



Gangguan Sampel dan Dampaknya pada Sifat-Sifat Tanah Dalam Uji Laboratorium Mekanika Tanah: *Literature Review*

*Yanyan Agustian, Udin Komarudin, Neris Peri Ardiansyah

Fakultas Teknik, Universitas Widyatama, Bandung

*yanyan.agustian@widyatama.ac.id

Received: 8 September 2023 Revised: 4 Agustus 2024 Accepted: 9 Agustus 2024

Abstract

Sample disturbance in soil laboratory testing poses a significant issue due to its impact on test results, which can further affect geotechnical and foundation design. This study aims to analyze previous research related to various sampling methods and laboratory tests to understand the characteristics and properties of disturbed soil samples and their test results. Additionally, it seeks to understand developments in mitigating these disturbances, thereby encouraging researchers to continue developing methods and testing equipment that minimize sample disturbance. The methodology involves a literature review spanning the last 70 years, leading to several key conclusions: First, sample disturbance can occur during sampling and laboratory testing, including sampling methods, sample size, testing techniques, and equipment. Second, the most crucial impact of sample disturbance is the alteration in shear strength under both static and dynamic conditions, as well as changes in soil compressibility. To address these issues, this research proposes using a combination of laboratory tests and in-situ testing as an effective alternative to minimize disturbances and validate laboratory test results.

Keywords: *Sample disturbance, laboratory test, in-situ, geotechnical laboratory, shear strength, sampling method*

Abstrak

Gangguan sampel atau sample disturbance dalam uji tanah di laboratorium merupakan masalah karena dampaknya yang signifikan terhadap hasil pengujian dan dapat memengaruhi desain geoteknik serta fondasi. Penelitian ini bertujuan menganalisis hasil penelitian terdahulu terkait berbagai metode sampling dan uji laboratorium untuk memahami karakteristik dan sifat-sifat sampel uji yang mengalami gangguan beserta hasil pengujiannya. Selain itu, penelitian ini bertujuan memahami perkembangan penanggulangan gangguan tersebut hingga saat ini, sehingga mendorong para peneliti untuk terus mengembangkan metode dan peralatan uji yang dapat mengurangi dampak gangguan sampel seminimal mungkin. Metode penelitian melibatkan tinjauan literatur selama 70 tahun terakhir, dan beberapa hal dapat disimpulkan: Pertama, gangguan pada sampel bisa terjadi selama pengambilan sampel dan uji laboratorium, termasuk metode sampling, ukuran sampel, serta alat uji. Kedua, dampak paling krusial dari gangguan sampel adalah perubahan pada kekuatan geser, baik dalam kondisi statis maupun dinamis, serta sifat kompresibilitas tanah. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian ini mengusulkan penggunaan kombinasi uji laboratorium dan pengujian in-situ sebagai alternatif efektif untuk mengurangi gangguan dan memvalidasi hasil uji laboratorium.

Kata kunci: *Gangguan sampel; in-situ; uji laboratorium; kuat geser, sampling*

Pendahuluan

Salah satu kebutuhan kritis dalam rekayasa sipil adalah untuk menyediakan desain pondasi dan struktur tanah dengan tingkat keamanan yang dapat diterima terkait dengan kegagalan geser atau penurunan yang berlebihan. Prosedur umum untuk

mencapai desain yang dibutuhkan adalah dengan mengambil contoh tanah dan melakukan uji laboratorium untuk menganalisa karakteristik tanah tersebut, lalu merancang struktur yang dibutuhkan berdasarkan analisis menggunakan sifat-sifat tanah yang diukur di laboratorium dan menyesuaikan desain, yaitu menerapkan faktor keamanan yang

sesuai untuk jenis struktur yang yang menjadi pertimbangan.

Tanah merupakan salah satu elemen fundamental dalam rekayasa geoteknik dan konstruksi, dan pemahaman yang akurat tentang sifat-sifat mekanisnya menjadi krusial untuk keberhasilan proyek-proyek infrastruktur dan bangunan. Dalam konteks pengujian geoteknik, uji laboratorium memegang peranan penting dalam menggambarkan karakteristik tanah secara lebih terperinci. Namun, dalam proses pengambilan, penanganan, dan persiapan sampel tanah untuk uji laboratorium, sering kali terjadi fenomena yang dikenal sebagai *sample disturbance* (gangguan sample). Gangguan sampel ini dapat menyebabkan perubahan signifikan pada sifat-sifat fisik dan mekanik tanah yang diuji, sehingga mengarah pada hasil uji laboratorium yang mungkin tidak mencerminkan kondisi asli di lapangan.

