

## Pengaruh Kecepatan Beban pada Perilaku Lempung Akibat Beban Siklik Takterdrainasi Satu-Arah

**Damrizal Damoerin, Budi Susilo S., Tommy Ilyas, Sigit P. Hadiwardoyo**  
Group Riset Geoteknik Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
Kampus Baru UI Depok, 16424  
e-mail : damrizal@eng.ui.ac.id

### Abstrak

Studi tentang perilaku lempung akibat pengaruh kecepatan beban siklik tak terdrainasi satu-arah dilakukan dengan alat triaxial sistem otomatis dan dengan pengontrolan tegangan dan dalam kondisi tak terdrainasi. Pengujian dilakukan pada lempung Depok yang dipadatkan sesuai Standar Proctor, dengan kecepatan pembebanan 0,05 dan 0,5 %/menit, dengan tekanan lateral pada contoh uji 50 kPa. Contoh uji sebelum pengujian dijenuhkan terlebih dahulu sampai koefisien  $B > 0,97$ . Hasil percobaan menunjukkan bahwa delta regangan yang lebih besar terjadi akibat kecepatan pembebanan yang lebih tinggi.

**Kata kunci:** Triaxial, beban siklik, lempung, regangan, tekanan air pori, tegangan deviator dan kekuatan geser.

### Abstract

Study of loading rate effect on behavior of clay under one-way undrained cyclic loading was conducted by using triaxial automated system apparatus under stress controlled and undrained condition. The tests were carried out on Depok clay samples which compacted using Standard Proctor at loading rate of 0,05 and 0,5 %/min. and with a confining pressure ( $\sigma_3$ ) of 50 kPa on sample. The samples were saturated until the coefficient  $B$  higher than 0,97. The test results indicated that the larger of delta-strain occurred at higher loading rate.

**Key words:** Triaxial, cyclic loading, clay, strain, pore water pressure, deviator stress and shear strength

### 1. Pendahuluan.

Perilaku tanah akibat beban siklik atau dinamik, sangat penting untuk diteliti karena beban hidup yang bekerja pada lapisan tanah pada umumnya merupakan beban siklik atau dinamik.

Penelitian terhadap lempung akibat beban siklik tak terdrainasi masih sedikit yang dilakukan. Walaupun demikian dari penelitian yang telah dilakukan, Yasuhara et.al [1] berpendapat bahwa lempung mempunyai tahanan yang lebih besar terhadap beban siklik dibandingkan pasir. Pasir lepas yang jenuh akan mencair (*liquified*) akibat beban siklik sedangkan lempung tidak mudah runtuh akibat beban siklik atau beban sementara (*transient*). Dari hasil penelitiannya ditunjukkan bahwa

kekuatan geser tak terdrainasi lempung terkonsolidasi normal menurun akibat beban siklik tak terdrainasi. Sedangkan Hyde et.al [2], yang telah melakukan pengujian triaxial tak terdrainasi siklik satu arah pada lempung laut terkonsolidasi normal, berpendapat bahwa pengembangan air pori dan regangan akibat beban siklik satu arah tidak tergantung pada frekuensi dan pada umumnya merupakan peristiwa rangkai yang tergantung pada waktu. Selain itu Pradhan et.al [3] berpendapat bahwa penelitian mengenai kekuatan geser siklik tak terdrainasi pada lempung sedikit mendapat perhatian, sebab lempung dipercaya menunjukkan kerusakan tidak drastis bila dibandingkan dengan liquifaksi pasir selama gempa bumi. Kekuatan geser siklik dapat diestimasi dari kekuatan geser

statik. Kemudian Koike et.al [4] yang telah melakukan penelitian terhadap tanah yang dipadatkan akibat beban siklik, berpendapat bahwa penurunan dan tekanan air pori akibat eksitasi sinusoidal sangat tergantung pada frekuensi yang diterapkan. Dan juga Thammathiwat et.al [5] yang telah melakukan studi mengenai perilaku kekuatan geser siklik dan karakteristik tekanan pori dari lempung lunak, berpendapat bahwa regangan aksial dan diisipasi tekanan air pori, keduanya meningkat sesuai dengan kenaikan jumlah siklus.

