

Evaluasi Perilaku dan Viskositas Material Pasir Kelanauan pada Kondisi Terlikuifaksi dengan Menggunakan Piezocone

Albert Johan*

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan
Email: albert.johan83@gmail.com

Paulus P. Rahardjo

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan
Email: paulus.rahardjo@unpar.ac.id

Budijanto Widjaja

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan
Email: widjaja@unpar.ac.id

Abstrak

Fenomena likuefaksi merupakan hilangnya kuat geser tanah berpasir jenuh. Likuefaksi menjadi salah satu perhatian utama bagi Indonesia dan dunia, terutama setelah terjadinya peristiwa likuefaksi di Palu akibat gempa Palu-Donggala. Belajar dari fenomena likuefaksi pasca gempa Palu-Donggala 28 September 2018 tersebut, banyak peneliti yang telah melakukan kajian mengenai likuefaksi dan longsoran aliran. Untuk melengkapi kajian fenomena likuefaksi tersebut, maka dilakukan studi eksperimental menggunakan shake table, chamber, dan piezocone untuk mempelajari perilaku dan untuk mengetahui parameter viskositas dari material tanah pasir kelanauan dalam kondisi terlikuifaksi. Dari hasil pengamatan saat dalam kondisi terlikuifaksi, material pasir kelanauan akan mengalami peningkatan tekanan air pori eksese dan mengalami penurunan besaran tahanan ujung konus. Selain itu, diketahui pula bahwa friksi selimut, kecepatan penetrasi piezocone, dan zona pengaruh dari piezocone pada saat mengalami penetrasi menjadi kunci utama dalam penentuan nilai viskositas pada saat material pasir kelanauan dalam kondisi terlikuifaksi.

Kata-kata Kunci: Likuefaksi, viskositas, pasir kelanauan, piezocone

Abstract

Liquefaction is phenomenon of the loss of shear strength of saturated sandy soil. Liquefaction has become one of the primary concerns for Indonesia and the world, especially after the occurrence of liquefaction in Palu due to Palu-Donggala earthquake. Learning from the liquefaction phenomenon after the Palu-Donggala earthquake event on 28 September 2018, many researchers have conducted liquefaction and flow slide study. In order to complete the study of the liquefaction phenomenon, an experimental study using shake table, chamber, and piezocone is conducted to evaluate the behaviour and viscosity of liquefied silty sand material. Based on the observation during liquefied condition, the silty sand material will experience an increase in excess pore pressure and a decrease in tip resistance. In addition, it is also known that sleeve resistance, speed of penetration of the piezocone, and zone of influence due to piezocone penetration are the main keys in determining the viscosity of the silty sand material during liquefied condition.

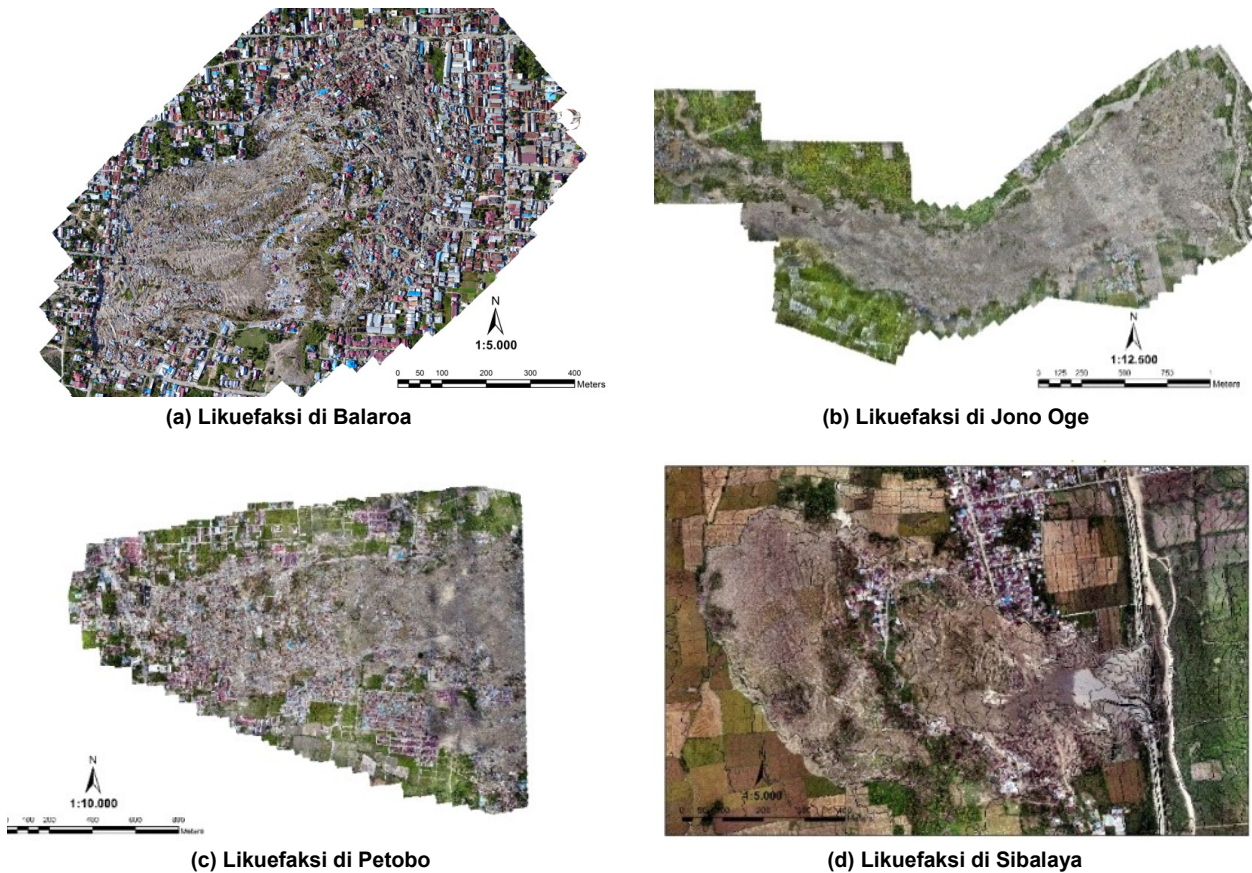
Keywords: Liquefaction, viscosity, silty sand, piezocone

