

**Potensi Penurunan Tanah pada Endapan Danau Bandung Berdasarkan Karakteristik Sifat Keteknikan Lempung di Daerah Solokan Jeruk, Kabupaten Bandung*****The Potential of Land Subsidence in Bandung Lake Deposits Based on Characteristics of Clay Engineering Properties in Solokan Jeruk Area, Bandung Regency***Risna Widyaningrum<sup>1,2</sup>, Dicky Muslim<sup>2</sup>, Agung Mulyo<sup>2</sup>, dan Taufiq Wira Buana<sup>1</sup><sup>1</sup>Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan, Badan Geologi, KESDM  
Jalan Diponegoro 57 Bandung, Jawa Barat – Indonesia<sup>2</sup>Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran  
Jalan Raya Bandung - Sumedang KM 21, Jatinangor, Sumedang

e-mail: risnawidyaningrum@gmail.com

Naskah diterima 19 Januari 2021, selesai direvisi 24 Juli 2022, dan disetujui 10 Agustus 2022

**ABSTRAK**

Cekungan Bandung merupakan kawasan strategis nasional, dengan populasi penduduk cukup besar dan kegiatan pembangunan sangat massif. Cekungan Bandung merupakan dataran antarpegunungan yang diisi oleh endapan sedimen lempung, lanau, pasir yang dikategorikan sebagai lempung endapan danau, yang dapat menimbulkan permasalahan penurunan muka tanah. Tulisan ini menyajikan gambaran karakteristik sifat lempung danau bawah permukaan yang dikaitkan dengan penurunan muka tanah yang ada di lokasi Solokan Jeruk, Kabupaten Bandung. Metode yang digunakan yaitu pemboran inti disertai uji SPT, pengujian dissipasi dan pengujian laboratorium geologi teknik meliputi sifat fisik dan uji konsolidasi. Hasil analisa menunjukkan bahwa sifat fisik memperlihatkan distribusi butiran kandungan lempung 48,81 – 63,64% dan lanau 46,17 – 76,47% kadar air berkisar 33,84 - 98,76%, indeks plastis 11,11-61,68% dan indeks kompresi 0,1037 – 1,0818 yang diklasifikasikan sebagai tanah lempung plastisitas rendah hingga tinggi (CH/MH) dengan aktivitas tinggi. Karakter lempung bawah permukaan di Solokan Jeruk mempunyai nilai indeks kompresibilitas 0,4475-2,6320 dan konsolidasi  $6,68 \times 10^{-4}$ - $3,92 \times 10^{-4}$ . Pada kedalaman 12-40 m mengindikasikan adanya ancaman potensi penurunan muka tanah di masa mendatang.

**Kata kunci:** Kabupaten Bandung, lempung, konsolidasi, penurunan tanah**ABSTRACT**

*The Bandung Basin is a national strategic area, where the population is quite large and development activities are very massive. The Bandung Basin is an inter-mountainous plain filled by sedimentary deposits of clay, silt, sand which are categorized as lake sedimentary, which can cause land subsidence problems. This paper presents a description of the characteristics of the clay properties in relation to land subsidence in the area of Solokan Jeruk, Bandung Regency. The method used is core drilling with SPT test, dissipation test and engineering geology laboratory testing including physical properties and consolidation test. The results of the analysis showed that the physical properties showed the grain distribution of clay content of 48.81-63.64% and silt 46.17-76.47%, water content ranging from 33.84 to 98.76%, plastic index 11.11- 61.68% and compression index 0.1037-1.0818 which is classified as low to high plasticity clay (CH/MH) with high activity. The subsurface clay character in Solokan Jeruk has a compressibility index 0.4475 - 2.6320 and a consolidation value of  $6.68 \times 10^{-4}$  -  $3.92 \times 10^{-4}$ . A depth of 12-40 m indicates a potential of land subsidence in the future.*

**Keywords:** Bandung Regency, clay, consolidation, land subsidence

## PENDAHULUAN

Daerah penelitian terletak di bagian timur Cekungan Bandung. Daerah tersebut merupakan bagian kawasan strategis dengan rencana pembangunan infrastruktur yang pesat dan jumlah penduduk semakin bertambah. Secara umum daerah ini dibangun oleh batuan hasil aktivitas vulkanisme, tanah lapukan, endapan aluvial dan endapan danau. Sedangkan morfologi yang terbentuk mencerminkan morfologi perbukitan dan dataran aluvial. Daerah penelitian akan berkembang pesat dalam pemanfaatan lahan sehingga permasalahan aspek kondisi geologi, geologi teknik khususnya sifat keteknikan lempung, menjadi penting untuk diketahui. Untuk mengetahui hal tersebut diperlukan informasi data geologi bawah permukaan. Sehingga penelitian tentang sifat keteknikan lempung bawah permukaan perlu memperhatikan data-data geologi teknik untuk menjelaskan karakteristik sifat fisik dan derajat konsolidasinya.

Secara alamiah kondisi endapan aluvial masih mengalami proses konsolidasi sehingga berpotensi mengalami penurunan muka tanah, di samping itu gangguan proses antropogenik dapat mempercepat laju penurunan muka tanah (Chaussard dr., 2013). Tulisan ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran karakteristik sifat lempung danau bawah permukaan yang dikaitkan dengan penurunan muka tanah. Pemantauan penurunan muka tanah di daerah Cekungan Bandung telah dilakukan dengan survei GPS (Abidin dkk 2006, 2013), citra InSAR (Abidin dkk, 2008) dan citra ALOS PALSAR (Chaussard dkk, 2013). Lapisan lempung daerah ini di klasifikasikan dengan plastisitas tinggi, yang semakin mengalami terkonsolidasi menurut kedalaman (Tohari dr, 2015).