Penelitian terhadap pasir banyak yang telah dilakukan, yang mana Salvati et.al [6] telah melakukan pengujian akibat beban siklik pada pasir kering, berpendapat bahwa akibat beban siklik, regangan aksial yang lebih besar terjadi akibat frekuensi rendah bila dibandingkan akibat frekuensi lebih tinggi. Sedangkan Bouferra et.al [7] berpendapat bahwa perilaku tanah akibat beban siklik tak terdrainasi adalah merupakan suatu studi yang penting dalam bidang rekayasa geoteknik dan gempa. Dari hasil penelitiannya terhadap likuifaksi pasir akibat beban siklik tak terdrainasi, didapat informasi bahwa pengurangan koefisien tekanan pori Skempton (B), menunjukkan adanya perbaikan tahanan tanah terhadap likuifaksi akibat beban siklik tak terdrainasi.

Makalah ini menunjukkan hasil uji akibat beban siklik satu-arah dengan kecepatan beban yang berbeda pada lempung Depok yang dipadatkan dan dijenuhkan.

## 2. Material & Contoh Uji.

Material uji yang digunakan adalah lempung Depok yang diambil pada kedalaman antara 1,50 sampai 2,00 m. Sifat fisik material yaitu terdiri dari pasir = 1 %, lanau = 57 %, dan lempung = 42 %; LL = 90, PI = 30;  $G_s = 2,749$ .

Pemadatan tanah asli dilakukan dengan *standart proctor* (T.99/ ASTM 698), sehingga didapatkan  $w_{optimum} = 46 \%$  dan  $density_{maksimum} = 11,1 \text{ kN/m}^3$ .

Contoh uji yang akan digunakan pada pengujian triaxial siklik tak terdrainasi, mempunyai kadar air awal,  $w_i = 40 \%$  dengan ukuran  $d = 10 \text{ cm}$  dan  $h = 20 \text{ cm}$ , yang mana sebelumnya telah dipadatkan sesuai *standart proctor*.

## 3. Peralatan & Prosedur.

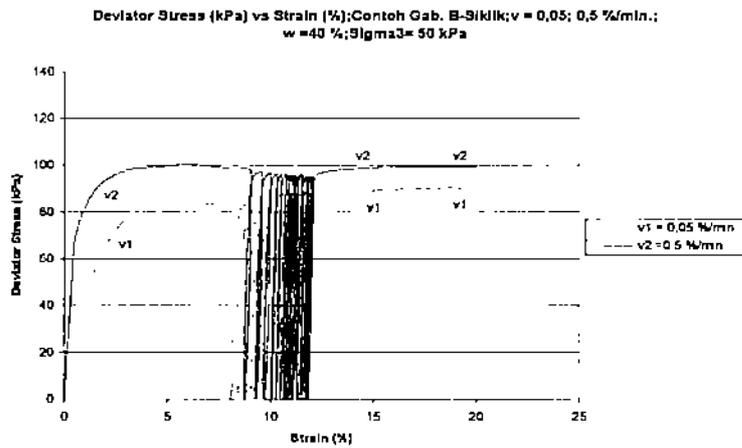
Peralatan yang digunakan untuk pengujian siklik satu-arah digunakan alat triaxial sistimatis otomatis-GDS (Gambar 1), yang dilengkapi perangkat lunak GDS-LAB dan instrumentasi GDS yang terdiri dari pengontrolan tekanan sell, tekanan balik, tekanan air pori, *load cell* dan *displacement transducer*.

Penjenuhan dilakukan pada contoh uji dengan ukuran  $d = 10 \text{ cm} : h = 20 \text{ cm}$ , yang mempunyai kadar air = 40 %, sampai koefisien tekanan air pori Skempton  $B > 0,97$ . Setelah itu diberikan tekanan lateral pada contoh uji sebesar,  $\sigma_3 = 50 \text{ kPa}$ .