1. Pendahuluan

Fenomena likuefaksi yang terjadi di Palu akibat Gempa Palu Donggala pada tahun 2018 merupakan salah satu bencana alam yang mendapatkan perhatian khusus dari pihak nasional maupun internasional. Hal tersebut disebabkan karena fenomena likuefaksi khususnya fenomena likuefaksi alir berhasil mengakibatkan kerusakan infrastruktur maupun perumahan dalam skala besar seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Menurut Jefferies dan Been (2006), likuefaksi alir dapat terjadi pada tanah pasir lepas dan lanau pada kondisi jenuh ataupun mendekati jenuh. Likuefaksi alir yang memicu kegagalan struktur tanah umumnya diakibatkan oleh perilaku *strain softening* pada material tanah. Bentuk kegagalan tersebut dapat berupa longsoran maupun aliran yang penyebabnya sangat bergantung terhadap karakteristik dari material tanah dan geometri permukaan tanah.

* Penulis Korespondensi: albert.johan83@gmail.com



Gambar 1. Fenomena likuefaksi di Palu (Sumber : Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan, 2018)

Ketika suatu material tanah mengalami likuefaksi dan mengalami tegangan geser yang lebih besar dibandingkan kuat geser residual, maka hal tersebut dapat mengakibatkan terjadinya likuefaksi yang berbentuk aliran fluida non Newtonian yang merupakan fungsi dari nilai kuat geser residual dan nilai viskositas (Hamada dan Wakamatsu, 2004).

Mengacu kepada hal tersebut, maka penelitian ini bermaksud untuk menambah kajian yang telah dilakukan sebelumnya. Penelitian ini memiliki tinjauan pada Desa Sibalaya yang merupakan area terdampak peristiwa *flow liquefaction*. Fokus kajian penelitian ini ialah untuk membahas perilaku material tanah Desa Sibalaya ketika dalam kondisi terlikuefaksi dan mencari besaran nilai viskositas ketika material tanah dalam kondisi terlikuefaksi dengan menggunakan piezocone.

2. Studi Literatur

Berikut di bawah ialah studi literatur yang dilakukan untuk menunjang kajian mengenai likuefaksi dan viskositas material tanah ketika dalam kondisi terlikuefaksi.

2.1 Studi terdahulu mengenai likuefaksi

Wu et al. (2004) menyampaikan bahwa tekanan air pori eksese berperan penting dalam kajian mengenai mekanisme dari likuefaksi perihal informasi tersebut

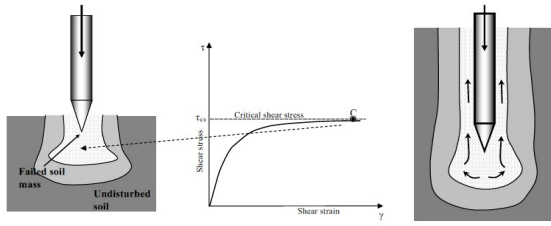
digunakan untuk menentukan nilai ratio tekanan air pori eksese yang menunjukkan suatu material tanah telah mengalami likuefaksi. Ishihara (1993) menyatakan bahwa ratio tekanan air pori eksese pada tanah pasir kelanauan atau lanau kepasiran yang mengandung partikel butiran halus tidak dapat menggenerasi tekanan air pori secara keseluruhan, namun hanya dapat mencapai 90 - 95% dari tegangan vertikal efektif initial (σ_v').

2.2 Studi terdahulu mengenai efek *Viscous* pada penetrasi *Shaft*

Mahajan dan Budhu (2006) menyatakan bahwa ketika suatu rigid shaft mengalami penetrasi pada tanah butir halus, tanah yang terletak pada area ujung konus akan mengalami tegangan

yang tinggi dan akan berada dalam kondisi failure, sehingga tanah tersebut akan mengalir melalui sekeliling permukaan shaft selama penetrasi berlangsung (Gambar 2).

Menurut Marsland dan Quarterman (1982), hubungan antara resistensi penetrasi shaft dan rate penetrasi bergantung terhadap hubungan tegangan regangan dan sifat viscous dari material tanah. Pada saat penetrasi terjadi, tanah pada sekeliling shaft akan mengalir dalam kondisi volume konstan (*critical state*) dan parameter viskositas berperan dalam menentukan resistensi terhadap kondisi viscous tersebut. Aliran



Gambar 2. Kondisi tanah pada area ujung konus (Mahajan dan Budhu, 2006)

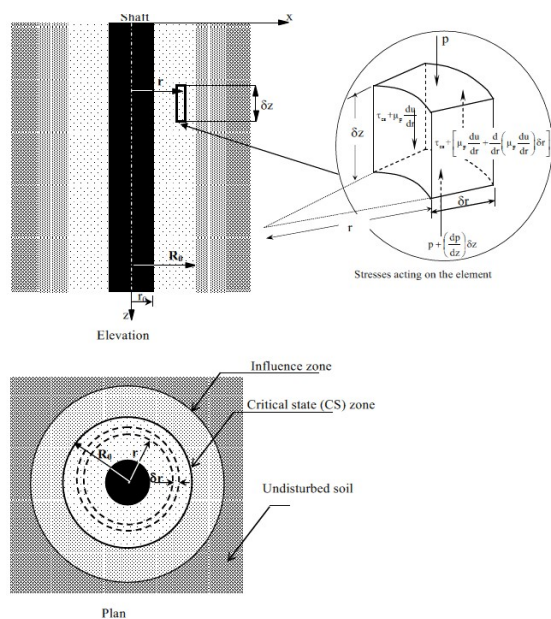
tanah yang berada dalam kondisi *critical state* serupa dengan aliran yang memiliki nilai yield stress, sehingga pada kasus ini nilai kuat geser residual tanah saat kondisi *critical state* ialah sama dengan nilai yield stress. Ketika tegangan geser yang terjadi pada suatu material tanah lebih besar dari kuat geser residual tanah saat kondisi *critical state*, maka tanah akan mengalir dalam kondisi *critical state*.

