



KEKUATAN STONE COLUMN

M. Suherman

RINGKASAN

Prinsip dari percobaan pembebanan stone column adalah menekan column bagian atas dengan suatu gaya tekan yang menyebabkan penembusan pada tanah sampai terjadi keruntuhan.

Tujuan dari metode ini untuk menentukan besarnya beban batas dari stone column dan penurunannya.

Stone column merupakan suatu perbaikan tanah terdiri dari lobang vertikal dalam tanah yang diisi dengan batu pecah dan membentuk penyangga atau tiang yang terasmi oleh tanah.

Fungsi dari stone column dalam perbaikan tanah lembek merupakan tulangan dalam perkuatan tanah dan juga bertindak sebagai drainase vertikal agar konsolidasi dapat lebih cepat akibat pembebanan di atasnya.

Karena modulus dari stone column relatif lebih tinggi, maka beban vertikal pada tanah, bagian yang lebih besar akan diterima oleh tiang batu pecah.

SUMMARY

The principal of stone column loading test is to compress a column top with the compressive force to cause its to penetrate the soil until failure occurs. The aim of this method is to determine the ultimate load on stone column and settlement.

Stone column is a soil improvement consists in forming vertical holes in the ground which are filled with rock to form columns or piles confined by the soil.

The function of stone column in soft soil improvement is to provide strength reinforcement to the soil and they act as vertical drains to enable consolidation to occur quickly under surface loading.

Because of the relatively high modulus of the columns, a large proportion of the vertical load applied to the ground surface is transferred to the columns.

I. PENDAHULUAN

Perbaikan tanah lembek yang sering dilakukan pada pembuatan timbunan badan jalan merupakan suatu upaya untuk mendapatkan konstruksi jalan yang mantap. Tujuan utama dari perbaikan tanah lembek ini adalah agar setelah pembangunan jalan tersebut selesai diharapkan tidak menimbulkan masalah yang berkaitan dengan amblesan atau longsoran.

Tanah kohesip seperti lempung atau lanau dalam kondisi jenuh air akan mempunyai sifat daya dukung rendah serta kompresibilitas tinggi, sehingga tanah ini tidak mampu mendukung beban timbunan yang tinggi dan penurunan yang terjadi cukup besar.

Untuk mengatasi masalah daya dukung dan penurunan maka salah satu teknik perbaikan

tanah adalah dengan menggunakan "Stone column" yaitu tiang kerikil atau batu pecah yang ditanam secara tegak dalam tanah lembek. Cara ini dapat berfungsi untuk meningkatkan daya dukung tanah dan juga sebagai media pengalir air pori dalam mempercepat proses penurunan konsolidasi.

Stone column sebagai fungsi untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar harus mampu mendukung beban timbunan yang berada di atasnya tanpa terjadi deformasi yang berarti. Oleh karena itu maka perlu untuk diketahui kemampuan dari setiap individu stone column secara nyata di lapangan, sehingga perencanaan perbaikan tanah tersebut akan lebih efisien.

Untuk mengetahui kekuatan dari stone column ini maka telah dilakukan percobaan pembebanan terhadap tiang batu pecah yang terpasang pada lokasi rencana jalan toll Padalarang - Cileunyi. Percobaan pembebanan terhadap stone column tunggal ini dilakukan pada bulan Agustus 1989.

Teknik perbaikan tanah dengan vertikal drain ini dipadukan dengan teknik kompresi yaitu dengan memberikan beban tambahan agar tanah dasar lebih dahulu mengalami penurunan konsolidasi sebelum konstruksi sesungguhnya diterapkan.

II. STONE COLUMN

Stone column sebagai perbaikan tanah lembek dapat menambah daya dukung tanah dasar, disebabkan bahwa material kerikil mempunyai sudut geser dalam yang lebih besar dari sudut geser tanah dasar.

Dengan terpasangnya stone column dalam tanah lembek maka beban timbunan yang tadinya dipikul oleh satu komponen tanah dasar, sekarang menjadi dua komponen yaitu stone column dan tanah dasar.

Tekanan yang diakibatkan dari beban timbunan dan beban lainnya akan dipikul bersama, namun besarnya beban yang diterima masing - masing komponen tidak sama besar dan tergantung dari modulus deformasi dari bahan tersebut.