Abidin dr (2011) telah melakukan pemantauan melalui metode *global positioning system (GPS) dan InSAR*. Hasilnya menunjukkan penurunan tanah di Cekungan Bandung dapat mencapai 8 cm hingga 23 cm per tahun berdasarkan hasil pemantauan selama 10 tahun (2000-2010) terutama di kawasan industri. Faktor penye-

bab penurunan tanah di Bandung dikarenakan eksploitasi air berlebihan, beban bangunan, konsolidasi alamiah dari aluvium dan faktor geotektonik.

Kondisi geologi teknik wilayah Cekungan Bandung untuk lintasan Gedebage-Bojongsoang-Solokanjeruk-Majalaya dicirikan oleh lapisan tanah yang terdiri atas lempung lunak dengan sisipan pasir kerikilan padat dan lapisan lempung terpadatkan dari Formasi Kosambi hingga kedalaman 70 m dan diendapkan di atas batuan dasar berupa breksi vulkanik dari Formasi Cikapundung (Tohari dr, 2015). Kedalaman lapisan breksi vulkanik ini semakin dangkal ke arah selatan. Lapisan lempung lunak tersebut termasuk dalam klasifikasi lanau dengan plastisitas tinggi, yang semakin mudah mengalami konsolidasi menurut kedalaman. Nilai kuat geser lapisan tanah hingga kedalaman 30 m semakin didominasi oleh sudut geser efektif yang semakin besar dengan peningkatan kedalaman (Tohari dr, 2015). Hasil uji *Cone Penetration Test* wilayah Solokan Jeruk diketahui jenis lapisan tanah di wilayah Cekungan Bandung yang didominasi oleh tanah lempung dengan sisipan pasir lanauan dengan ketebalan yang bervariasi, sehingga penurunan tanah yang terjadi dapat disebabkan oleh perbedaan ketebalan lapisannya (Ambarwati dr, 2020).

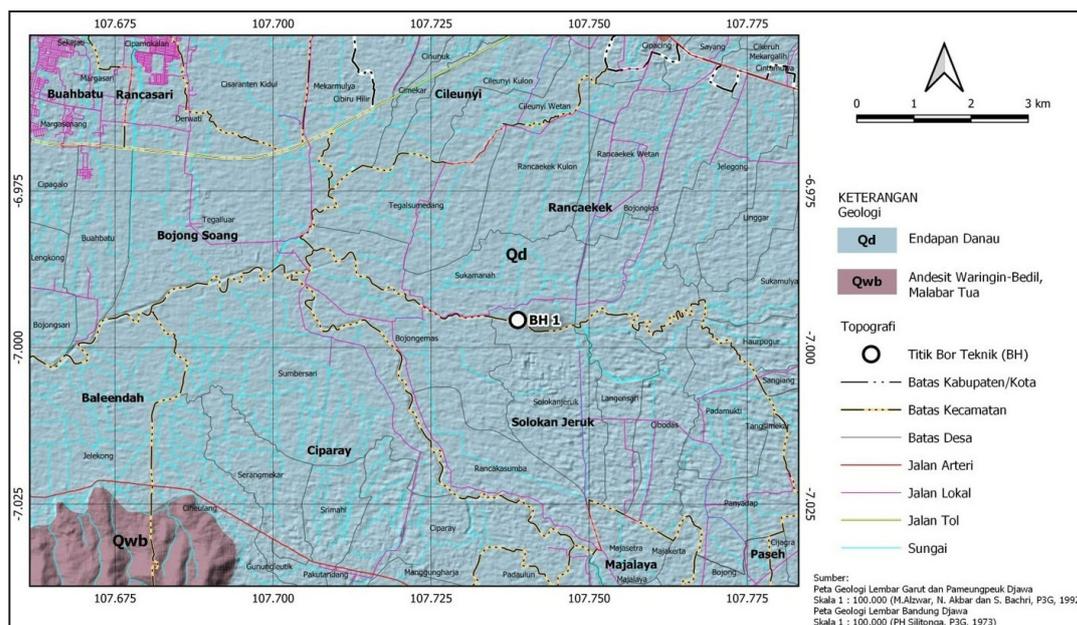
Apabila amblesan tanah yang terdeteksi di permukaan oleh Abidin (2011) melibatkan faktor litologi maka terdapat pertanyaan mengenai jenis dan sifat litologi yang dapat merespon amblesan tanah. Permasalahan ini penting untuk diketahui karena setiap litologi mempunyai karakter khas dalam merespon faktor-faktor penyebab amblesan tanah. Berdasarkan empat faktor yang telah disebutkan oleh Abidin (2011), penelitian ini akan mengkaji salah satu faktor penyebab amblesan tanah yaitu faktor konsolidasi alamiah. Lokasi tipe yang digunakan adalah endapan danau menurut versi Dam dan Suparan (1992) karena endapan danau termasuk bagian yang memiliki potensi amblesan tanah sebagaimana hasil pengamatan Abidin (2011).

Lokasi penyelidikan merupakan endapan danau yang terletak di Solokan Jeruk, Kabupaten Bandung (Gambar 1).

Lokasi studi terletak di daerah Solokan Jeruk yang merupakan paparan endapan aluvial terdiri atas lempung, lanau, pasir dan kerikil berumur Kuartar (Gambar 1). Dataran Bandung merupakan cekungan antarpegunungan yang tersusun oleh endapan danau, kipas danau, rawa, kipas aluvial, dataran banjir, paleosoil yang berumur Kuartar Akhir, di bagian tengah cekungan ini terdapat empat runtunan sedimen lempung danau dengan lapisan sisipan fasies vulkanik-lastik dan fluvial (Dam, 1994). Kondisi tersebut ada yang bersifat lunak dan masih mengalami konsolidasi. Lapisan endapan danau ini mempunyai ketebalan mencapai 150-200 m (Hutasoit, 2009). Selain itu, berdasarkan data kedudukan muka air tanah dan peta sebaran muka air tanah, terdapat beberapa daerah di wilayah Cekungan Bandung yang memiliki kedudukan muka air tanah yang dangkal dengan kedalaman < 10 m (Hutasoit, 2009).