Pentingnya pengurangan gangguan pada sampel dalam pengujian geoteknik semakin ditekankan oleh fakta bahwa hasil uji laboratorium yang akurat berperan dalam pengambilan keputusan yang benar terkait rancangan struktur, analisis stabilitas lereng, perencanaan dasar, dan sejumlah aplikasi geoteknik lainnya. Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang dampak gangguan sampel dan upaya-upaya untuk mengatasi masalah ini menjadi esensial bagi para praktisi geoteknik.

Pada kajian literatur ini, penulis menganalisis berbagai aspek terkait gangguan pada sampel dalam konteks uji laboratorium mekanika tanah. Dibahas juga definisi dan penyebab gangguan sampel, serta bagaimana hal ini dapat berdampak pada interpretasi hasil uji. Selain itu, menganalisa upaya-upaya yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu untuk mengurangi dampak gangguan pada sampel, termasuk metode pengambilan sampel, teknik persiapan sampel, dan penggunaan alat uji *in-situ*. Melalui analisis literatur yang mendalam, tujuan dari tulisan ini adalah untuk meningkatkan pemahaman tentang bagaimana gangguan sampel memengaruhi parameter tanah yang diukur di laboratorium dengan meninjau dan merangkum studi-studi lama sampai dengan terbaru yang relevan yang dilakukan untuk mengevaluasi efek gangguan sampel pada sifat-sifat tanah yang diukur di laboratorium dan serta berdiskusi terkait pengembangan untuk pengurangan dalam hal gangguan pada sampel uji.

Dampak dari gangguan pada sifat-sifat tanah yang diukur telah diakui sejak lama. Hvorslev (1949) menyebutkan bahwa gangguan disebabkan oleh lima mekanisme, yaitu perubahan dalam kondisi tegangan, perubahan dalam struktur tanah,

perubahan dalam distribusi kandungan air dan *void ratio*, perubahan kimia, dan pencampuran dan segregasi komponen tanah. Studi-studi berikutnya telah mengindikasikan bahwa di antara mekanisme-mekanisme ini, perubahan dalam kondisi tegangan dan struktur tanah (akibat pelepasan tegangan dan gangguan mekanik) adalah dua faktor utama yang memengaruhi perilaku sampel tanah yang diperoleh dengan metode konvensional (Baligh, 1985). Banyak peneliti menggunakan istilah 'gangguan sampel yang sempurna' untuk merujuk pada proses pengambilan sampel di mana gangguan disebabkan hanya oleh pelepasan tegangan, sementara istilah 'gangguan sampel ideal' digunakan ketika kedua mekanisme gangguan, yaitu pelepasan tegangan dan gangguan struktural, dipertimbangkan. Gangguan yang disebabkan oleh proses lain, misalnya transportasi dan penanganan, tidak termasuk dalam kedua definisi ini karena mereka sangat bervariasi dan sulit dimodelkan. Meskipun demikian, gangguan-gangguan ini lebih mudah untuk dikurangi jika perawatan yang tepat diambil.

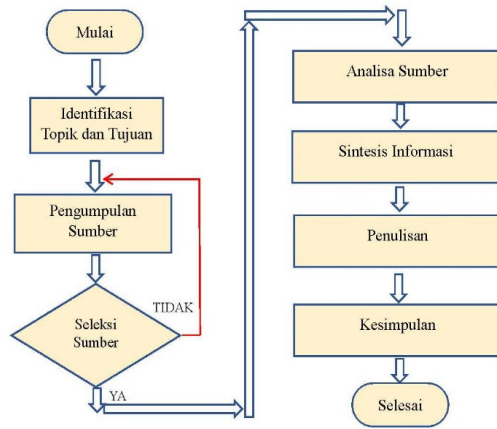
Dari penjelasan di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan memahami dampak gangguan sampel pada hasil uji laboratorium mekanika tanah dari para peneliti terdahulu, dengan fokus pada perubahan sifat fisik dan mekanik tanah dan menganalisis metode dan teknologi terkini yang dapat digunakan untuk meminimalkan gangguan sampel, termasuk sampling, persiapan sampel, dan penggunaan alat uji *in-situ*

Metode

Literature review merujuk pada pengembangan kerangka kerja yang melibatkan temuan-temuan terbaru dan sebelumnya guna mengenali tanda-tanda perkembangan dari hasil penelitian melalui analisis komprehensif dan hasil interpretasi dari berbagai literatur yang terkait dengan topik tertentu. Dalam proses ini, tujuan utamanya adalah mengidentifikasi pertanyaan-pertanyaan penelitian dengan menyelidiki serta mengevaluasi literatur yang relevan menggunakan pendekatan yang terstruktur dan sistematis (Randolph, 2009).