Mahajan dan Budhu (2006) menyampaikan bahwa pergerakan aksial dari suatu shaft dengan radius, r_0 , dalam kondisi viscous, menghasilkan total tegangan resistensi selimut (τ) yang terdiri dari komponen statik / komponen CS shear stress (τ_{cs}) yang independen terhadap rate penetrasi dan komponen viscous (τ_v) yang bergantung terhadap rate penetrasi seperti yang disajikan pada **Persamaan 1** dan **Persamaan 2**.

$$\tau = \tau_{cs} + \tau_v \tag{1}$$

$$\tau = \tau_{cs} + \eta \left(\frac{du}{dr} \right) \tag{2}$$

Komponen viscous sangat bergantung terhadap rate dari kecepatan penetrasi. Jika shaft berada dalam kondisi diam (rate penetrasi = 0), maka resistensi viscous tidak bekerja sehingga praktis total resistensi selimut hanya terdiri dari komponen statik. Berdasarkan pemaparan tersebut, maka gaya-gaya yang bekerja pada saat penetrasi shaft dan profil kecepatan pada saat penetrasi shaft dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Gaya yang bekerja dan profil kecepatan pada saat penetrasi shaft (Mahajan dan Budhu, 2006)

Sehubungan dengan saat pengujian piezocone, penetrasi konus akan mengakibatkan tanah yang berada di sekeliling konus akan berada dalam kondisi viscous, maka pendekatan nilai viskositas dapat didapatkan melalui pengujian piezocone. Menurut Mahajan dan Budhu (2006), friksi yang terjadi pada saat pengujian sondir terdiri dari friksi selimut dalam kondisi statik (f_{ss}) dan friksi selimut dalam kondisi viscous (f_{sv}) seperti yang dapat dilihat pada pada **Persamaan 3**.

$$f_s = f_{ss} + f_{sv} \tag{3}$$

Dikarenakan friksi selimut kondisi viscous sangat bergantung terhadap parameter viskositas (η), rate penetrasi (V_z), zona area *critical state* (β_0), dan keliling piezocone (πD), maka parameter friksi selimut dalam kondisi viscous (f_{sv}) dapat dilihat pada **Persamaan 4**.

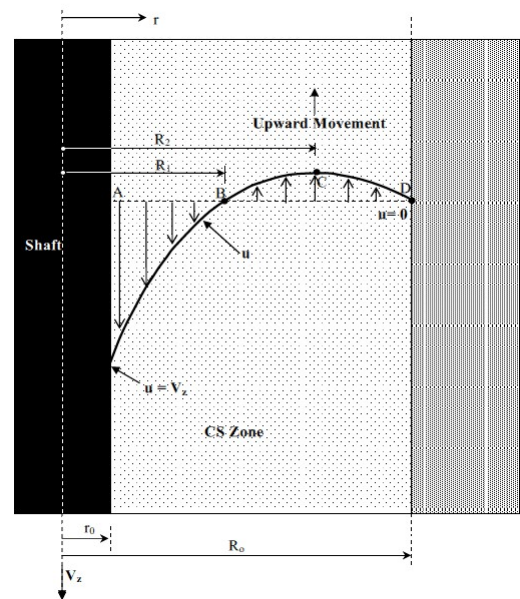
$$f_{sv} = \frac{2 \pi \eta V_z \beta_0}{\pi D} \tag{4}$$

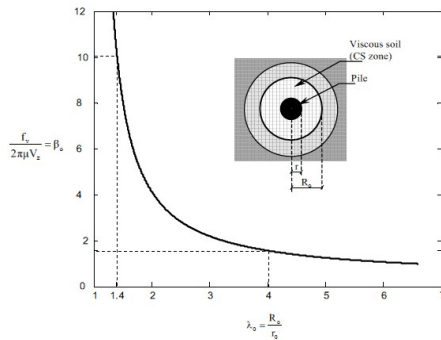
Pada perhitungan parameter friksi selimut dalam kondisi viscous (f_{sv}), peran ukuran dari zona area *critical state* sangat bergantung terhadap parameter λ_0 yang merupakan parameter input dalam perhitungan parameter β_0 . Formula dari parameter λ_0 dan β_0 dapat dilihat pada **Persamaan 5** dan **Persamaan 6**.

$$\lambda_0 = \frac{R_0}{r_0} \tag{5}$$

$$\beta_0 = \frac{\lambda_0^4 - 4 \lambda_0^2 + 4 \ln \lambda_0 + 3}{1 - \lambda_0^2 \left[\frac{\lambda_0^2}{1 - \lambda_0^2} \ln \lambda_0 - 1 - 2 \ln \lambda_0 \right]} \tag{6}$$

Berdasarkan hubungan antara λ_0 dan β_0 (**Gambar 4**) diketahui bahwa $\lambda_0 < 4$ akan menghasilkan perubahan resistensi viscous yang signifikan, sedangkan $\lambda_0 > 4$ tidak secara signifikan berdampak terhadap resistensi viscous. Secara umum, semakin besar zona area *critical state*, maka nilai β_0 akan semakin rendah sehingga resistensi viscous juga akan semakin tinggi.





Gambar 4. Hubungan zona area critical state (λ_0) terhadap parameter β_0 (Mahajan dan Budhu, 2006)

Cooke dan Price (1973) melakukan pengujian load test dengan menggunakan instrumented pile pada material London Clay dan menemukan bahwa pergerakan tanah (yang diduga sebagai CS Zone) di sekeliling shaft terjadi sekitar 4 kali dari radius shaft. Randolph et al. (1979) mengasumsi bahwa penetrasi shaft dapat dimodelkan plane strain dalam kondisi undrained expansion dengan menggunakan model Cam Clay. Dari kajian tersebut, didapatkan bahwa zona area *critical state* (λ_0) bernilai 5 untuk tanah *normally consolidated* dan bernilai 4 untuk tanah *over consolidated* (OCR=8).