Zona Bandung merupakan sebuah depresi yang memanjang di tengah Jawa Barat. Susunan stratigrafi Cekungan Bandung berdasarkan *Peta*

*Geologi lembar Bandung* (Silitonga, 1973), *Lembar Garut dan Pameungpeuk* (Alzwar dr, 1992) dan *Lembar Cianjur* (Sujatmiko, 1972) dari tua ke muda serta hasil penelitian dari Koesoemadinata (1981) terdiri atas Formasi Cikapundung (Qvu) yang terdiri atas konglomerat vulkanik, breksi vulkanik, tufa dan sisipan aliran lava andesit. Pada mulanya Silitonga (1973) menamai satuan ini sebagai hasil gunungapi tua tak teruraikan, kemudian Koesoemadinata (1981) mengusulkan untuk merubah satuan ini menjadi Formasi Cikapundung. Hasil gunungapi muda tak teruraikan (Qyu) yang terdiri atas pasir tufaan, lapilli, breksi, lava, aglomerat, sebagian berasal dari G. Tangkubanperahu dan dari G. Tampomas. Formasi Cibeureum (Qyt) yang terdiri atas pasir tufaan, lapilli, bom-bom, lava berongga dan kepingan-kepingan andesit, basal padat yang bersudut dengan banyak bongkah-bongkah dan pecahan-pecahan batupung yang berasal dari G. Tangkubanperahu dan G. Tampomas. Pada mulanya Silitonga (1973) menamai satuan ini sebagai tufa berbatupung, kemudian Koesoemadinata (1981) mengusulkan menjadi Formasi Cibeureum. Formasi Cikidang (Qyd) yang terdiri atas tufa pasir coklat sangat sarang,



Gambar 1. Peta geologi daerah Solokan Jeruk dan sekitarnya (Modifikasi dari *Peta geologi Lembar Garut dan Pamengpeuk Djawa Skala 1:100.000*).

mengandung Kristal hornblende yang kasar, lahar, lapuk kemerah-merahan, lapisan lapilli dan breksi. Formasi Kosambi (Qd) yang terdiri atas lempung tufaan, batupasir tufaan, kerikil tufaan. Formasi ini pada mulanya bernama endapan danau oleh Sudjarmiko (1972) dan Silitonga (1973) kemudian diubah oleh Koesoemadinata (1981) menjadi Formasi Kosambi.

Zona Bandung merupakan sebuah depresi yang memanjang di tengah Jawa Barat. Susunan stratigrafi Cekungan Bandung berdasarkan *Peta Geologi Lembar Bandung* (Silitonga, 1973), *Lembar Garut dan Pameungpeuk* (Alzwar dr, 1992) dan *Lembar Cianjur* (Sujarmiko, 1972) dari tua ke muda serta hasil penelitian dari Koesoemadinata (1981) terdiri atas Formasi Cikapundung (Qvu) yang terdiri atas konglomerat vulkanik, breksi vulkanik, tufa dan sisipan aliran lava andesit. Pada mulanya Silitonga (1973) menamai satuan ini sebagai hasil gunungapi tua tak teruraikan, kemudian Koesoemadinata (1981) mengusulkan untuk merubah satuan ini menjadi Formasi Cikapundung. Hasil gunungapi muda tak teruraikan (Qyu) yang terdiri atas pasir tufaan, lapilli, breksi, lava, aglomerat, sebagian berasal dari G. Tangkubanperahu dan dari G. Tampomas. Formasi Cibereum (Qyt) yang terdiri atas pasir tufaan, lapilli, bom-bom, lava berongga dan kepingan-kepingan andesit, basal padat yang bersudut dengan banyak bongkah-bongkah dan pecahan-pecahan batuapung yang berasal dari G. Tangkubanperahu dan G. Tampomas. Pada mulanya Silitonga (1973) menamai satuan ini sebagai tufa berbatuapung, kemudian Koesoemadinata (1981) mengusulkan menjadi Formasi Cibereum. Formasi Cikidang (Qyd) yang terdiri atas tufa pasir coklat sangat sarang, mengandung kristal hornblende yang kasar, lahar, lapuk kemerah-merahan, lapisan lapilli dan breksi. Formasi Kosambi (Qd) yang terdiri atas lempung tufaan, batupasir tufaan, kerikil tufaan. Formasi ini pada mulanya bernama endapan danau oleh Sudjarmiko (1972) dan Silitonga (1973) kemudian diubah oleh Koesoemadinata (1981) menjadi Formasi Kosambi.

Dam dan Suparan (1992) telah memberikan gambaran mengenai bentuk ideal Cekungan Bandung yang terdiri atas: Endapan banjir (*Floodplain deposit*) terbentuk selama banjir akibat limpahan air sungai di Cekungan Bandung. Lokasi yang mewakili terdapat di barat laut Cicalengka dekat Kp. Nagrag. *Channel deposit* yang muncul setempat-setempat, tetapi kadang sebagai *minor intercalations*. Lokasi yang mewakili terdapat di sekitar S. Citarum barat laut Majalaya. Endapan danau (*Lake deposit*) memiliki ciri berupa lempung organik, *gyttja* dan gambut, serta humus dari menengah sampai tinggi. Selain itu juga terdapat lanau dan pasir. Lokasi yang mewakili *lake deposit* berada di selatan Rancaekek sedangkan *peaty lake deposit* terdapat di tenggara cekungan Bandung dekat Kampung Ragas yang merupakan gambut insitu. Endapan kipas danau (*Lake fan deposit*) berada dekat dengan tepi cekungan yang merupakan peralihan antara endapan danau dengan endapan kipas aluvial. Lokasi yang mewakili *lake fan deposit* berada di utara Majalaya yang merupakan bagian kipas aluvial Sungai Citarum. Endapan kipas aluvial (*Alluvial fan deposit*) memiliki ciri endapan kasar dan tidak adanya humus, sesuai dengan posisi geomorfologinya. Endapan kipas aluvial pada umumnya berada di zona tepi cekungan landai yang mengelilingi dataran Bandung. Lokasi yang mewakili terdapat di Soreang. Endapan kipas Bandung (*Bandung fan deposit*) memiliki ciri pasir padat-batupasir dengan kerikil dan interkalasi lempung dengan semen oksida karat dan silika