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah deskriptif analitik, yaitu dengan mengumpulkan, mengevaluasi, dan mensintesis informasi dari berbagai sumber yang relevan untuk topik *sample disturbance*. Dalam konteks penelitian ini, langkah yang dilakukan adalah melakukan pengumpulan data lama dan baru, menganalisis dan menyusun ulang informasi yang telah ada dalam literatur. *Literature review* dilakukan dengan beberapa langkah terstruktur (Gambar 1). Langkah pertama adalah mengidentifikasi topik penelitian dan tujuan dari *literature review*. Setelah itu, sumber-sumber

yang relevan dikumpulkan dari berbagai jurnal ilmiah, artikel riset, buku, dan sumber akademis lainnya yang berkaitan dengan topik gangguan sampel.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Sumber-sumber ini kemudian dievaluasi dan diseleksi untuk memastikan bahwa hanya yang paling relevan dan beragam yang dimasukkan dalam kajian ini. Pada tahap analisis sumber, isi setiap sumber dipahami secara mendalam dengan mengidentifikasi temuan, argumen, metode, dan kontribusi dari masing-masing literatur. Informasi dari berbagai sumber ini kemudian disusun menjadi kerangka kerja yang memungkinkan untuk mengidentifikasi pola, perbedaan, kesamaan, dan perkembangan dalam pemahaman tentang topik gangguan sampel. Selanjutnya, penulisan dilakukan dengan mengorganisasikan informasi berdasarkan subtopik atau tema yang relevan, menjelaskan temuan-temuan utama dari sumber-sumber yang telah ditelaah. Pada akhirnya, kesimpulan dibuat berdasarkan hasil sintesis informasi, dan diskusi dilakukan mengenai implikasi temuan terhadap pemahaman saat ini

Dalam *literature review* ini, metode pembahasan dilakukan dengan pendekatan yang terstruktur. Pertama, penelitian ini berfokus pada identifikasi kesenjangan penelitian dengan cara mengidentifikasi area yang belum terjelajahi atau membutuhkan penelitian lebih lanjut. Tujuan dari langkah ini adalah untuk memberikan arahan bagi penelitian mendatang. Selanjutnya, dilakukan analisis kritis terhadap metode pengambilan sampel yang mencakup evaluasi kelebihan dan kekurangan setiap metode, serta dampaknya terhadap hasil pengujian laboratorium. Analisis ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai bagaimana metode sampling mempengaruhi kualitas data yang diperoleh. Terakhir, penelitian ini melakukan evaluasi terhadap metode uji *in-situ*, mempertimbangkan

bagaimana metode ini dapat digunakan untuk memvalidasi hasil uji laboratorium dan memberikan data yang lebih representatif. Evaluasi ini membantu menilai efektivitas metode *in-situ* dalam memberikan data yang dapat diandalkan dalam konteks geoteknik.

Hasil dan Pembahasan

Gilbert (1992) menyatakan bahwa ada dua jenis utama contoh tanah yang dapat diambil untuk pengujian laboratorium. Pada jenis pertama, hanya perlu mendapatkan contoh yang relatif lengkap dan mewakili mineralogi, distribusi ukuran butir, dan, dalam kebanyakan kasus, kadar air dari tanah *in-situ* di sekitarnya. Contoh-contoh seperti ini diambil untuk pengujian klasifikasi seperti analisis ukuran butiran dan batas-batas Atterberg. Gangguan struktural pada tanah saat mengambil contoh semacam ini jelas tidak penting karena tanah harus benar-benar terganggu dalam persiapan untuk pengujian indeks dan klasifikasi tanah ini. Ini disebut sebagai contoh tanah "terganggu" (*disturb*).