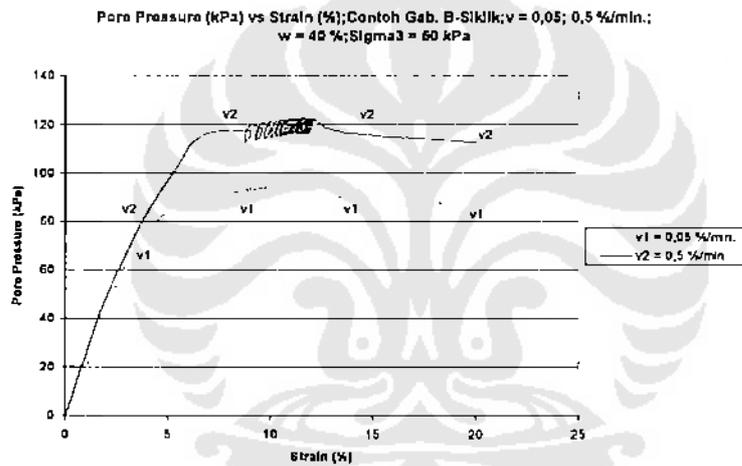
Kemudian tanpa melakukan tahap konsolidasi pada contoh uji, dilakukan pembebanan dengan kecepatan yang sudah ditentukan. Kecepatan pembebanan pada contoh uji dilakukan dengan 2 (dua) macam kecepatan yaitu  $v_1 = 0,05 \text{ \%/menit}$  ( $= 0,1 \text{ mm/min}$ ) dan  $v_2 = 0,5 \text{ \%/menit}$  ( $= 1,0 \text{ mm/min}$ ). Pembebanan statik pra siklik dilakukan sampai regangan 8 - 9 %, kemudian pembebanan siklik dilakukan secara manual pada regangan antara 8 - 12 (%), setelah itu dilakukan pembebanan statik pasca siklik sampai regangan mencapai, 20 %.



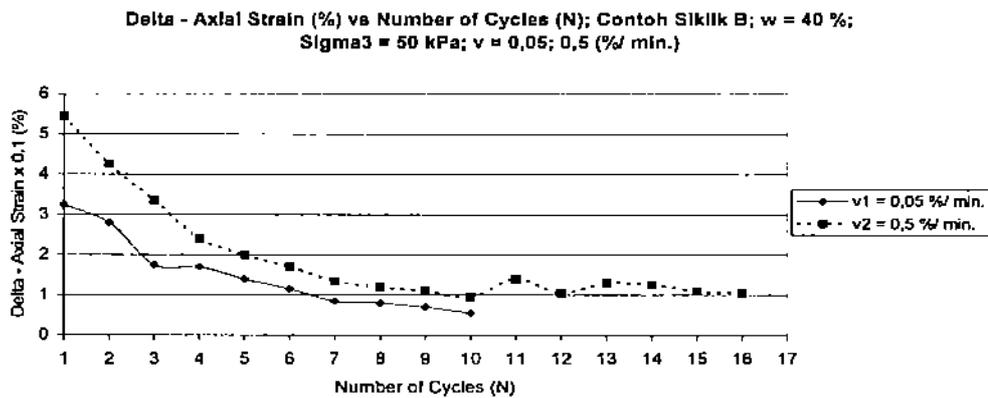
Gambar 1.  
Alat Triaxial Sistim Otomatis