## METODE PENELITIAN

Penerapan metode yang digunakan yaitu pemboran inti disertai uji SPT, pengujian dissipasi dan pengujian laboratorium geologi teknik meliputi sifat fisik dan uji konsolidasi. Pengujian yang telah dilakukan di laboratorium bertujuan untuk mengetahui perilaku lempung jika mengalami pembebanan. Pengujian sifat fisik tanah meliputi pengujian kadar air (*water content*), berat jenis tanah (*specific gravity*), berat volume

tanah (*bulk density*), hubungan berat dan volume tanah, Analisis butiran (*grain size analysis*), pengujian batas atterberg, klasifikasi tanah. Kemampuan tanah dalam menahan beban berbeda-beda tergantung pada jenis tanahnya. Umumnya tanah berbutir halus memiliki kapasitas yang relatif lebih kecil dalam menahan beban daripada tanah berbutir kasar. Oleh karena itu, tanah berbutir halus memiliki tingkat kompresibilitas yang lebih besar. Nilai indeks kompresi  $C_c$  bervariasi untuk jenis tanah yang berbeda, di mana karakteristik kompresibilitas seperti indeks kompresi menggunakan batas cair, kadar air alami ( $W_n$ ), indeks plastisitas, spesifik gravitasi, dan beberapa sifat tanah lainnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemboran inti, litologi lokasi penelitian di Solokan Jeruk hingga kedalaman 45 m di bawah muka tanah adalah sebagai berikut: Lempung-lempung pasiran pada kedalaman 0 - 2,5 m, berwarna abu-abu, dengan konsistensi lunak-teguh, plastisitas sedang-tinggi, berbau karat, terdapat sisipan tipis berupa pasir kasar sekitar 30 cm. Lempung hitam pada kedalaman 2,5 m - 24,5 m dengan konsistensi lunak-teguh, plastisitas sedang-sangat tinggi, berbau karat dengan spot-spot pasir abu-abu, berbutir halus, bersifat urai-agak urai, terdapat spot-spot sisa-sisa tumbuhan dan gambut/arang kayu. Lempung coklat kehijauan pada kedalaman 24,5 m-36 m, konsistensi lunak-teguh, plastisitas sedang-tinggi, dengan spot-spot pasir abu-abu kehitaman, bersifat urai, berbutir halus-sedang. Pasir lempungan-pasir kerikilan pada kedalaman 36 m -40,1 meter berupa selang seling antara lempung abu-abu kehitaman-lempung abu-abu kehijauan dengan pasir abu-abu kehitaman, sedikit berbau karat pada bagian atas lapisan yang berbatasan dengan lempung. Pasir kerikilan berada pada kedalaman 40,1 m-45 m berwarna abu-abu tua, bersifat urai-padat, berbutir sedang-kasar, terdapat struktur laminasi dan menghalus ke atas dan menghalus ke atas.

Hasil analisa menunjukkan bahwa sifat fisik memperlihatkan distribusi butiran kandungan lempung 48,81-63,64 % dan lanau 46,17-76,47 % kadar air berkisar 33,84-98,76 %, indeks plastis 11,11-61,68 % dan indeks kompresi 0,1037 – 1,0818 yang diklasifikasikan sebagai tanah lempung plastisitas rendah hingga tinggi (CH/MH) dengan aktivitas tinggi. Pemerian litologi tersebut apabila disetarakan dengan fasies pada Cekungan Bandung menurut Dam dan Suparan (1992) adalah sebagai berikut: kedalaman 0 m - 2,5 m setara dengan fasies lempung pasiran organik-pasir lempungan. Kedalaman 2,5 m - 24,5 m setara dengan fasies lempung organik dan *gyttja*. Kedalaman 24,5 m - 36 m setara dengan fasies lempung (24,5 m – 36 m). Kedalaman 36 m - 45 m setara dengan fasies *channel sand* (36 m – 45 m)

Lokasi pengeboran di Solokan Jeruk tidak menjumpai endapan fase sebelum danau Bandung hingga fase II pembentukan danau Bandung versi Dam dan Suparan (1992) hingga kedalaman 45 m di bawah muka tanah. Dominasi fase pembentukan danau Bandung hingga kedalaman 45 m diperkirakan berada pada fase III mulai dari kedalaman lebih dari 7 m di bawah permukaan tanah. Perkembangan fasies jika disetarakan dengan versi Dam dan Suparan (1992) hingga kedalaman 45 m adalah fasies *channel sand* mulai kedalaman 36 m-45 m yang menandakan proses fluvial cukup berperan sebagai endapan *channel*. Lokasi ini diperkirakan sebagai jalur perubahan aliran sungai Citarik purba yang pada saat sekarang lokasi titik bor dengan sungai Citarik sekitar 100 m. Struktur sedimen yang terekam pada pasir kerikilan berupa laminasi paralel. Proses fluvial berikutnya masih berjalan hingga kedalaman 24,5 m dengan dominasi material halus. Tahap ini merupakan fasies lempung dengan lingkungan pengendapan *overbank* dan *backswamp*. Fase berikutnya berupa fasies lempung organik dan *gyttja* yang merupakan lingkungan danau agak dalam dan rawa yang cukup tebal sekitar 17,5 m. Indikasi sisa-sisa tumbuhan pada data bor dan konsistensi lempung sangat lunak-lunak meru-

pakannya penciri utama yang memiliki kesetaraan dengan fasies ini versi Dam dan Suparan (1992)