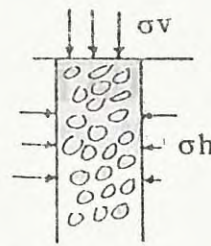
2.1. Prinsip Dasar

Stone column dapat berdiri tegak apabila tanah di sekelilingnya mampu menopang tiang batu pecah ini, kekuatannya pun akan tergantung dari parameter kohesi (c_u) tanah pendukung dan parameter sudut geser dalam (θ) dari stone column tersebut.

a. Daya Dukung Stone Column

Daya dukung untuk stone column harus didisain terhadap besarnya beban yang akan diterimanya, sehingga tegangan kritis dari individu konstruksi tersebut tidak terlampaui.

Persamaan daya dukung stone column tunggal dapat dinyatakan sebagai berikut :



$$\sigma_v = k_{pc} \times \sigma_h$$

$$K_{pc} = \frac{1 + \sin \theta_c}{1 - \sin \theta_c}$$

dimana :

σ_v = tegangan stone column (t/m^2)

σ_h = tegangan tanah di sekelilingnya (t/m^2)

K_{pc} = koefisien tekanan pasip stone column

θ_c = sudut geser dalam stone column

b. Waktu Penurunan

Waktu yang dibutuhkan untuk proses penurunan konsolidasi pada tanah lembek akan tergantung dari jarak tempuh air pori dan harga koefisien pemampatan.

Pengaliran air pori tanpa vertikal drain biasanya menempuh ke arah vertikal, sedangkan setelah dipasang stone column menjadi ke arah radial (horisontal).

Lamanya waktu dari proses konsolidasi tanah dengan adanya stone column, dapat dinyatakan dalam persamaan di bawah ini :

$$t = \frac{Tr. (1/2De)^2}{Cr}$$

dimana :

t = waktu konsolidasi (th)

De = jarak tempuh air pori (m)

Tr = faktor waktu arah radial

Cr = koefisien konsolidasi radial (m^2/th)

2.2 Pola Pemasangan

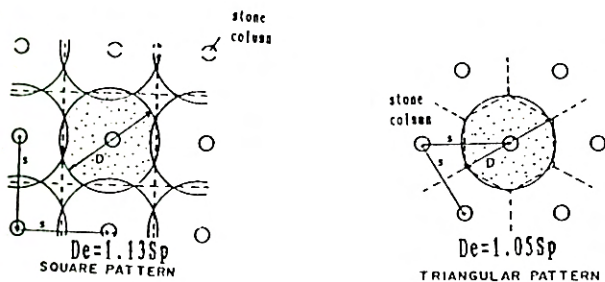
Cara penempatan konstruksi dari stone column ini sama dengan cara vertikal drain lainnya, yaitu dapat berbentuk pola segitiga (triangular pattern) ataupun pola segi empat (square pattern).

Bentuk pola ini akan berpengaruh terhadap diameter ekuivalen dari jarak tempuh air pori sewaktu proses konsolidasi berlangsung.

Diameter ekuivalen untuk pola segitiga $De = 1.05 Sp$, sedangkan untuk pola segi empat $De = 1.13 Sp$, dimana Sp adalah jarak antar column.

Macam dari pola pemasangan stone column serta daerah pengaruhnya dapat dilihat seperti gambar di bawah ini.

Gambar 1.
POLA DAN DAERAH PENGARUH
VERTIKAL DRAIN



III. PENYELIDIKAN TANAH

Tanah dasar yang akan ditempati oleh stone column perlu diketahui sifat teknik dan sifat fisiknya, sehingga penyelidikan tanah di lokasi ini perlu sekali untuk dilakukan.

Penyelidikan tanah yang telah dilakukan meliputi penyelidikan lapangan dan pengujian laboratorium. Penyelidikan lapangan meliputi: penyondiran, pemboran tangan dan pengambilan contoh tanah, sedangkan pengujian laboratorium meliputi: uji kekuatan dan klasifikasi.

Adapun uraian kegiatan penyelidikan tanah adalah sebagai berikut :

3.1. Penyondiran

Penyelidikan tanah dengan alat sondir menggunakan sondir ringan serta alat penetrasi bikonus yang dapat menghasilkan data kekuatan tanah dan hambatan lekatnya.

