegangan

Rekap Nilai Perhitungan Luas, Ratio, dan Total Tegangan					
$D_c$ (m)	$A_{sc}$ (m <sup>2</sup> )	$A_{uc}$ (m <sup>2</sup> )	$A_{ssc}$ (m <sup>2</sup> )	$a_s$	$a_c$
2,26	0,196	4,01	3,814	0,05	0,952
$\mu_s$	$\mu_c$	$\sigma$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_s$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_x$ (t/m <sup>2</sup> )
2,73	0,34	21,46	58,585	7,296	20,345

## 2. Perhitungan lateral ultimate/tegangan pasif ( $\sigma_3$ )

$$\sigma_3 = \sigma_{r0} + Cu \left( 1 + \ln \frac{Es}{2 Cu (1 + \nu)} \right)$$

Setelah dilakukan perhitungan, tegangan lateral ultimate atau tegangan pasif ( $\sigma_3$ ) pada tanah disekitar stone column didapatkan hasil sebesar 15,388 t/m<sup>2</sup>.

## 3. Tegangan vertikal ultimate ( $\sigma_1$ )

Saat terjadi kegagalan, tegangan vertikal ultimate pada kolom batuan ( $\sigma_1$ ) dinyatakan oleh persamaan:

$$\sigma_1 = \sigma_3 \times \frac{(1 + \sin \phi_s)}{(1 - \sin \phi_s)} = \sigma_3 \operatorname{tg}^2 (45^\circ + \phi_s / 2)$$

Tegangan vertikal ultimate pada kekuatan kolom batuan pada kemungkinan terjadinya kegagalan akibat pengembangan pada lapisan tanah yaitu 147,92 t/m<sup>2</sup>.

## 4. Daya dukung stone column tunggal (FHWA 1983)

$$q_{ult} = C_u N_c$$

Dari hitungan tersebut kapasitas dukung ultimate atau tegangan ultimate yang dapat didukung oleh kolom batuan tunggal menurut FHWA (1983) adalah  $q_{ult} = 161,04$  t/m<sup>2</sup>, dan  $P_{ult} = 31,563$  t/m<sup>2</sup>.

## 5. Daya dukung stone column tunggal (Hudges1974).

$$q_{ult} = \left\{ \sigma_{r0} + Cu \left( 1 + \log \frac{Es}{2 Cu (1 + \nu)} \right) \right\} \left( \frac{1 + \sin \phi_s}{1 - \sin \phi_s} \right)$$

Kapasitas dukung ultimate batuan tunggal adalah  $q_{ult} = 147,92$  t/m<sup>2</sup>, dan  $P_{ult} = 29$  t/m<sup>2</sup>.

## 6. Daya dukung tanah Terzaghi (1943).

$$q_u = c N_c + \sigma N_q + 0,5 \gamma H N_\gamma$$

Kapasitas dukung ultimate tanah tanpa kolom batuan menurut terzaghi (1943) adalah  $q_u = 77,35$  t/m<sup>2</sup>

## 7. Penurunan kolom batuan tunggal (Barksdale and Bachus 1989).

$$S_t = \frac{C_c}{1 + e_o} H \operatorname{Log} \left( \frac{\sigma'_o + \sigma_c}{\sigma'_o} \right)$$

Hasil total penurunan sebesar 0,455 m atau 45,5 cm. Untuk mengetahui efisiensi penggunaan metode stone column terhadap perbaikan tanah, selanjutnya dilakukan perhitungan apabila tanpa penggunaan metode perbaikan tanah menggunakan stone column.

Penurunan konsolidasi total:

$$S_c = \frac{C_c}{1 + e_o} H \operatorname{Log} \left( \frac{\sigma'_o + \Delta \sigma}{\sigma'_o} \right)$$

Jadi bila dilakukan perbaikan tanah menggunakan metode stone column di dapatkan efisiensi dan reduksi penurunan sebesar, 63,4 %

## 8. Kecepatan konsolidasi

$$U = 1 - (1 - U_v) (1 - U_h)$$

Di dapatkan hasil  $U = 0,154$ . Selanjutnya dilakukan perhitungan konsolidasi tanah yang diperkuat stone column terhadap waktu  $t$  yakni 10 tahun.

$$S_t = U S_c$$

Dari perhitungan, di dapatkan kecepatan konsolidasi  $S_t$  sebesar 70 mm < 100 mm, selama 10 tahun.

## KESIMPULAN

1. Kapasitas daya dukung ultimate ( $q_{ult}$ ) stone column Tunggal berdasarkan metode FHWA dan metode Hudges et al. Dengan daya dukung  $q_{ult}$  161,04 t/m<sup>2</sup> dan 147,92 t/m<sup>2</sup>, dengan selisih 13,12 t/m<sup>2</sup>, dan dilakukan perhitungan daya dukung tanah dengan teori Terzaghi (1943) tanpa menggunakan kolom batuan didapatkan daya dukung 77,35 t/m<sup>2</sup>. penelitian ini menekankan perlunya pendekatan yang lebih mendalam dalam menilai kapasitas daya dukung tiang stone column tunggal

2. Efektifitas dan efisiensi perbaikan tanah menggunakan stone column dan tanpa menggunakan stone column dilakukan berdasarkan perhitungan settlement mengacu pada teori Barksdale dan Bachus (1989), di dapatkan total penurunan 0,455 m atau 45,5 cm. Dilakukan juga perhitungan lama konsolidasi didapatkan penurunan sebesar 70 mm dalam waktu 10 tahun. Setelah itu dilakukan perhitungan apabila tanpa menggunakan stone column untuk mengetahui efektifitas dan efisiensi dari stone column, didapatkan hasil penurunan jika tanpa penggunaan metode perbaikan tanah sebesar 1,245 m. disimpulkan bila dilakukan perbaikan di dapatkan efisiensi dan reduksi penurunan sebesar 63,4 %. Tanpa perbaikan tanah, penurunan yang terjadi lebih besar.

3. Analisis kapasitas dukung stone column tunggal pedoman (FHWA 1983) dan Hudges et.al (1974). Hasil perhitungan kapasitas dukung menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu signifikan, antara metode FHWA dan metode yang dikembangkan oleh Hudges et.al, Metode FHWA cenderung menghasilkan daya dukung ultimate ( $q_{ult}$ ) lebih tinggi, yakni 161,04 t/m<sup>2</sup>, dibandingkan dengan metode Hudges et al, yang memberikan nilai  $q_{ult}$  sebesar 147,92 t/m<sup>2</sup>, terdapat selisih sebesar 13,12 t/m<sup>2</sup>. Perbedaan disebabkan beragam faktor, termasuk perbedaan asumsi tentang parameter tanah dan metode analisis yang diterapkan. Metode FHWA menggunakan asumsi atau parameter lebih konservatif, atau dapat mencakup penyesuaian yang lebih untuk kondisi spesifik tanah dan lingkungan proyek.

## DAFTAR PUSTAKA

- FHWA. 1983. *Design and Construction of Stone Columns*. Authors: Barksdale, R.D. and Bachus, R.C., FHWA/RD-83/026 DOT, Vol I and Vol II.
- Joseph, E. Bowles. 1997. *Analisis dan Desain Pondasi*. Edisi ke 4. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Barksdale, R.D. dan Bachus, R.C. 1983. *Design and Construction of Stone Column Vol. 1*, FHWA/RD 83/026, Washington D.C., 20590. 2022.
- Hudges, J.M.O. dan Withers, N.J.1974. *Reinforcing of Soft Cohesive Soils with Stone Column*, Ground Engineering, Vol.7, No.3, pp.42-49.