Sifat fisik khas pada lokasi pengeboran di Solokan Jeruk adalah nilai kadar air dan batas cair yang tinggi (Gambar 2) selain fasies *channel sand* serta memiliki kandungan organik. Kondisi ini memperkuat bahwa lokasi ini merupakan bagian dari endapan danau Bandung pada yang terbentuk pada energi rendah dan relatif tenang. Nilai kadar air yang terdapat pada lokasi ini adalah 57,26 – 191,52%. Sedangkan nilai batas cairnya berkisar antara 68,73 – 251,27 % atau melebihi seratus persen (Gambar 2) mengindikasikan lingkungan pengendapannya adalah menuju gambut. Nilai indeks kompresibilitasnya juga menunjukkan plastisitas yang dominan sangat dengan kisaran angka  $>0,3$  (Bell, 2007).

Fasies lempung pasiran organik-pasir lempungan dan fasies lempung organik dan *gyttja* memiliki daya dukung yang relatif rendah yaitu pada konsistensi sangat lunak hingga teguh. Nilai hasil uji penetrasi standar (N-SPT) yang bernilai 1 dan 2 (Gambar 3) merupakan lumpur dan terjadi pada fasies lempung organik dan *gyttja*. Fasies lempung mulai kedalaman 24,5 m di bawah muka tanah memiliki nilai N-SPT yang lebih besar dibandingkan dua fasies sebelumnya dan memiliki konsistensi lunak sampai kaku yaitu bernilai antara 5 hingga 14. Daya dukung pada ketiga fasies di atas cenderung tergantung pada kekuatan tahanan samping daripada tahanan ujung. Fasies *channel sand* memiliki daya dukung yang relatif besar karena memiliki tingkat kepadatan tinggi dengan nilai N-SPT lebih dari 60. Pada kedalaman 2-27 m menggambarkan lempung bersifat plastis sedang-tinggi dengan nilai N-SPT 1 hingga 10 yang dapat dikategorikan daya dukung rendah. Fasies lempung pasiran organik-pasir lempungan dan fasies lempung organik dan *gyttja* memiliki daya dukung yang relatif rendah yaitu pada konsistensi sangat lunak hingga teguh.

Nilai hasil uji penetrasi standar (N-SPT) yang bernilai 1 dan 2 (Gambar 3) merupakan lumpur dan terjadi pada fasies lempung organik dan

*gyttja*. Fasies lempung mulai kedalaman 24,5 m di bawah muka tanah memiliki nilai N-SPT yang lebih besar dibandingkan dua fasies sebelumnya dan memiliki konsistensi lunak sampai kaku yaitu bernilai antara 5 hingga 14. Daya dukung pada ketiga fasies di atas cenderung tergantung pada kekuatan tahanan samping daripada tahanan ujung. Fasies *channel sand* memiliki daya dukung yang relatif besar karena memiliki tingkat kepadatan tinggi dengan nilai N-SPT lebih dari 60.

Sketsa lapisan tanah pada gambar 4 menunjukkan terdapat dua model proses disipasi yang menyebabkan potensi penurunan karena keluarnya air pori ke lapisan yang lebih sarang. Model pertama adalah proses disipasi satu arah aliran pada kedalaman 14,5 m dan 36 m yang merupakan pintu keluar air pori. Pada kedalaman 14,5 m diperkirakan sebagai pasir yang melensa sedangkan pada kedalaman 36 m merupakan akuifer tertekan yang lapisannya bersifat menerus. Model kedua adalah proses disipasi dengan dua arah aliran pada kedalaman 37,1 m-40 m.

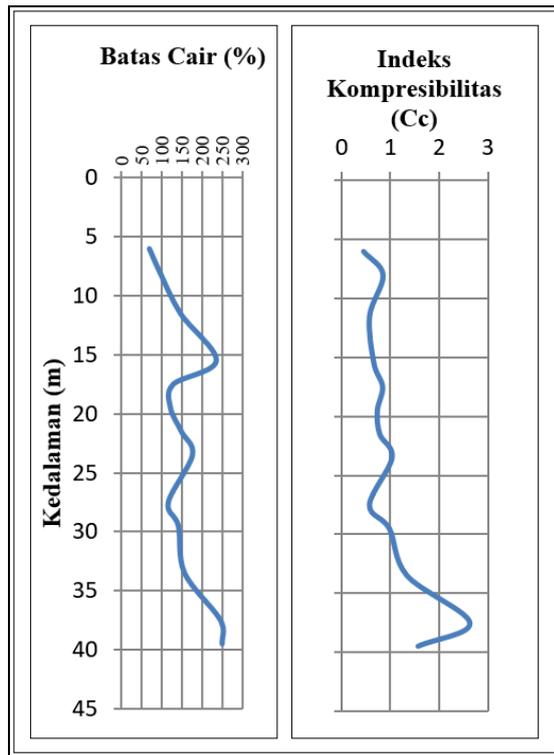
Perwakilan uji disipasi pada lempung endapan danau ini telah dilakukan pada kedalaman 20 m di bawah muka tanah (Gambar 4). Hasil pengujian tersebut menunjukkan perubahan tekanan air pori terhadap waktu yang disajikan dalam bentuk logaritmik (Gambar 5).