Penyondiran ini mencapai kedalaman 30.00 meter di bawah muka tanah setempat, dan sampai kedalaman tersebut masih belum dijumpai lapisan tanah keras.

Penyondiran yang telah dilakukan sebanyak 2 titik sondir.

3.2. Pemboran tangan

Pemboran tanah secara manual telah dilakukan dengan menggunakan mata bor. Pemboran mencapai kedalaman 10.00 meter di bawah permukaan tanah, yang ditempatkan dekat titik penyondiran.

Dengan adanya hasil pemboran ini, maka susunan lapisan tanah di lokasi ini dapat diketahui jenis dan konsistensinya. Pemboran yang telah dilakukan sebanyak 2 titik lobang bor.

3.3. Pengambilan contoh

Pengambilan contoh tanah sebagai sampel terhadap obyek yang diteliti, maka tempat contoh yang diambil mewakili dari populasi untuk penelitian.

Contoh tanah yang telah diambil dengan menggunakan tabung sebanyak 2 contoh yaitu dari kedua lobang pemboran.

3.4. Pengujian laboratorium

Pengujian laboratorium terhadap contoh tanah yang diambil dari lapangan meliputi triaxial, pemampatan, saringan berat isi dan atterberg.

3.5. Hasil penyelidikan

Dari kegiatan tersebut di atas, maka penyelidikan tanah di lapangan dan pengujian di laboratorium memberikan hasil sebagai berikut :

Kedalaman (M)	Jenis Tanah	Nilai Sondir (Kg/cm ²)	Hasil Laboratorium
0.00 - 1.50	tanah timbunan	10 - 30	c=0.28.52kg/cm ² θ=10° - 13° Cc=0.42 - 2.90 Cv=2.78-3.55cm ² /dt lolos#200=90-93 %
1.50 - 4.00	lempung lanau hitam	3 - 10	
4.00 - 10.00	lanau lempungan abu-abu hitam	1 - 4	
10.0 - 12.00	-	4 - 10	
12.0 - 18.00	-	2 - 4	
18.0 - 22.00	-	10 - 25	
22.0 - 30.00	-	4 - 6	

IV. PERCOBAAN PEMBEBANAN

4.1. Pemasangan Stone Column

Stone column yang dipasang pada lokasi rencana jalan toll Padalarang-Cileunyi yaitu di bawah timbunan oprit jembatan antara lintasan jalan raya dengan jalan kereta api tepatnya pada Sta 41+840.

Batu pecah yang digunakan dalam perbaikan tanah ini berukuran 2.00 - 7.00 cm yang dimasukan ke dalam tanah lembek dengan

peralatan crane yang dilengkapi dengan alat pemadat getar (vibroflot).

Jarak antara tiang - tiang batu pecah yang satu dengan yang lainnya adalah $Sp = 2.00$ meter untuk rencana tinggi timbunan $H = 4.00$ meter, sedangkan untuk tinggi timbunan $H = 6.00$ meter jarak antar column $Sp = 1.80$ meter dengan pola pemasangan dibuat secara segitiga.

Setelah dilakukan pemasangan, maka diameter stone column yang terjadi sebesar $\phi = 0.90$ meter, dengan mencapai kedalaman 18.00 meter di bawah muka tanah setempat.

Susunan pemasangan dari stone column dapat dilihat pada gambar 4

4.2. Pembebanan

Pembebanan ini dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan stone column secara individu dalam menahan beban yang akan dipikulnya nanti, karena apabila kekuatan stone column ini dilampaui oleh beban timbunan dan beban lainnya yang berada di atasnya, maka keruntuhan akan terjadi.

a. Peralatan

Alat pemberi beban yang digunakan berupa hydarulic jack yang dilengkapi dengan pompa dan manometernya. Kapasitas kekuatan pikul dari jack dan alat baca pengukur besarnya beban (manometer) mempunyai kemampuan sebesar 180 ton.