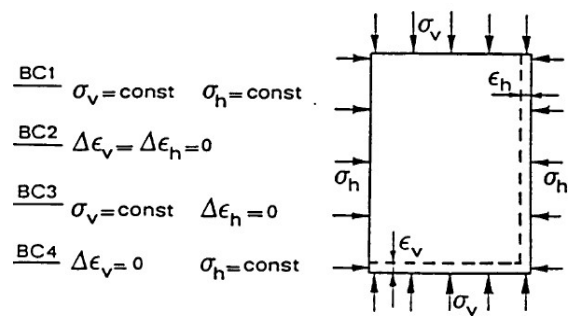
2.3 Studi terdahulu mengenai shake table

Pengujian dengan menggunakan skala model untuk mempelajari kondisi prototype merupakan suatu hal yang penting ketika hendak mempelajari suatu kasus yang kompleks. Bojadjieva et al. (2015) menyatakan bahwa penelitian mengenai pemodelan studi seismik dapat dibagi menjadi 2 kategori yaitu yang dilakukan pada kondisi gravitasi bumi (umumnya disebut sebagai pengujian shake table atau pengujian 1-g) dan yang dilakukan pada kondisi gravitasi yang lebih tinggi (pengujian centrifuge atau pengujian multi-g). Menurut Jafarzadeh (2004), penggunaan shake table memiliki beberapa keuntungan seperti : amplitudo yang terkontrol, gerakan input dapat dilakukan pada multi-sumbu, dan lebih mudah dalam pada tahap pengukuran.

2.4 Studi terdahulu mengenai calibration chamber

Seiring dengan perkembangan waktu, telah dilakukan pembuatan dan penelitian menggunakan calibration chamber oleh berbagai pihak. *Calibration chamber* memiliki kemampuan untuk memodelkan kondisi lapangan dengan cara memberikan tegangan vertikal dan tegangan horizontal pada sampel tanah. Dengan kemampuan *calibration chamber* dalam pemodelan kondisi lapangan, perlu diperhatikan bahwa ukuran chamber dan *boundary condition* merupakan salah satu hal yang perlu diperhatikan perihal dapat menyebabkan ketidaktepatan pada output yang di dapat. Jamiolkowski et al. (1985) mengusulkan limitasi dalam pemodelan kondisi lapangan pada *calibration chamber* dapat dilakukan 4 pendekatan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.

Parkin (1988) menyatakan bahwa dari keempat limitasi tersebut, limitasi BC1 dan BC3 merupakan limitasi



Gambar 5. Limitasi pada pemodelan calibration chamber (Jamiolkowski et al., 1985)

yang umumnya digunakan pada penelitian yang menggunakan *calibration chamber*.

2.5 Studi terdahulu mengenai persiapan sampel butiran kasar

Berdasarkan penelitian sebelumnya diketahui bahwa terdapat 4 metode dalam persiapan sampel tanah pasir yaitu dengan menggunakan tamping, getaran, konsolidasi, dan *pluviation*. Dari keempat metode tersebut, metode *pluviation* adalah metode yang paling umum digunakan. Namun, menurut Rahardjo (1989), penggunaan metode *pluviation* kurang cocok pada sampel pasir kelanauan karena sampel tanah butiran halus dapat menyumbat lubang saringan sehingga mengakibatkan sampel tanah yang tersisa menumpuk pada saringan. Kelembaban dari udara cenderung membuat butiran tanah untuk melekat menjadi gumpalan yang kemudian gumpalan tersebut menjadi melekat pada peralatan laboratorium yang digunakan.

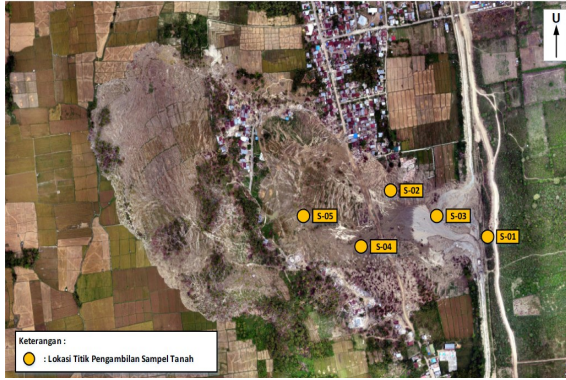
Rahardjo (1989) mengusulkan metode persiapan sampel pasir kelanauan dapat menggunakan metode *slurry* dengan cara mengkonsolidasikan material pasir kelanauan tersebut. Kondisi di alam, material tanah aluvial telah mengalami proses pengendapan dan telah terkonsolidasi selama beberapa tahun. Proses alami ini dapat disimulasikan di laboratorium dengan cara mengkonsolidasikan material pasir kelanauan tersebut dalam bentuk *slurry*. Metode *slurry* juga dapat menghasilkan suatu material sampel tanah dengan tingkat saturasi yang tinggi. Kekurangan dari metode *slurry* ialah metode pekerjaannya tidak dapat diotomatisasi seperti *pluviator* dan memerlukan waktu yang untuk proses konsolidasi.

3. Metode Penelitian

Untuk menunjang studi eksperimental yang akan dilakukan pada penelitian ini, maka berikut di bawah ialah penjelasan terkait metode penelitian yang dilakukan.

3.1 Pengambilan sampel tanah penelitian

Pengambilan sampel tanah dilaksanakan pada area terdampak likuefaksi alir di Desa Sibalaya. Lokasi titik pengambilan sampel tanah dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Lokasi titik pengambilan sampel pada area terdampak likuefaksi alir di desa Sibalaya



Gambar 7. Dokumentasi material sampel tanah pada chamber

Sehubungan dengan pengambilan sampel tanah hanya dilakukan pada 5 titik sehingga jumlah sampel tanah cukup terbatas, maka telah dilakukan pencampuran beberapa sampel tanah dan pemisahan untuk material sampel tanah yang mengandung butiran halus > 15% untuk mencegah dominasi dari perilaku material tanah butiran halus. Dari hasil pencampuran dan pemisahan tersebut, persentase distribusi butiran tanah yang digunakan untuk sampel tanah penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

3.2 Pembuatan *shake table*

Pemodelan kondisi dinamik pada penelitian ini menggunakan *shake table* yang dapat menghasilkan getaran dengan cara memodelkan gerakan multi-sumbu (arah horizontal dan arah vertikal) dengan gelombang input berupa gelombang sinusoidal. Pada penelitian ini arah gerakan *shake table* hanya dilakukan pada arah horizontal. Dimensi *shake table* yang digunakan berukuran 0.8 m x 0.8 m. *Shake table* dilengkapi dengan motor 1 HP 3 phase, 380 VAC sehingga dapat dilakukan kontrol akselerasi yang bervariasi.