Prediksi untuk mengetahui derajat konsolidasi menggunakan formula yang telah dipublikasikan oleh Lim, et al (2006) yang merupakan derajat konsolidasi semu ( $U^*$ ) yaitu:

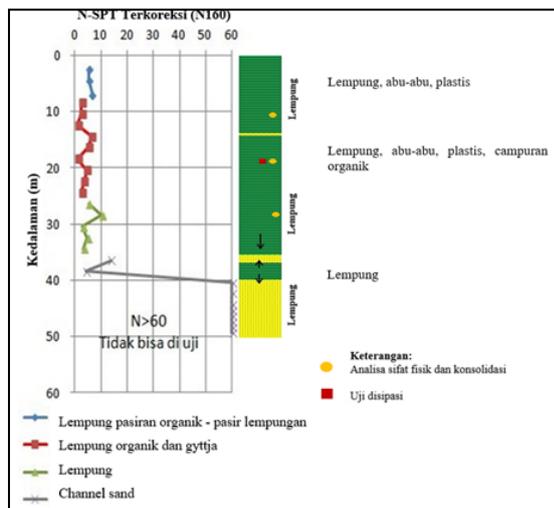
$$U^* = \frac{u_2 - u_0}{u_2 - u_w}$$

Dari formula tersebut diketahui bahwa derajat konsolidasi semu ( $U^*$ ) dihasilkan dari nilai tekanan air pori pada saat pengukuran ( $u_2$ ) yang dikurangi tekanan air pori pada saat kondisi awal/inisial ( $u_0$ ) lalu dibagi dengan tekanan air pori pada saat pengukuran ( $u_2$ ) yang dikurangi tekanan air hidrostatik ( $u_w$ ).

Pengujian disipasi membutuhkan waktu yang lama sehingga dalam memperkirakan nilai

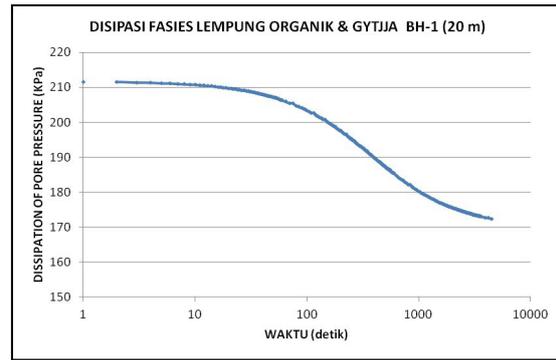


Gambar 2. Nilai batas cair dan indeks kompresibilitas.

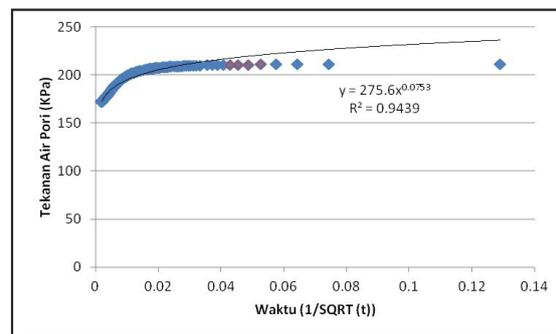


Gambar 3. Hasil uji penetrasi standar dan sketsa model arah penurunan tanah di Titik Bor Solokan Jeruk.

tekanan air pori inisial menurut Liu, et al (2014) dengan merubah skala waktu (t) menjadi  $1/\sqrt{t}$ . Das (2008) menyebutkan adanya derajat konsolidasi yang merupakan perbandingan antara tekanan air pori berlebih yang terdisipasi terhadap tekanan air pori berlebih pada saat kondisi awal. Berdasarkan persamaan 1, derajat konsoli-



Gambar 4. Hasil kurva disipasi pada lempung lunak kedalaman 20 m.



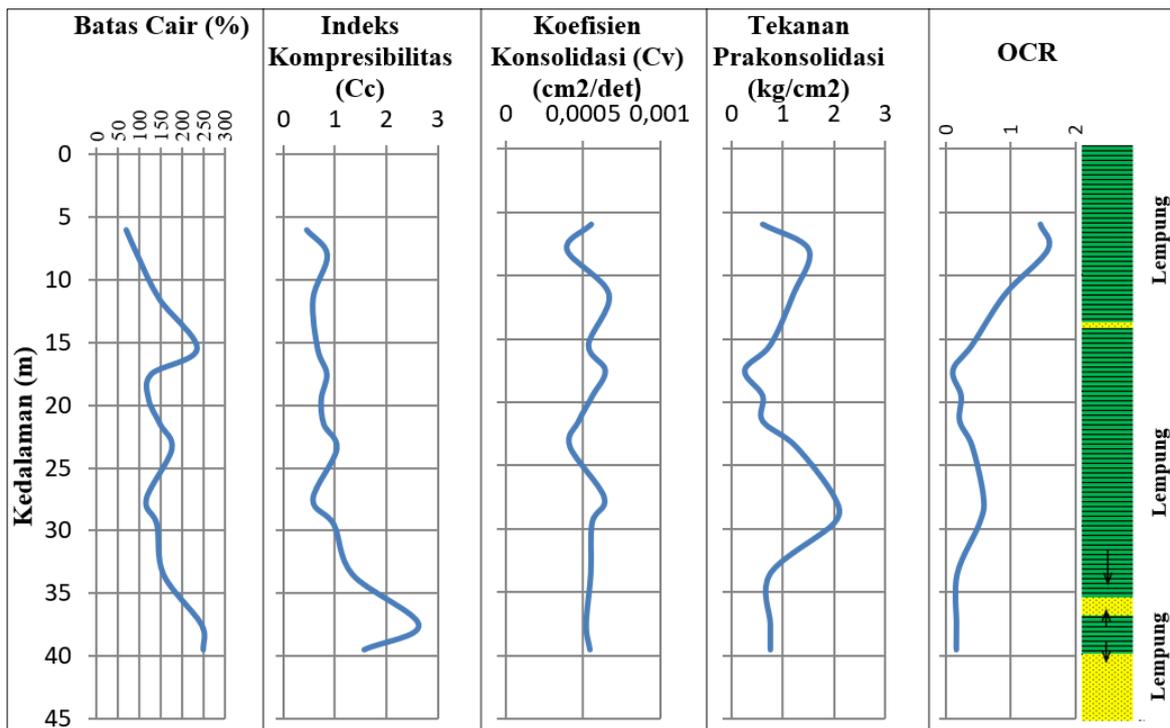
Gambar 5. Kurva hubungan tekanan air pori terhadap waktu pada kedalaman 20 m.

dasi pada lempung lunak memiliki nilai 31,86 %. Pengujian disipasi membutuhkan waktu yang lama sehingga dalam memperkirakan nilai tekanan air pori inisial menurut Liu, et al (2014) dengan merubah skala waktu (t) menjadi  $1/\sqrt{t}$ . Nilai ini menunjukkan konsolidasi alamiah yang telah berjalan masih sekitar sepertiga dari total konsolidasi primer sehingga potensi konsolidasi di masa mendatang masih lama.