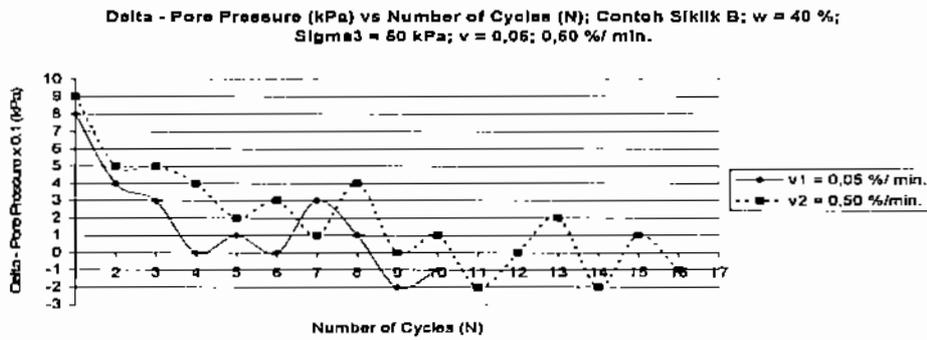
**Gambar 2.**  
 Deviator Stress (kPa) vs Strain (%)



**Gambar 3.**  
 Pore pressure (kPa) vs strain (%)



**Gambar 4.**  
 Delta-axial Strain (%) vs Number of Cycle (N)



**Gambar 5.**  
Delta-Pore Pressure (kPa) vs Number of Cycle (N)

#### 4. Hasil Pengujian & Analisis.

##### 4.1. Regangan.

Dari pengujian yang telah dilakukan, Gambar 2, menunjukkan hasil pengujian triaxial siklik satu-arah pada lempung Depok, dengan kecepatan pembebanan yang berbeda.

Kecepatan pembebanan  $v_2 = 0,5 \text{ %/menit}$  menghasilkan tegangan deviator yang lebih besar dari pada pembebanan  $v_1 = 0,05 \text{ %/menit}$ . Hal ini sesuai seperti yang dinyatakan oleh Taylor [8].

Pembebanan siklik dilakukan pada regangan antara 8 - 12 (%). Regangan besar terjadi pada siklus pertama beban siklik, yang kemudian mengecil dengan bertambahnya siklus beban siklik. Hal ini menunjukkan terjadinya pemadatan pada contoh uji.

Sedangkan Gambar 3, juga menunjukkan bahwa tekanan air pori yang besar terjadi pada beban siklik dengan kecepatan tinggi, dengan perbedaan rata-rata sebesar 28 kPa.

Dari Gambar 4, diperlihatkan bahwa  $\Delta$  regangan (%) terbesar terjadi pada siklus pertama yang kemudian menurun untuk siklus berikutnya. Delta regangan terbesar terjadi akibat kecepatan pembebanan yang tinggi ( $v_2$ ) bila dibandingkan dengan akibat kecepatan pembebanan yang rendah ( $v_1$ ). Untuk jumlah siklus (N) antara 1 - 7, terjadi perbedaan  $\Delta$  regangan yang relative cukup besar, sedangkan untuk N antara 7 - 10,

perbedaan  $\Delta$ -regangan menjadi lebih kecil, akibat kedua kecepatan pembebanan yang berbeda.

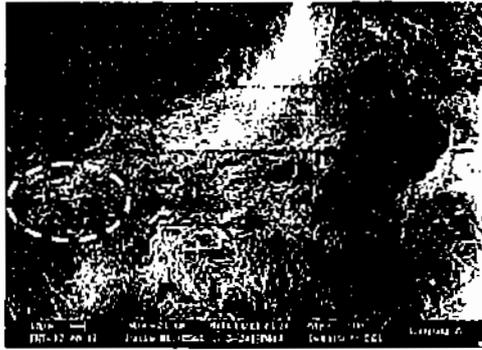
##### 4.2. Tekanan Air Pori.

Kondisi yang terjadi pada pola  $\Delta$  tekanan air pori menyerupai kecenderungan yang terjadi pada  $\Delta$  regangan yaitu terbesar terjadi pada siklus pertama yang kemudian menurun untuk siklus berikutnya seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Untuk N antara 2 - 10, terjadi perbedaan delta tekanan air pori yang relative tidak besar dan mempunyai pola yang sama akibat kedua kecepatan pembebanan.