3.3 Pembuatan *chamber*

Penempatan material sampel tanah ditentukan menggunakan *chamber* yang mengacu terhadap limitasi BC3 (σ_v konstan, $\epsilon_h = 0$). Limitasi BC3 dimodelkan dengan menggunakan *chamber* kaku yang terbuat dari acrylic setebal 3 cm sehingga tidak diizinkan terjadinya deformasi horizontal pada sampel tanah. Dimensi *chamber* yang digunakan pada penelitian ini memiliki diameter 40 cm dan tinggi 70 cm. Pada sisi perimeter dasar *chamber* dilengkapi dengan buret untuk mengukur tekanan air pori dan lubang kurus untuk membersihkan *chamber*.

Tabel 1. Persentase distribusi butiran tanah pada sampel tanah campuran

No	Jenis Material	Persentase Distribusi Butiran Tanah (%)
1	Gravel	0,00
2	Coarse sand	0,00
3	Medium sand	39,71
4	Fine sand	46,49
5	Silt & clay	13,80



Gambar 8. Dokumentasi persiapan pengujian piezocone

3.4 Persiapan sampel tanah penelitian

Sehubungan dengan sampel tanah penelitian didominasi oleh material pasir kelanauan, maka persiapan sampel tanah penelitian ditentukan menggunakan metode konsolidasi dengan menggunakan *slurry* seperti yang diusulkan oleh Rahardjo (1989). Pada tahapan ini, material sampel tanah dikonsolidasikan selama 1-3 minggu dan ditargetkan memiliki nilai kepadatan relatif (D_r) sebesar 50%.

3.5 Pengujian *piezocone* dan pemberian beban dinamik

Setelah sampel tanah dibiarkan terkonsolidasi selama 1-3 minggu (Gambar 7), tahapan selanjutnya ialah persiapan pengujian *piezocone* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8.

Sebelum beban dinamik diberikan, untuk memodelkan kondisi lapangan, sampel tanah diberikan beban surcharge sebesar 3.8 kPa dengan menggunakan pelat besi yang memiliki berat 30 kg pada suatu pelat kayu yang berukuran 60 cm. Pengujian *piezocone* ditujukan untuk memantau perubahan tekanan air pori ketika beban surcharge (Gambar 9) dan beban dinamik diberikan (Gambar 10). Selain itu, pengujian *piezocone* juga ditujukan untuk mengetahui kekuatan tanah dan viskositas material tanah ketika dalam kondisi terlikuefaksi melalui nilai tahanan ujung konus (q_c) dan melalui nilai friksi selimut (f_s).



Gambar 9. Dokumentasi pasca pemberian beban surcharge pada material sampel tanah



Gambar 10. Dokumentasi pasca pemberian beban dinamik pada material sampel tanah

4. Hasil penelitian

Pengujian dilakukan dengan 2 tahapan, tahapan pertama untuk memahami perilaku material tanah Desa Sibalaya ketika dalam kondisi terlikuefaksi, sedangkan tahapan kedua untuk mencari besaran nilai viskositas material tanah Desa Sibalaya ketika dalam kondisi terlikuefaksi.

4.1 Tahapan pengujian pertama

Tujuan utama dari pengujian pertama ialah untuk mengamati perilaku tahanan ujung konus (q_c) dan tekanan air pori (u) pada saat material sampel tanah Desa Sibalaya berada dalam kondisi terlikuefaksi. Pada pengujian pertama, material *slurry* sampel tanah Desa Sibalaya dibuat dengan diameter 40 cm, tinggi 57 cm, dan kepadatan relatif sebesar 50%. Waktu jeda setelah penuangan material tanah *slurry* ke dalam chamber pada tahap pengujian pertama ialah selama 21 hari.

Tahap pengujian pertama dilakukan dengan cara melakukan penetrasi konus sedalam 34 cm, lalu diikuti dengan pemberian beban surcharge dan pemberian beban dinamik yang mengacu kepada pendekatan besaran nilai akselerasi gempa yang terjadi di Desa

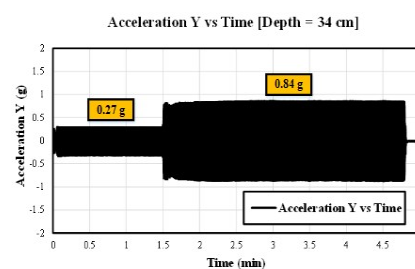
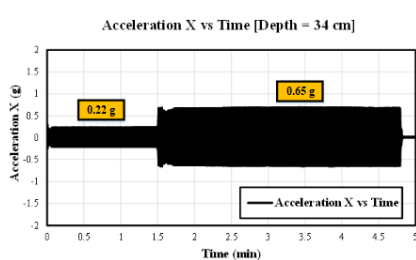
Sibalaya, dan kemudian besaran akselerasi tersebut ditingkatkan untuk mengetahui perilaku material sampel tanah Desa Sibalaya ketika menerima beban dinamik yang lebih besar.