Apabila mengacu pada umur pengendapan menurut data *dating* yang telah dilakukan Dam dan Suparan (1992), kesetaraan lempung di daerah penyelidikan pada fase III dan IV. Kesetaraan elevasi lempung lunak pada elevasi 666 hingga 636 m mengindikasikan umur pengendapan mulai dari sekitar 45000 tahun hingga 27000 tahun dan mempunyai rentang waktu pengendapan sekitar 18000 tahun. Selama rentang ini, derajat konsolidasi sebesar 31,86% menunjukkan potensi penurunan akibat konsolidasi alamiah di danau Bandung bergerak relatif lambat.

Pengujian konsolidasi dilakukan untuk mengetahui parameter kompresibilitas seperti laju kompresi, konduktivitas hidrolik, indeks kompresi, tingkat konsolidasi dan modulus kompresi (Das, 2008) Hasil pengujian konsolidasi lempung dari bor Solokan Jeruk terlihat pada Tabel 1. Berdasarkan nilai rasio konsolidasi berlebih (OCR) pada gambar 7, hasil OCR <1 memiliki potensi amblesan tanah yang

tinggi karena tanah masih mengalami proses konsolidasi (*underconsolidated*) hingga baru terkonsolidasi normal. Kondisi lempung pada lokasi ini merupakan endapan danau yang masih fase terkonsolidasi normal. Konsekuensi keadaan ini adalah potensi proses pemampatan yang memicu proses penurunan secara alamiah dapat terjadi secara alami (Gambar 6 dan Tabel 1).



Gambar 6. Perilaku parameter yang berkaitan dengan konsolidasi.

Tabel 1. Hasil uji konsolidasi lempung Bor Solokan Jeruk

Kedalaman (m)	Batas Cair (%)	Indeks Kompresibilitas (Cc)	Koefisien Konsolidasi (Cv) cm <sup>2</sup> /det	Tekanan Prakonsolidasi (kg/cm <sup>2</sup> )	OCR
6.-6.5	68,73	0,4475	5,52 x 10 <sup>-4</sup>	0,6	1,4
8-8.5	95,12	0,8478	3,92 x 10 <sup>-4</sup>	1,5	1,5
11.5-12	46,89	0,5697	6,68 x 10 <sup>-4</sup>	1,2	1
15.5-16	236,55	0,6600	5,34 x 10 <sup>-4</sup>	0,8	0,5
17.5-18	128,54	0,8383	6,44 x 10 <sup>-4</sup>	0,3	0,2
19.5-20	121,67	0,7303	5,60 x 10 <sup>-4</sup>	0,6	0,3
21.5-22	148,97	0,7783	4,69 x 10 <sup>-4</sup>	0,6	0,3
23.5-24	176,71	1,0328	4,12 x 10 <sup>-4</sup>	1,3	0,5
27.5-28	116,25	0,5684	6,37 x 10 <sup>-4</sup>	2,0	0,8
29.5-30	141,46	0,9759	5,57 x 10 <sup>-4</sup>	2,0	0,7
33.5-34	156,99	1,3389	5,49 x 10 <sup>-4</sup>	0,8	0,2
37.5-38	247,20	2,6320	5,19 x 10 <sup>-4</sup>	0,75	0,2
39.5-40	251,27	1,5675	5,43 x 10 <sup>-4</sup>	0,8	0,2

Indeks kompresibilitas ( $C_c$ ) pada gambar 6 menurut klasifikasi Bell (2007) termasuk dalam kategori sangat tinggi dan nilai yang melebihi angka 1 termasuk dalam kategori *colloidal bentonic clay*. Bell (2007) menyebutkan bahwa nilai indeks kompresibilitas sebanding dengan nilai batas cairnya. Nilai batas cair yang tinggi dan nilai uji penetrasi yang sangat rendah menunjukkan kondisi tanah yang mendekati ke arah gambut.

Nilai koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) merupakan salah satu parameter yang dapat memperkirakan laju konsolidasi. Gambar 7 menunjukkan hasil bahwa nilai koefisien konsolidasi dari permukaan hingga ke bawah menunjukkan perilaku yang relatif sama sehingga potensi penurunan akibat konsolidasi primer memiliki peluang laju yang relatif sama pula.

Pada tanah lempung, jika N-SPT meningkat maka kuat geser tanah juga akan meningkat yang ditunjukkan dengan meningkatnya nilai N-SPT akan diikuti dengan meningkatnya nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah. Selanjutnya peningkatan N-SPT akan diikuti dengan meningkatnya nilai daya dukung tanah yang ditunjukkan dengan meningkatnya nilai N-SPT maka nilai berat volume tanah kering dan nilai berat volume tanah basah juga akan meningkat. Sebaliknya peningkatan nilai N-SPT akan diikuti dengan menurunnya nilai koefisien kompresi dan nilai koefisien konsolidasi