Alat pengukur penurunan atau penetrasi yang digunakan adalah dial gauge sebanyak 2 buah dengan panjang tangkai masing masing 7.50 cm dan 10.00 cm, yang mempunyai ketelitian 0.001 inchi.

b. Beban Kontra

Sebagai penahan di atas jack telah dibuatkan beban kontra yang terdiri dari besi - besi profil WF 30 cm sebanyak 8 buah. Profil ini disusun sedemikian rupa sehingga membentuk meja beban, yang di atasnya ditumpuk secara teratur balok beton berukuran $0.5 \times 0.5 \times 0.5$ m³ sebagai pemberat.

c. Sistem Pembebanan

Dalam percobaan pembebanan ini digunakan sistem bertahap yaitu beban diberikan secara sedikit demi sedikit agar dapat mengetahui perilaku dari stone column pada setiap tahapan pembebanan.

Tahapan pembebanan yang diberikan adalah : 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, dan 46 ton.

Setiap tahap pemberian beban, penurunan yang terjadi pada dial gauge selalu dibaca dan dicatat pada setiap interval waktu tertentu.

Beban kemudian ditambahkan apabila penurunan pada pembebanan sebelumnya telah berhenti atau dianggap berhenti karena perbedaan penurunan yang sangat kecil.

Begitulah selanjutnya sampai pembebanan yang terakhir.

Sistem pembebanan dan konstruksi beban kontra seperti tampak pada gambar 3.

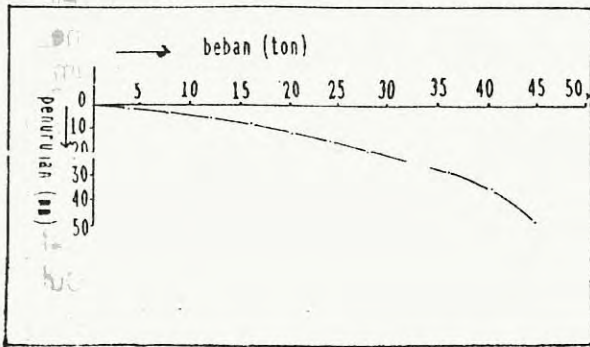
4.3. Hasil Pengujian

Hasil pengamatan penurunan dari setiap tahapan pemberian beban dan lamanya waktu pembacaan, disajikan seperti tabel di bawah ini.

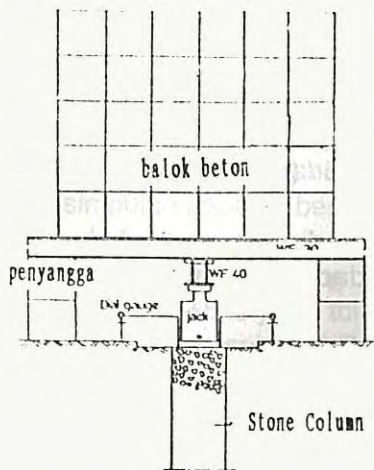
Beban (ton)	Penurunan (mm)	Waktu (jam)
4	1.15	3
8	3.50	4
12	5.48	4
16	8.46	7
20	10.47	5
24	12.93	7
28	16.07	4
32	20.18	4
36	23.69	5
40	28.94	4
44	43.36	11
46	44.93	3

Dari hasil pengamatan di atas, maka dibuat suatu grafik untuk mengetahui perilaku hubungan antara beban dan penurunan.

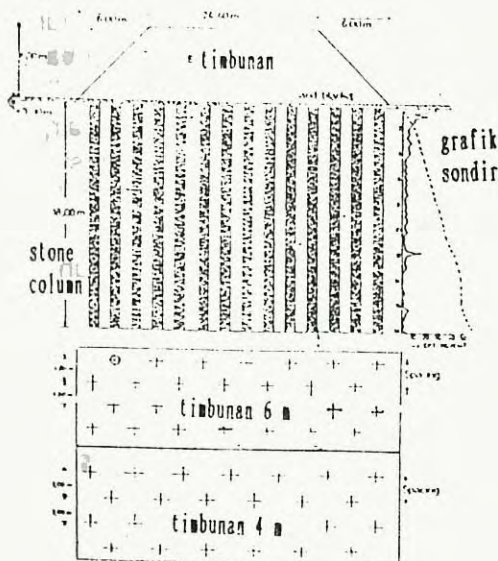
Gambar 2
GRAFIK HUBUNGAN BEBAN - PENURUNAN