Beban dinamik yang digunakan pada pengujian pertama dibagi menjadi 2 fase yaitu :

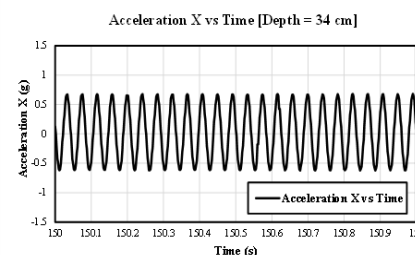
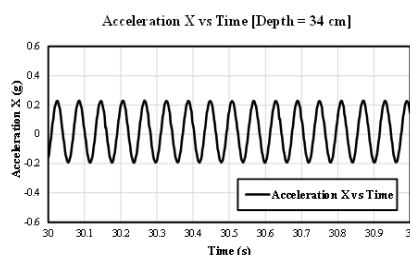
- a) Fase initial dengan akselerasi sebesar 0.22 g pada sumbu x dan 0.27 g pada sumbu y selama 1.5 menit
- b) Fase peningkatan beban dinamik dengan akselerasi sebesar 0.65 g pada arah sumbu x dan 0.84 g pada arah sumbu y selama 3.3 menit.

4.1.1 Pengaruh beban dinamik terhadap tekanan air pori eksis [pengujian pertama]

Dari hasil pemberian beban dinamik, terlihat bahwa material sampel tanah mengalami peningkatan tekanan air pori eksis (**Gambar 13**). Nilai ratio tekanan air pori eksis pada saat material tanah mengalami likuefaksi ialah sebesar 0.93. Hal tersebut memverifikasi pernyataan Ishihara (1993) yang menyatakan bahwa material pasir kelanauan yang mengandung partikel butiran halus tidak dapat menggenerasi tekanan air pori secara keseluruhan. Ratio tekanan air pori hanya dapat



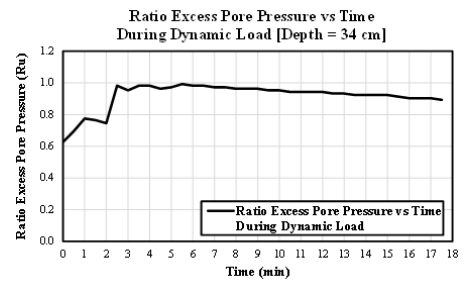
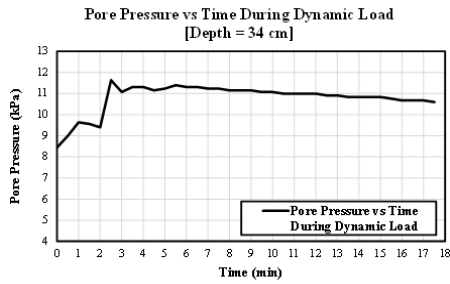
Gambar 11. Input beban dinamik pada arah x dan y terhadap waktu [pengujian pertama]



Akselerasi initial pada sumbu x = 0,22 g

Peningkatan akselerasi pada sumbu x = 0,65 g

Gambar 12. Detail Input beban dinamik pada arah x terhadap waktu [pengujian pertama]



Gambar 13. Perilaku tekanan air pori terhadap waktu pada tahap pemberian beban dinamik [pengujian pertama]

mencapai 90% hingga 95% dari tegangan overburden yang pada kasus ini merupakan kumulatif antara tegangan vertikal efektif dengan tegangan yang dihasilkan oleh beban surcharge ($\sigma_v' + \Delta\sigma_v'$) pada kedalaman yang ditinjau.

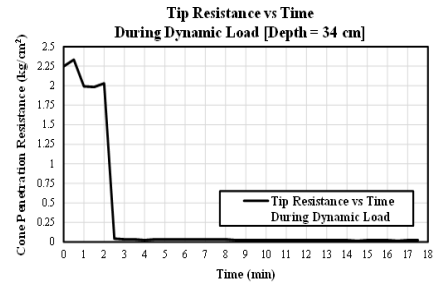
Fenomena lainnya ialah disipasi air pori eksek pasca likuefaksi pada material pasir kelanauan tidak terjadi dalam waktu yang cepat. Pada pengujian ini dapat dilihat bahwa setelah jeda waktu disipasi selama 12 menit, nilai ratio tekanan air pori eksek masih menunjukkan angka 0.89. Hal tersebut diduga disebabkan oleh material butiran halus yang cenderung memiliki sifat permeabilitas yang rendah sehingga air pori eksek yang muncul akibat beban dinamik tersebut tidak dapat langsung terdisipasi.

4.1.2 Pengaruh beban dinamik terhadap tahanan ujung konus

Dari hasil pengamatan terhadap nilai tahanan ujung konus setelah input beban dinamik diberikan (Gambar 14), diketahui bahwa nilai tahanan ujung konus mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya tekanan air pori eksek. Nilai tahanan ujung konus mengalami penurunan yang signifikan hingga mendekati 0 kg/cm² saat terjadi peningkatan tekanan air pori eksek puncak dengan ratio tekanan air pori eksek sebesar 0.93 yang menunjukkan bahwa material tanah telah mengalami likuefaksi.

4.2 Tahapan pengujian kedua

Tujuan utama dari pengujian kedua ialah untuk mengetahui nilai viskositas material sampel tanah Desa Sibalaya Ketika dalam kondisi terlikuefaksi. Pada pengujian kedua, material *slurry* sampel tanah Desa Sibalaya dibuat dengan diameter 40 cm, tinggi 55 cm,



Gambar 14. Perilaku tahanan ujung konus terhadap waktu pada tahap pemberian beban dinamik [pengujian pertama]

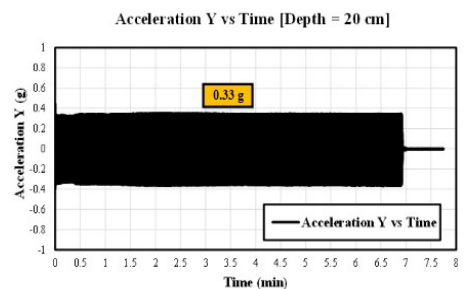
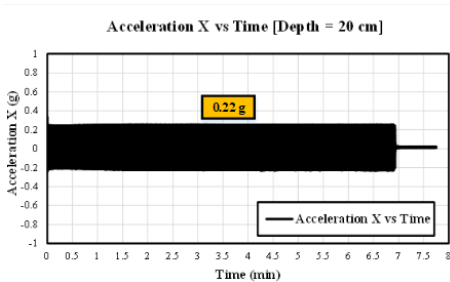
dan kepadatan relatif sebesar 50%. Waktu jeda setelah penuangan material tanah *slurry* ke dalam chamber pada tahap pengujian kedua ialah selama 9 hari.