## KESIMPULAN

Analisis kondisi sifat keteknikan lempung bawah permukaan dataran Solokan Jeruk di Cekungan Bandung memperlihatkan keberadaan lempung mulai kedalaman 11,5-40 m mempunyai karakteristik plastisitas tinggi yang dikategorikan CH/MH, relatif lunak dan merupakan lempung aktif. Nilai indeks kompresibilitas  $>0,3$  dan  $OCR < 1$  menunjukkan bahwa lokasi ini masih mengalami konsolidasi hingga terkonsolidasi normal. Kondisi endapan lempung menunjukkan kondisi yang sangat kompresibel dengan

nilai 2,630 terdapat pada kedalaman 37,1 m - 40 m, mempunyai daya dukung rendah dan rentan terhadap amblesan akibat proses alami. Secara alami, pada kasus endapan danau di Solokan Jeruk memiliki kompresibilitas tinggi terjadi pada lempung lunak yang bersifat organik dan dalam kondisi terkonsolidasi normal. Selain itu, derajat konsolidasi bernilai kecil (31,86%) sehingga masih berpeluang untuk terjadi penurunan tanah di masa mendatang dengan catatan apabila terjadi ketidakseimbangan yang menyebabkan proses disipasi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kepala Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan serta Koordinator Geologi Teknik yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan kajian ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z., I. Gumilar, H. Andreas, T. P. Sidiq, Y. Fukuda & T. Deguchi. 2011. *On Causes and Impacts of Land Subsidence in Bandung Basin*, Indonesia, Maroko, FIG Working Week TS06G – GNSS, p. 1-18. DOI:10.1007/s12665-012-1848-z
- Alzwar M., N. Akbar & S. Bachri. 1992. Peta Geologi Lembar Garut dan Pameungpeuk, Jawa, Skala 1:100.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Ambarwati, I.W., Feranie, S., & Tohari, A., 2020. Analisis Potensi Likuifaksi Di Wilayah Cekungan Bandung dengan Menggunakan Metode Uji Penetrasi Konus, Riset Geologi dan Pertambangan Vo. 30 No.1, Pusat Penelitian Geoteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, p.34. DOI: 10.14203/risetgeotam2020.v30.1038
- Bell F.G., 2007. *Engineering Geology*, 2<sup>nd</sup> edition, Elsevier Ltd., USA, p. 217-227.
- Bronto, S., Hartono, U. 2006, Potensi sumber daya geologi di daerah Cekungan Bandung

- dan sekitarnya, *Jurnal Geologi Indonesia* 1(1), 9-18. DOI:10.17014/ijog.1.1.9-18
- Chaussard E., Ameulung F., Abidin H. and Hong S.H., 2013. *Sinking cities in Indonesia: ALOS PALSAR detects rapid subsidence due to groundwater and gas extraction: Remote Sensing of Environment*, v. 128, p. 150–161. DOI: 10.1016/J.RSE.2012.10.015
- Dam, M.A.C. & P. Suparan. 1992. *Geology of The Bandung Basin Deposits*, Bandung, Geological Research & Development Centre, Bandung & Earth Sciences Department, Free University, Amsterdam., pp.80.
- Dam, M.A.C., Suparan, P., Nossin, J.J., Voskuil R.P.G.A. 1996. *A chronology for geomorphological developments in the greater Bandung area, West-Java, Indonesia. Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 14 (1-2).
- Das B.M. 2008. *Advanced Soil Mechanics, 3<sup>rd</sup> edition*, Taylor & Francis Group, p. 276-372.
- Gumilar, I., Abidin, H.Z., Hutasoit, L.M., Hakim, M.D., Sidiq, P.T., Andreas, H. 2015. *Land subsidence in Bandung Basin and its possible caused factors, Procedia Earth and Planetary Science* 12, p.47–62. DOI: 10.1016/j.proeps.2015.03.026
- Harnandi, D., Iskandar, N., Nuzulliyantoro, A.T. 2000. Pengelolaan air tanah Cekungan Bandung. *Buletin Geologi Tata Lingkungan*, p.1-6.
- Hutasoit, L.M. 2009. Kondisi permukaan air tanah dengan dan tanpa peresapan buatan di daerah Bandung: hasil simulasi numerik. *Jurnal Geologi Indonesia*, 4(3), 177-188. DOI:10.17014/ijog.4.3.177-188
- Koesoemadinata, R.P & Djoko Hartono, 1981. *Stratigrafi dan Sedimentasi Daerah Bandung: Pertemuan Ilmiah Tahunan Ikatan Ahli Geologi Indonesia*, Bandung, IAGI.
- Lim, B. S., M. T. Tumay, and D. D. Seo. 2006. *Status of consolidation from incomplete Piezocone dissipation tests. Site and geomaterial characterization (GSP 149). Proceedings of sessions of GeoShanghai*. ASCE, Shanghai, China. n 149, p. 56–63.
- Liu, S., Ju, J., Cai, G., and Liu, Z. 2014. *Stress History Estimation Method of Underconsolidated Soil by Partial Piezocone Dissipat.*
- Silitonga, P.H. 1973. *Peta Geologi Lembar Bandung, Jawa Barat, Skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- SNI 2436. 2008. *Tata cara pencatatan dan identifikasi hasil pengeboran inti*, Badan Standarisasi Nasional, ICS 93.020, 33 hal.
- Sudjatmiko. 1972. *Peta Geologi Lembar Cianjur, Jawa Barat, Skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Sulaeman, C., dan Hidayati, S. 2011. Gempa Bumi Bandung 22 Juli 2011. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, Vol. 2 No. 3 Desember 2011: 185 – 190.
- Tohari, A., Soebowo, E., Wibawa, S., Syahbana, A.A. 2015. *Kondisi Geologi Teknik Bawah Permukaan Wilayah Cekungan Bandung*, Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Geoteknologi Untuk Menunjang Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia, h. 83-93. ISSN/ ISBN/IBSN: 978-979-8636-30-1
- Wangsaatmaja, S., Sabar, A., Angela, M. 2006. *Permasalahan dan Strategi Pembangunan Lingkungan Berkelanjutan Studi Kasus: Cekungan Bandung*, *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 1 No. 3 September 2006, p.163-17. DOI:10.17014/ijog.1.3.163-171