Kecenderungan ini timbul karena tegangan deviator yang lebih besar mengakibatkan terjadinya regangan dan tekanan air pori yang juga lebih besar akibat kecepatan beban siklik yang lebih tinggi pada  $v_2 = 0,5 \text{ %/menit}$ .

Dalam hal ini phenomena terjadinya tekanan air pori yang relative lebih besar akan menyebabkan kekuatan geser tanah efektif akan menjadi lebih kecil, sehingga regangan yang terjadi menjadi relative lebih besar.

Hasil yang diperoleh dari pengujian akibat beban siklik tak terdrainasi terhadap lempung Depok yang dipadatkan dan dijenuhkan ini, menimbulkan delta regangan dan delta tekanan air pori yang lebih besar akibat kecepatan pembebanan yang lebih tinggi ( $v_2$ ).

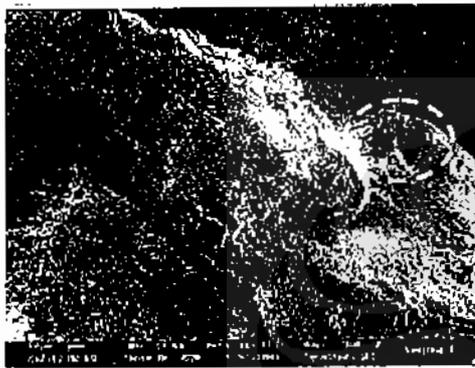


a ) Pembesaran 500x

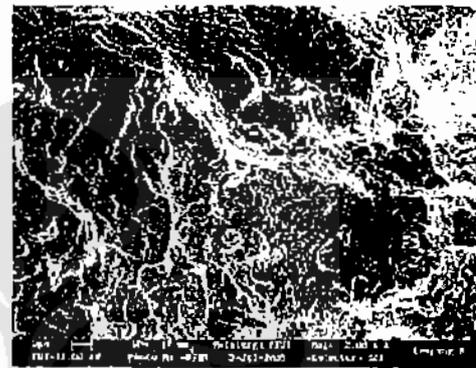


b ) Pembesaran 2000x

**Gambar 6.**  
SEM Contoh Tanah Bersifat Lepas

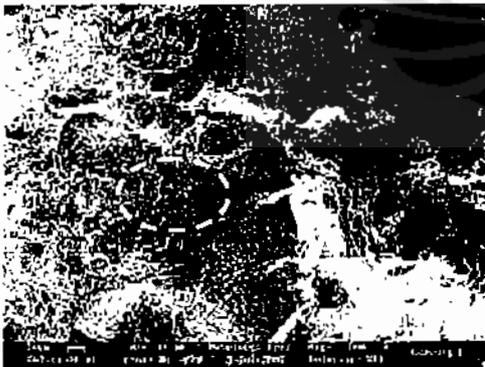


a ) Pembesaran 500x



b ) Pembesaran 2000x

**Gambar 7.**  
SEM Contoh Tanah yang Dipadatkan



a ) Pembesaran 500x



b ) Pembesaran 2000x

**Gambar 8.**  
SEM Contoh Tanah yang Dipadatkan dan Sudah Mengalami Beban Siklik

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa perilaku lempung yang dipadatkan dan dijenuhkan akibat beban siklik tak terdrainasi satu-arah, merupakan suatu hal yang unik.

#### 4.3. Interpretasi Mikroskopik

Hasil Foto SEM (Scanning Electron Microscop) terhadap contoh tanah asli yang bersifat lepas (loose) diperlihatkan pada

Gambar 6a & 6b. Dengan pembesaran masing-masing 500 x dan 2000 x. Pada Gambar tersebut terlihat butiran yang bersifat lepas dan mempunyai rongga antar butiran.