Tahap pengujian kedua dilakukan dengan cara melakukan penusukan konus sedalam 20 cm, lalu diikuti dengan pemberian beban surcharge dan pemberian beban dinamik yang mengacu kepada pendekatan besaran nilai akselerasi gempa yang terjadi di Desa Sibalaya.

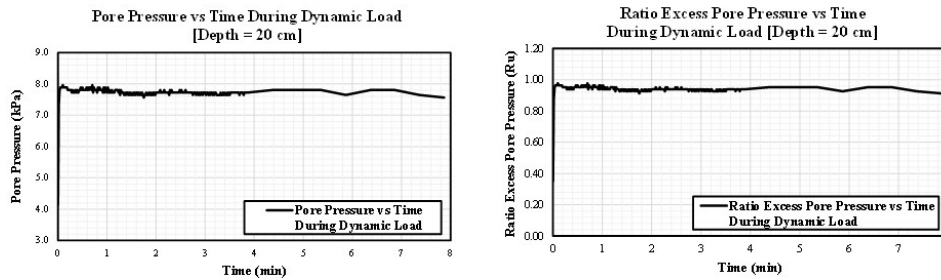
Beban dinamik yang digunakan pada pengujian kedua hanya menggunakan 1 input yaitu dengan akselerasi sebesar 0.22 g pada arah sumbu x dan 0.33 g pada arah sumbu y selama 6.9 menit seperti yang dapat dilihat pada Gambar 15.

4.2.1 Pengaruh beban dinamik terhadap tekanan air pori eksek [pengujian kedua]

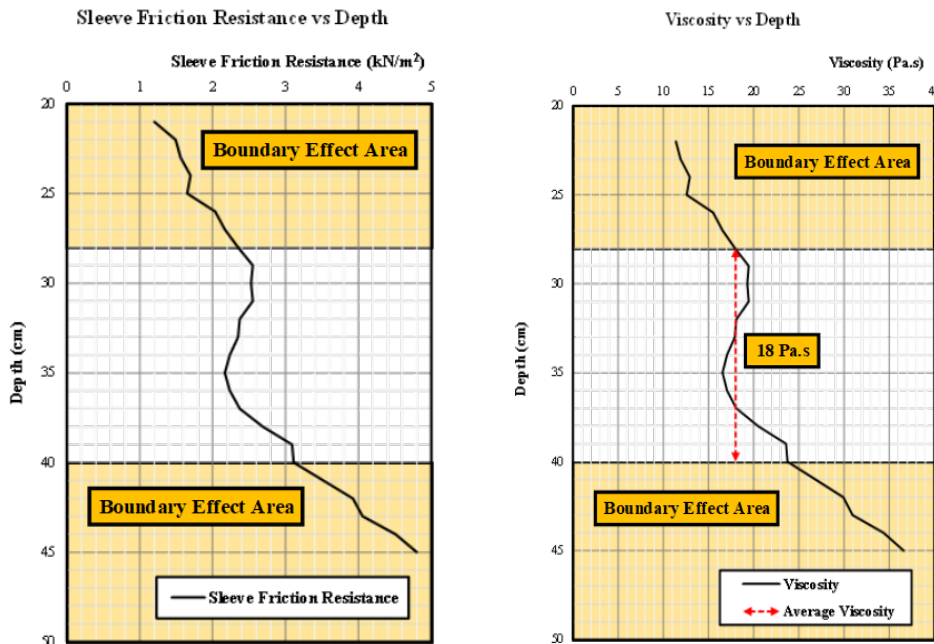
Dari hasil pengukuran tekanan air pori eksek (Gambar 16), diketahui bahwa nilai ratio tekanan air pori eksek pada kondisi puncak berkisar sebesar 0.94. Setelah beban dinamik dari shake table dihentikan selama 1



Gambar 15. Input beban dinamik pada arah x dan y terhadap waktu [pengujian kedua]



Gambar 16. Perilaku tekanan air pori terhadap waktu pada tahap pemberian beban dinamik [pengujian kedua]



Gambar 17. Nilai friksi selimut dan viskositas terhadap kedalaman pasca pemberian beban dinamik pada pengujian kedua

menit terukur bahwa nilai ratio tekanan air pori eksess menurun menjadi 0.91. Dari hasil pengukuran tersebut, terlihat bahwa penurunan tekanan air pori eksess terjadi cukup lama dimana hal tersebut diduga disebabkan oleh material butiran halus memiliki nilai permeabilitas yang lebih rendah sehingga tekanan air pori eksess yang muncul akibat beban dinamik tersebut tidak dapat langsung terdisipasi seluruhnya.

4.2.2 Penentuan nilai viskositas material sampel tanah pada kondisi terlikuefaksi

Penentuan viskositas pada penelitian ini mengacu kepada hasil pengukuran friksi selimut pada saat material sampel tanah mengalami likuefaksi yaitu pada saat material sampel tanah memiliki nilai ratio tekanan air pori eksess sebesar 0.91. Dari hasil pengukuran nilai friksi selimut tersebut, diduga bahwa hasil pengukuran pada kedalaman 20 -28 cm dan 40 - 50 cm mengalami efek dari *boundary condition*, sehingga hasil pengukuran yang dianggap valid ialah yang terletak pada kedalaman 28 - 40 cm.

Perhitungan parameter viskositas dilakukan dengan mengganggap efek friksi selimut dalam kondisi statik

(f_{ss}) pada saat likuefaksi ialah sebesar 0 perihal kuat geser tanah residual pada saat terjadinya likuefaksi mendekati 0 sehingga perhitungan viskositas hanya memperhitungkan efek friksi selimut dalam kondisi viscous (f_{sv}). Selain itu, pada perhitungan viskositas yang dilakukan, zona area *critical state* pada saat penetrasi konus diasumsikan sebesar 4.

Mengacu kepada beberapa hal tersebut, maka dengan menggunakan formula yang disampaikan pada **Persamaan (4)**, maka didapatkan viskositas rata-rata pada kedalaman 28 - 40 cm pada saat nilai ratio tekanan air pori eksess sebesar 0.91 ialah sebesar 18 Pa.s seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 17**.