Pada jenis kedua, gangguan pada tanah harus dikurangi seminimal mungkin karena contoh tanah ini akan digunakan untuk menentukan karakteristik tegangan-regangan dan kekuatan, kepadatan *in-situ* (termasuk *void ratio*), derajat kejenuhan, kompresibilitas, dan mungkin juga permeabilitas. Contoh-contoh ini disebut sebagai contoh tanah "tidak terganggu" (*undisturb*). Gangguan saat pengambilan contoh dalam kasus ini akan menghasilkan pengukuran laboratorium atas sifat-sifat yang mungkin secara substansial berbeda dari tanah *in-situ*. Perancangan pondasi dan struktur tanah berdasarkan sifat-sifat yang berbeda dari sifat-sifat sebenarnya di lokasi aslinya bisa mengakibatkan struktur dengan kinerja terganggu secara substansi yang memerlukan pemeliharaan mahal secara terus-menerus, atau struktur yang mahal jika penilaian sangat konservatif digunakan untuk mengkompensasi gangguan pada contoh "tidak terganggu". Dalam kedua kasus, gangguan pengambilan contoh dapat memiliki konsekuensi ekonomi yang tidak diinginkan.

Gangguan pada saat pengambilan sampel

Berbagai jenis teknik pengambilan sample sudah sangat umum dilakukan baik untuk sampel terganggu ataupun sampel tidak terganggu. Pengambilan sample dengan metoda *boring*, baik manual dengan menggunakan tangan ataupun dengan menggunakan mesin, atau menggunakan alat khusus seperti U100, *shelby tube* atau alat *block sampler*, digunakan untuk pengambilan sampel tanah dalam bentuk silinder pada kedalaman tertentu.

Dalam pengambilan sampel "tidak terganggu" dari tanah lempung yang sepenuhnya jenuh, tekanan kapiler digunakan untuk mencegah tanah mengembang saat dikeluarkan dari tanah. Akan ada kecenderungan untuk mengembang sebagai respons terhadap penurunan tegangan. Jika tanah dalam keadaan jenuh dan sampel tidak memiliki akses ke air, tegangan kapiler muncul untuk melawan kecenderungan tanah untuk mengembang.

Perubahan volume yang kecil, jika ada, diperlukan untuk menghasilkan tekanan air pori negatif ini, dan tegangan efektif akibat penghilangan beban atas setidaknya sebagian digantikan oleh tegangan akibat tegangan kapiler atau gaya isap. Namun, gangguan pada struktur tanah biasanya terjadi karena tegangan efektif horizontal dan vertikal umumnya tidak sama dalam massa tanah. Secara umum

$$\frac{\sigma'_x}{\sigma'_y} = K_0 \neq 1 \quad (1)$$

dimana, σ'_x merupakan Tegangan efektif horizontal σ'_y merupakan Tegangan efektif vertical dan K_0 merupakan Koefisien tegangan tanah pada kondisi *rest*.

Setelah pengambilan sampel, ketika tegangan total dalam tanah (secara horizontal dan vertikal) kurang lebih nol, tegangan efektifnya sama dengan (negatif) tekanan air pori yang dihasilkan oleh tegangan permukaan air yang bekerja di dalam pori-pori tanah (Gilbert, 1992). Sisi hisap kapiler/tekanan air pori negatif yang dihasilkan dalam pori-pori adalah fungsi dari ukuran pori, distribusi ukuran pori, derajat kejenuhan, dan, sampai batas tertentu, suhu (karena tegangan permukaan adalah fungsi dari suhu).

Oleh karena itu, tegangan efektif berubah sebagai hasil dari mengeluarkan tanah dari lingkungan in situ-nya, dan perubahan dalam sistem tegangan ini menghasilkan distorsi pada kerangka tanah dan gangguan yang tidak dapat dihindari. Distorsi kerangka tanah dalam sampel tanah dari mekanisme yang dijelaskan adalah gangguan minimum yang akan terjadi sebagai hasil dari pengambilan sampel dari lingkungannya dan disebut "pengambilan sampel yang sempurna" (Ladd & Lambe 1964).

Bjerrum (1973) memperhitungkan selama proses konsolidasi untuk tanah lempung lunak, penurunan volume relatif diukur untuk memberikan indikasi tentang kualitas tanah yang diuji. Meskipun pentingnya untuk meminimalkan gangguan dalam sampel tanah yang akan digunakan untuk beberapa tes laboratorium menjadi pertimbangan, juga harus dipertimbangkan bahwa spesimen yang benar-benar tidak terganggu sulit untuk diperoleh. Kriteria sampel untuk tanah lunak dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria sampel untuk tanah lunak (Bjerrum, 1973)

Perubahan volume (%)	Kualitas sampel
<1	Sangat baik
1 - 2	Baik
2 - 4	Sedang
4 - 10	Buruk
>10	Sangat Buruk