Kemudian hasil Foto SEM terhadap contoh tanah yang dipadatkan, dengan lempengan dibuat sejajar diameter contoh uji, yang diperlihatkan pada Gambar 7a & 7b, dengan pembesaran masing-masing 500 x dan 2000 x. Pada Gambar tersebut terlihat butiran tanah menyatu satu sama lain dan padat serta terlihat rongga-rongga menjadi lebih kecil.

Sedangkan hasil Foto SEM terhadap contoh tanah dipadatkan yang telah mengalami beban siklik dengan kecepatan pembebanan  $v_1 = 0,05$  %/menit, antara regangan 8 - 12 dengan jumlah siklus (N) antara 10 - 16, seperti diperlihatkan pada Gambar 8a & 8b dengan pembesaran masing-masing 500 x dan 2000 x. Pada Gambar 8a tersebut terlihat bahwa tanah menjadi lebih padat tapi diselingi adanya rongga dan pada Gambar 8b ditunjukkan bahwa rongga tersebut ternyata merupakan retakan dari tanah akibat adanya beban siklik.

## 5. Kesimpulan.

Dari pengujian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada lempung yang dipadatkan dan dijenuhkan, terjadi delta regangan terbesar akibat beban siklik takterdrainasi satu-arah dengan kecepatan pembebanan yang lebih spesifik.
2. Untuk material uji dan kondisi tersebut diatas, terjadi perbedaan delta regangan yang relative cukup besar pada siklus antara 1-7.
3. Untuk pengamatan fluktuasi tekanan air pori, terjadi perbedaan delta tekanan air pori yang relative kecil pada siklus antara 2-10.
4. Dari hasil foto SEM, secara mikroskopik belum dapat dilihat secara rinci, tapi terlihat bahwa tanah menjadi lebih padat dan terdapat retakan setelah

menerima beban siklik takterdrainasi satu-arah pada regangan antara 8-12.

## Daftar Acuan

- [1] Kazuya Yasuhara., Kazutoshi Hirao and Adrian F. L. Hyde, " *Effect of Cyclic Loading on Undrained Strength and Compressibility of Clay*", *Soil and Foundations*, Vol. 32, No.1, Mar. 1992, pp.100 – 116,
- [2] Adrian F. L. Hyde, Kasuya Yasuhara and Kazutoshi Hirao, *Stability Criteria For Marine Clay Under One-Way Cyclic Loading* , J. Geotech. Engrg. Div., ASCE, Vol.119, No. 11, Nov. (1993) 1771 – 1789.
- [3] Tej B. S. Pradhan, Tamotzu Matsui , Kazuya Yasuhara, Kazunori Uchida, *Cyclic Undrained Triaxial Strength of Clay by a Round Robin Test*, *Soil and Foundation Journal*, Vol. 39, No. 4, Japan. (1999) 121 – 129, Aug.
- [4] Masayuki Koike, Toru Kaji, Prathuang Usaborisut, Tomohiro Takigawa, Akira Yoda and Shozo Takahashi, *Several Contributions to Soil Compactibility induced by Cyclic Loading Test*, J. Terramech. 39 (2002) 127.
- [5] Anekpong Thammathiwat and Weeraya Chim-oye, *Behavior of Strength and Pore Pressure of Soft Bangkok Clay under Cyclic Loading*, *Thammasat Int. J. Sc. Tech.*, Vol. 9, No. 4, October-December, (2004).
- [6] Lynn A. Salvati and LeQuang AnhDan, *Rate-Dependent Behavior of Sand Subjected To Cyclic Loads*, *GeoCongress J.*, 2006.
- [7] R. Bouferra, N. Benseddiq, and I. Shahrour, *Saturation and Preloading Effects on the Cyclic Behavior of Sand*, *International Journal of Geomechanics*, ASCE, Vol. 7, No. 5, Oct, (2007) 396 – 401.
- [8]. Alan W. Bishop and D.J. Henkel, *The Measurement of Soil Properties in The Triaxial Test*, Edward Arnold Ltd., London, 1982, pp. 177 – 178.