5. Kesimpulan

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, maka berikut ialah kesimpulan yang dapat disampaikan.

1. Penelitian difokuskan pada pembahasan perilaku material tanah Desa Sibalaya yang didominasi oleh material pasir kelanauan ketika dalam kondisi terlikuefaksi dan mencari besaran nilai viskositas

ketika material tanah tersebut berada dalam kondisi terlikuefaksi dengan menggunakan piezocone.

2. Penelitian dilakukan dengan pengambilan sampel tanah penelitian secara langsung di Desa Sibalaya dan pengujian laboratorium dilakukan dengan menggunakan beberapa set alat pengujian seperti : shake table, chamber, dan piezocone.
3. Berdasarkan hasil pengamatan terhadap perilaku material sampel tanah ketika menerima beban dinamik, diketahui bahwa pemberian beban dinamik akan menghasilkan tekanan air pori eksek hampir sebesar kumulatif dari tegangan vertikal efektif dan beban surcharge yang diberikan pada material sampel tanah. Dari hasil observasi terhadap tekanan air pori eksek yang terukur, diketahui bahwa tekanan air pori eksek yang terukur hanya mencapai $\pm 93\%$ dari kumulatif dari tegangan vertikal efektif dan beban surcharge yang diberikan pada material sampel tanah. Hal tersebut diduga disebabkan oleh dampak dari material butiran halus yang tidak dapat menggenerasi tekanan air pori secara keseluruhan
4. Berdasarkan hasil pengamatan terhadap kurva disipasi pasca peningkatan tekanan air pori eksek setelah material sampel tanah menerima beban dinamik, diketahui bahwa nilai ratio tekanan air pori eksek cenderung masih tinggi walaupun telah didiamkan untuk beberapa saat. Hal tersebut diduga disebabkan oleh permeabilitas material butiran halus yang cenderung lebih rendah sehingga tekanan air pori eksek yang muncul tidak dapat langsung terdisipasi
5. Berdasarkan hasil pengamatan terhadap nilai tahanan ujung konus pada saat material sampel tanah mengalami likuefaksi, diketahui bahwa nilai tahanan konus mengalami penurunan nilai secara signifikan yang hampir mendekati 0 kg/cm^2 . Hal tersebut membuktikan bahwa pada saat likuefaksi terjadi, material tanah kehilangan kekuatannya karena terdapat peningkatan tekanan air pori eksek.
6. Nilai tahanan friksi yang terukur pada pengujian piezocone dapat digunakan untuk mendapatkan parameter nilai viskositas. Dari hasil pengujian, diketahui bahwa nilai viskositas sangat bergantung kepada parameter friksi selimut dalam kondisi viscous, diameter piezocone, rate penetrasi, dan zona area critical state yang mana merupakan fungsi dari zona pengaruh akibat penusukan konus.
7. Berdasarkan nilai tahanan friksi pada sampel tanah Desa Sibalaya yang terukur pada saat berada dalam kondisi terlikuefaksi (nilai ratio tekanan air pori eksek sebesar 0.91), diketahui bahwa nilai viskositas rata-rata untuk material sampel tanah Desa Sibalaya pada saat terlikuefaksi ialah sebesar 18 Pa.s.

Daftar Pustaka

Bellotti, R., Crippa, V., Pedroni, S., Baldi, G., Fretti, C., Ostricati, D., Ghionna, V., Jamiolkowski, M., dan Pasqualini, E., 1985, *Laboratory validation of in*

situ tests, Geotechnical Engineering in Italy, an overview, A.G.I., ISSMFE Golden Jubilee.

- Bojadjeva, J., Sesov, V., dan Edip, K., 2015, *Experimental setup for sand liquefaction studies on shaking table*, 6th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Christchurch, New Zealand.
- Cooke, R. W., dan Price, G., 1973, *Strains and displacements around friction piles*, Proc. 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow, Vol 2 (1), pp. 53-60.
- Ishihara, K., 1993, *Liquefaction and flow failure during earthquakes*, Geotechnique, Vol. 43, Issue. 3, pp. 351-451.
- Jafarzadeh, F., 2004, *Design and evaluation concepts of laminar shear box for 1g shaking table tests*, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Paper No. 1391.
- Jamiolkowski, M., Ladd, C. C., Germaine, J. T., dan Lancelotta, R., 1985, *New developments in field and laboratory testing of soils*, Proceedings of the 11th International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, Vol. 1, pp. 57-154.
- Jefferies, M. G., dan Been, K., 2006, *Soil liquefaction - A critical state approach*, Taylor and Francis, London.
- Last, N., 1984, *Seminar on cone penetration testing in the laboratory*, University of Southampton, Department of Civil Engineering.
- Mahajan, S. P., 2006, *Viscous effects on penetrating shafts in clay*, Ph.D. Dissertation, The University of Arizona.
- Marsland, A. dan Quarterman, R.S.T., 1982, *Factors affecting the measurements and interpretation of quasi static penetration tests in clays*, Proc. 2nd European Symposium on Penetration Testing ESOPT II, A.A. Balkema, Amsterdam, pp. 697-702.
- Parkin, A. K., Holden, J., Aamot, K., Last, N., and Lunne, T., 1980, *Laboratory investigations of CPT's in sand*, Norwegian Geotechnical Institute, Oslo, Report No. 52108-9.
- Parkin, A. K., 1988, *The calibration of cone penetrometers*, Proceeding First International Symposium on Penetration Testing, Orlando, Florida.
- Rahardjo, P. P., 1989, *Evaluation of liquefaction potential silty sand based on cone penetration test*, Ph.D. Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University.

- Randolph, M. F., Carter, J. O., dan Wroth, C. P., 1979, *Driven piles in clay – the effects of installation and subsequent consolidation*, Geotechnique, Vol. 29, Issue. 4, pp. 361-393.
- Wu, J., Kammerer, A. M., Riemer, M. F., Seed, R. B., and Pestana, J. M., 2004, *Laboratory study of liquefaction triggering criteria*, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Paper No. 2580.