Telah diperlihatkan sebelumnya bahwa bahkan dengan prosedur "pengambilan sampel yang sempurna," gangguan pada sampel terjadi karena mekanisme yang diaktifkan oleh pengangkatan tanah dari lingkungan tekanan dan suhu in situ-nya. Mekanisme lain beraksi selama dan setelah pengambilan sampel untuk menyebabkan gangguan tambahan. Sebagai contoh, tabung pengambilan sampel, tidak peduli seberapa tipis dindingnya, akan menggeser material yang menyebabkan regangan dan perubahan kerapatan pada tanah yang diambil. Selain itu, kondisi tekanan tanah in situ secara tidak dapat dibalikkan berubah selama proses penanganan, pengiriman, penyimpanan, ekstrusi, persiapan spesimen, dan penerapan sistem tekanan laboratorium. Dalam arti ini, istilah "tidak terganggu" digunakan hanya untuk menunjukkan sampel yang diperoleh dan ditangani dengan prosedur yang meminimalkan gangguan material.

Baligh *et al.* (1987) mencantumkan dalam laporannya tentang mekanisme yang menyebabkan gangguan pada sampel tanah dalam urutan kronologis saat terjadi. Mereka menyatakan bahwa gangguan sampel terjadi sebagai hasil dari beberapa faktor. Pertama, perubahan kondisi tanah di depan lubang bor yang sedang digali selama operasi pengeboran dapat mempengaruhi integritas sampel. Selanjutnya, gangguan lebih lanjut disebabkan oleh penetrasi tabung pengambilan sampel dan pengambilan sampel itu sendiri ke permukaan tanah. Selain itu, redistribusi kadar air dalam tabung dapat terjadi, diikuti oleh proses ekstrusi sampel dari tabung yang juga dapat mengubah sifat-sifat tanah. Proses ini diikuti oleh pengeringan dan/atau perubahan tekanan air di dalam sampel. Terakhir, aktivitas pemangkasan dan berbagai aktivitas lain yang diperlukan untuk mempersiapkan spesimen untuk pengujian laboratorium juga berpotensi menyebabkan gangguan pada sampel. Contoh tambahan dari gangguan sampel yang terjadi dalam aplikasi khusus juga dijelaskan; ini termasuk ekspansi gas yang terlarut saat sampel lepas pantai sangat dalam diangkat ke permukaan, efek penanganan kasar dan transportasi, dan efek perubahan suhu dalam deposito yang aktif secara kimia atau biologis.

Tokimatsu dan Hosaka (1986) mempelajari pengaruh gangguan pada sampling pada sifat

deformasi geser siklik pasir bersih, termasuk modulus geser regangan kecilnya (*small strain shear moduli*). Mereka menemukan bahwa tingkat gangguan sampel dapat dievaluasi dengan membandingkan modulus geser regangan kecil yang diukur *in-situ* dan di laboratorium.

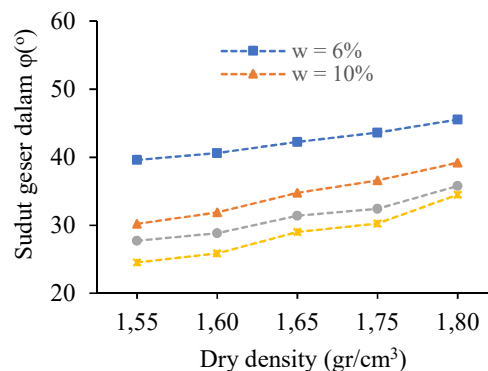
Pelepasan tekanan pengaruh timbunan sebagai hasil pengambilan sampel di bawah permukaan, memiliki dampak yang signifikan pada tanah lempung dan merupakan dilema dalam mendapatkan sampel "tidak terganggu" karena pelepasan tekanan cenderung menyebabkan gangguan. Pengambilan sampel "tidak terganggu" pada tanah non kohesif mungkin menimbulkan masalah yang lebih sulit karena gangguan yang paling kecil dapat menghancurkan struktur dan mengubah kerapatan pada tanah jenis tersebut.

Pentingnya membatasi rasio area dari sampel berding tipis menjadi nilai sekitar 10 hingga 15 persen. Ini sangat penting untuk meminimalkan nilai ini saat mengambil sampel tanah non kohesif karena itu adalah ukuran langsung dari jumlah pergeseran material dan oleh karena itu jumlah pemadatan tanah selama pengambilan sampel. Liu *et al* (2020) menyajikan data tentang variasi sudut geser dalam (ϕ) pada tanah non kohesif dengan berat jenis, yang ditunjukkan dalam Gambar 2, mengkonfirmasi pentingnya kritis dalam meminimalkan gangguan pada berat jenis pada tanah non kohesif selama operasi pengambilan sampel.