Gambar 3
PERCOBAAN PEMBEBANAN



Gambar 4
STONE COLUMN DI BAWAH TIMBUNAN DAN SITUASINYA



V. ANALISIS DAN EVALUASI

Stone column yang ditempatkan di bawah timbunan didisain untuk memikul beban dari timbunan dan beban lainnya. Di samping berfungsi sebagai peningkatan daya dukung tanah dasar, juga berfungsi sebagai drainase untuk mengalirkan air pori ke luar dari dalam tanah. Untuk itu maka analisis dan evaluasi dititik beratkan kepada masalah kekuatan dan penurunan.

Berdasarkan hasil percobaan pembebanan di atas, maka selanjutnya digambarkan dalam bentuk grafik hubungan antara beban dan penurunan.

5.1. Modulus Deformasi

Dari grafik ini, terlihat bahwa sampai beban sebesar $P = 28$ ton, penurunan yang terjadi sebesar $s = 16 \text{ mm} = 0.016 \text{ m}$.

$$E_c = \frac{P}{s \times d} = \frac{28}{0.16 \times 0.90} = 1944 \sim 2000 \text{ t/m}^2$$

dimana :

E_c = modulus deformasi stone column (t/m^2)
 P = beban (ton)
 s = penurunan (m)
 d = diameter pelat (m)

Modulus deformasi tanah didasarkan dari hasil sondir, yaitu :

$$E_s = 2 q_c = 2 \times 100 = 200 \text{ t/m}^2$$

Maka perbandingan antara modulus deformasi stone column dan tanah di sekelilingnya :

$$R = E_c / E_s = 2000 / 200 = 10$$

5.2. Pembagian Beban

Beban timbunan yang berada di atas stone column dan tanah dasar akan didistribusikan menurut besarnya modulus deformasi dari masing-masing bahan pendukungnya.

Persamaan daya dukung :

$$q.A = P_s . A_s + P_c . A_c$$

$$\frac{P_s}{q} = \frac{1}{1 + A_c/A_s(R-1)}$$

Diameter stone column $D = 0.90 \text{ m}$

Jarak antar column $S_p = 1.80 \text{ m}$

Diameter equivalen $D_e = 1.05 \times 1.80 = 1.89 \text{ m}$

Luas equivalen $A = 2.805 \text{ m}^2$

Luas stone column $A_c = 0.636 \text{ m}^2$

Luas tanah dasar $A_s = 2.805 - 0.636 = 2.169 \text{ m}^2$

$$A_c/A_s = 0.636/2.805 = 0.227$$

$$\frac{P_s}{q} = \frac{1}{1 + 0.227(10-1)} = \frac{1}{3}$$

- Untuk beban timbunan setinggi $H_t = 6.00 \text{ m}$:

$$q = t \times H_t = 1.8 \times 6.00 = 10.80 \text{ t/m}^2$$

Tekanan yang diterima tanah dasar

$$P_s = 1/3 \times 10.80 = 3.60 \text{ t/m}^2$$

$$Q_s = 2.169 \times 3.60 = 7.808 \text{ ton}$$

Tekanan yang diterima stone column

$$P_c = R \times P_s = 10 \times 3.60 = 36.00 \text{ t/m}^2$$

$$Q_c = 0.636 \times 36.00 = 22.89 \text{ ton}$$

$$Q_c = 22.89 / (10.8 \times 2.805) = 0.755$$

Dari hasil load test ternyata pada beban sebesar 46 ton stone column masih mampu menahan.

$$\text{Faktor keamanan } F = 46.00 / 22.89 = 2.01$$

- Untuk beban timbunan setinggi $H_t = 4.00 \text{ m}$:

Dengan cara yang sama seperti di atas, maka didapat beban yang diterima stone column sebesar $Q_c = 17.217 \text{ ton}$.

$$Q_c = 17.217 / (7.2 \times 3.46) = 0.69$$

$$\text{Faktor keamanan } F = 46 / 17.217 = 2.67$$

5.3. Daya Dukung Stone Column Tunggal

Tiang batu pecah ini dapat berdiri tegak disebabkan adanya penyangga di sekeliling tiang, sehingga daya dukung dari stone column tergantung dari harga sudut geser dalam dan kuat geser tanah sekelilingnya.