Secara khusus, La Rochelle *et al.* (1971) mengidentifikasi empat penyebab umum gangguan dalam pengambilan sampel tabung. Pertama, gangguan dapat terjadi pada tanah yang akan diambil sampelnya sebelum proses pengambilan dimulai, yang sering kali disebabkan oleh operasi pengeboran yang buruk atau dorongan langsung dari penggerak sampel piston. Kedua, distorsi mekanis dapat terjadi selama penetrasi tabung sampel ke dalam tanah, mengakibatkan perubahan struktural pada sampel. Selanjutnya, distorsi mekanis lebih lanjut serta efek hisap dapat terjadi selama penarikan tabung sampel, yang semakin mempengaruhi kualitas sampel. Terakhir, pelepasan total tegangan *in-situ* juga disebut sebagai faktor signifikan yang dapat menyebabkan gangguan pada sampel tanah. Semua faktor ini, baik secara individual maupun kolektif, berkontribusi terhadap gangguan yang sering diamati dalam pengambilan sampel tabung tanah.

Untuk menanggulangi gangguan yang cukup besar pada hal-hal tersebut di atas, bahwa penyebab gangguan pengambilan sampel yang tercantum pertama dapat dikendalikan dengan membersihkan

lubang bor dengan baik dan menggunakan lumpur bentonit. Penyebab kedua dan ketiga terkait dengan desain tabung pengambilan sampel dan dapat diminimalkan dengan desain tabung yang tepat. Sedangkan penyebab keempat tidak dapat dihindari dan dapat bervariasi, tergantung pada kedalaman pengambilan sampel dan sifat bahan yang diambil sampelnya.



Gambar 2. Pengaruh berat jenis kering pada sudut geser dalam pada berbagai kondisi kandungan air (Liu *et al* , 2020)

Semua partikel tanah di dalam tabung, kecuali yang berdekatan dengan dinding tabung, bergeser secara bersamaan akibat gangguan lokal, yang menyebabkan efek pelumas (Shogaki, 2017a). Jarak dari dinding tabung (D_w) di mana tanah dipengaruhi oleh gesekan dinding selama penetrasi tabung sekitar 0,35 hingga 1,35 mm, mirip dengan tanah berlempung, yang umumnya kurang dari 2 mm. Selain itu, hasilnya konsisten dengan pengambilan sampel tabung dari endapan pasir Niigata, di mana D_w tidak berkaitan dengan diameter tabung dan D_r . Hal ini bertentangan dengan kepercayaan umum bahwa gerakan partikel pasir dan perubahan e (angka pori) kecil untuk sudut tepi potong 90 derajat dalam tabung berdiameter 45 mm. Namun, fenomena ini dapat dijelaskan oleh adanya area gangguan. Pada pasir Toyoura, area gangguan ini lebih mudah terbentuk oleh sudut tepi potong 90 derajat daripada sudut tepi potong 6 derajat.

Gangguan pada saat pengujian sampel

Lacasse *et al* (1985) menunjukkan hasil uji *Unconfined Compression* pada salah satu tanah lempung sensitif bahwa *peak strength* yang jauh lebih tinggi dan *failure strain* yang lebih rendah pada sampel blok dibandingkan dengan sampel tabung berdiameter 95 mm. Kekuatan geser *undrained* pada sampel blok adalah 10 hingga 33 persen lebih tinggi daripada pada spesimen dari blok berdiameter 95 mm. *Modulus Young* pada 50 persen dari tegangan geser puncak lebih besar sekitar empat kali lipat pada beberapa spesimen

blok *quick clay* (dibandingkan dengan spesimen tabung). Perbedaan yang lebih kecil diamati pada tanah *non quick clay*. Perbedaan tidak besar antara spesimen blok dan tabung dalam uji triaksial ekstensi.

Perbedaan yang signifikan hanya teramati dalam satu uji geser sederhana langsung. Dalam uji itu, tegangan geser horizontal 50 persen lebih tinggi pada sampel blok dibandingkan dengan sampel tabung. Namun, perlu diingat bahwa sistem tegangan dan konsentrasi tegangan serta regangan sangat berbeda dalam uji geser sederhana dibandingkan dengan uji triaksial kompresi (Lacasse *et al*, 1985).

Goto *et al* (1993a) menyarankan pemakaian serbuk *fly ash* secukupnya pada lapisan pelumas untuk meningkatkan kualitas pelumas, dengan demikian tidak menambah resistensi gesekan pada alat uji yang dapat mengakibatkan kesalahan dalam perhitungan kuat geser dari sampel. Efek gangguan bervariasi tergantung pada jenis uji yang dilakukan. Efek gangguan paling kecil terjadi dalam uji pada *unconfined* tekanan paling besar dan paling sedikit terpengaruh dalam uji odometer dengan uji triaksial berada di pertengahan, dan pengaruh paling besar (dari gangguan pengambilan sampel) teramati uji kompresi *unconfined*. Penulis menyatakan bahwa rekonsolidasi tampaknya dapat mengoreksi sebagian besar gangguan sampel, seperti yang ditentukan dengan membandingkan uji kompresi *unconfined* dengan uji triaksial kompresi *undrained*. Namun, bahkan setelah rekonsolidasi, modulus Young dari sampel tabung tetap lebih rendah secara signifikan daripada sampel blok. Ini merupakan hasil dari struktur alami tanah rusak oleh pengambilan sampel, struktur asli dan karakteristik mekaniknya tidak dapat kembali seperti keadaan semula sebelum proses sampling.

Sifat permeabilitas tanah menjadi perhatian penting dalam proses sampling dan pengujian, terutama karena signifikansinya dalam desain tempat pembuangan sampah untuk penyimpanan limbah berbahaya dan beracun (Gilbert, 1992). Gangguan yang lebih besar selama pengambilan sampel tampaknya menghasilkan nilai koefisien permeabilitas yang lebih rendah, atau kurang konservatif, yang diukur di laboratorium. Selain itu, variasi dan ketidakpastian dalam nilai koefisien permeabilitas yang diukur di laboratorium cukup besar. Hal ini menunjukkan bahwa data yang diperoleh mungkin tidak sepenuhnya akurat. Tingkat kejenuhan dalam sampel tanah juga menjadi faktor penting yang tidak dapat dihindari, dan mungkin tidak dapat dikembalikan setelah sampel diambil dari lingkungan tekanan dan suhu *in-situ*. Pengaruh tingkat kejenuhan terhadap

sebaran nilai koefisien permeabilitas yang diukur kurang diketahui, dan hal ini menambah kompleksitas dalam interpretasi hasil pengujian. Selain itu, pengaruh gangguan struktural terhadap pengukuran koefisien permeabilitas tanah juga masih kurang dipahami secara mendalam. Semua faktor ini menunjukkan bahwa perhatian khusus harus diberikan pada kondisi sampel dan proses pengujian untuk memastikan hasil yang lebih akurat dan dapat diandalkan.

Kompresibilitas dalam sampel tabung yang mengalami gangguan, seperti yang diukur dalam uji laboratorium, akan berkurang seiring dengan meningkatnya gangguan sampel. Selain itu, kemiringan kurva kompresi terkuras yang diukur dalam uji odometer akan berkurang dengan peningkatan gangguan sampel (membuat analisis dan desain berdasarkan nilai yang diukur di laboratorium menjadi kurang konservatif). Prosedur untuk menentukan kurva kompresi terkuras alami/terganggu dalam kondisi *in-situ* telah dirancang oleh Schmertmann (1955). Prosedur rekonstruksi ini sederhana dan didasarkan pada gagasan bahwa pemampatan tanah di bawah tekanan yang semakin tinggi menghapus efek gangguan pengambilan sampel.

Penelitian terbaru mengkonfirmasi pernyataan awal Schmertmann bahwa pemampatan tanah hingga tekanan tinggi mengurangi efek gangguan pengambilan sampel. Ladd dan Foote (1974) serta Baligh *et al* (1987) menentukan bahwa pemampatan mengurangi pengaruh gangguan pengambilan sampel terhadap kekuatan geser tanpa aliran yang diukur dalam uji triaksial; namun, diakui bahwa tidak ada jumlah pemampatan yang akan mengembalikan tanah yang mengalami gangguan ke keadaan struktural dan perilaku mekanik aslinya.

Dari hasil penelitian Schmertmann dapat disimpulkan bahwa cara untuk menghindari gangguan pengambilan sampel sejauh mungkin adalah dengan melakukan uji *in-situ*, meskipun beberapa gangguan terjadi dalam persiapan untuk melakukan uji *in-situ*, dan uji *in-situ* harus diinterpretasikan dengan benar untuk digunakan dalam desain. Hasil penelitian Castellanos dan Brandon (2013) memperlihatkan hasil dari sampel yang tidak terganggu menunjukkan bahwa sudut geser *drained* yang diperoleh dari uji triaksial CU jauh lebih tinggi daripada yang diperoleh dari uji geser langsung CD. Di sisi lain, hasil yang diperoleh dari uji sampel *remolded* yang berasal dari berbagai lokasi hampir tidak menunjukkan perbedaan dalam tegangan efektif kuat geser.