Persamaan daya dukung :

$$\sigma_v = K_{pc} \times \sigma_{sh}$$

$$\sigma_{sv} = K_{pc} \times C_u \times N_c = K_{pc} \times N_c \times C_u$$

$$K_{pc} \times N_c \text{ diumpamakan} = a$$

$$\sigma_v = a \times C_u$$

Berdasarkan dari load test beban dianggap maksimum sebesar $P = 46 \text{ ton}$, dengan kuat geser tanah dasar $C_u = 2.8 \text{ t/m}^2$ (hasil laboratorium), persamaan di atas menjadi :

$$46 / 0.636 = a \times 2.80$$

$$a = 46 / (0.636 \times 2.80) = 25.83$$

Dari hasil di atas maka kekuatan stone column tunggal dapat diestimasi :

$$\sigma_v = 25 C_u$$

dimana:

$$\sigma_v = \text{daya dukung stone column (t/m}^2\text{)}$$

$$C_u = \text{kuat geser undrained (t/m}^2\text{)}$$

5.4. Waktu Penurunan

Di samping meningkatkan daya dukung tanah dasar, stone column juga berfungsi sebagai vertikal drain untuk mempercepat penurunan. Lamanya penurunan dapat dipercepat dengan memper pendek jarak pengaliran air, yaitu minimal sama dengan jarak spacing antar stone column. Harga koefisien konsolidasi $C_v = 2.78 \text{ cm}^2/\text{dt} = 8.76 \text{ m}^2/\text{th}$.

Perbandingan antara jarak tempuh air dan jari-jari stone column :

$$R_e/r_w = 0.90 / 0.45 = 2$$

Tabel untuk mendapatkan harga T_r :

Ur %	Re / re		
	5	10	5
90	0.27	0.455	0.567
99	0.539	0.907	1.135

Dari tabel didapat minimal $Re / re = 5$
 Untuk tingkat konsolidasi t 90% , $T_r = 0.27$
 Harga $C_r = C_h$

$$t = \frac{0.27 \times (0.90)}{8.76} = 0.025 \text{ tahun}$$

VI. KESIMPULAN

Bedasarkan hasil percobaan pengujian kekuatan stone column di lapangan serta analisisnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Stone column yang dipasang pada oprit jembatan di Sta : 41 +840 jalan tol Padaleunyi mempunyai kekuatan sebesar $P = 46.00$ ton dengan penetrasi $S = 4.50$ cm.
- Dengan terpasangnya stone column ini, maka beban timbunan dipikul sebagian besar oleh column. Untuk jarak antar column $S_p = 1.80$ m, beban timbunan sebesar 75% dipikul oleh stone column dan 25% oleh tanah dasar, sedangkan untuk jarak $S_p = 2.00$ m, sebesar 69% oleh stone column dan 31% oleh tanah dasar.
 Dengan demikian stone column dapat meningkatkan daya dukung tanah dasar.

- Stone column sebagai fungsi drainase, akan mempercepat proses konsolidasi tanah lembek, karena jarak tempuh air pori akan lebih pendek yaitu ke arah horisontal sejauh jarak antar column.
- Untuk sementara dari hasil percobaan pembebanan ini, maka dalam menentukan besarnya daya dukung stone column tunggal dapat diestimasi dari kuat geser tanah undrained yaitu sebesar $\sigma_v = 25 C_u$.

DAFTAR PUSTAKA

- Edward William Brand and Rolf Peter Brownner : Soft Clay Engineering, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1981.
- Greenwood and K.Kirsch : Specialist Ground by Vibratory and Dinamic Method, 1983.
- Manfred G Bayer The Vibrocompaction and Vibro displacement Processes, 1971.
- Narvac DM 7 : Design Manual Soil Mecanics Foundations and Earth Structures , 1971.
- Soemartono M, Percobaan Pembebanan Tiang Pusat Litbang Jalan, 1977.
- Suherman.M, Laporan Load test Stone column Pusat Litbang Jalan, 1989.

Penulis :

Drs. M. Suherman, Ajun Peneliti Madya Bidang Geoteknik, Pusat Litbang Jalan.