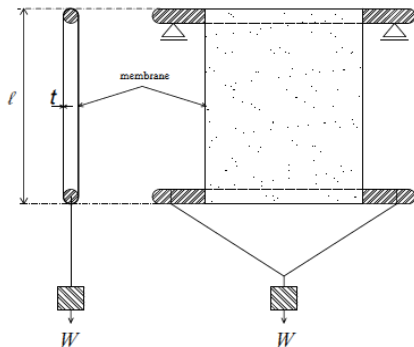
Pada pengujian tanah di laboratorium, untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan terutama

tanah non kohesif biasanya digunakan membrane. Akan tetapi pada kenyataannya membrane ini memberikan tekanan kepada tanah sehingga perlu koreksi. Untuk mengoreksi tegangan yang diukur karena kesalahan yang disebabkan oleh gaya penetrasi membrane, diperlukan untuk mengetahui nilai modulus Young dari membrane yang digunakan pada uji-uji laboratorium. Metode yang digunakan adalah metode Bishop dan Hengkel (1962). Untuk perhitungan modulus Young dari membrane dijelaskan pada gambar Gambar 3 (Agustian & Goto, 2008).

Koreksi pada persamaan principle minor stress pada uji triaxial kompresi mengalami pengurangan sebesar:

$$\Delta\sigma_m = -\frac{2tE_m}{d}\varepsilon \quad (2)$$

dimana $\Delta\sigma_m$ merupakan tegangan membrane (kPa), E_m merupakan Modulus Young membrane (kPa), ε merupakan regangan (%), t merupakan tebal membrane (mm) dan d merupakan diameter membrane (mm).



Gambar 3. Alat untuk menghitung modulus Young dari membrane yang dipakai pada uji laboratorium tanah (Agustian dan Goto, 2008)

Penelitian lapangan tentang perilaku tanah liat ekspansif yang mengalami pembengkakan dan penyusutan di bawah beban tambak rel kereta api berkecepatan tinggi. Sebuah metode sederhana berdasarkan hasil uji satu dimensi diajukan, dan hasil yang baik terlihat dalam memprediksi kenaikan atau penurunan pada tambak di atas tanah liat ekspansif ketika basah dan kering

Adolphe *et al* (2020) menekankan perlunya melakukan analisa numerik untuk mengkonfirmasi fungsionalitas uji geser langsung di laboratorium.

Pengaruh gangguan sampel pada kekuatan geser dan kompresibilitas

Terdapat sejumlah besar kombinasi kondisi yang dapat menghasilkan gangguan pada sampel tanah

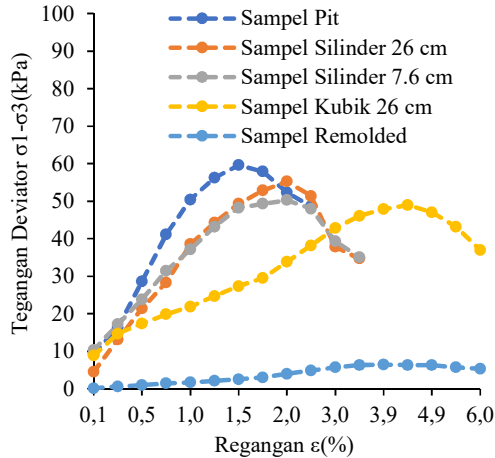
selama proses pengambilan contoh dari *in-situ* hingga pengujian di laboratorium. Idealnya, setiap kombinasi faktor ini perlu diselidiki untuk memahami pengaruhnya secara menyeluruh. Namun, dalam praktiknya, hal ini sulit dilakukan karena banyaknya data eksperimental yang diperlukan. Matsuo dan Shogaki (1988) menyelidiki pengaruh-pengaruh tersebut dengan menganalisis tiga kasus lapangan nyata. Kasus pertama menunjukkan bahwa gangguan pada dasar tanah lempung terjadi akibat *piling* pasir. Setelah proses *piling*, nilai kuat tekan tak terdrainase (q_u) meningkat sekitar 1% lebih besar dibandingkan sebelum *piling*. Akibatnya, nilai rata-rata q_u dan modulus deformasi (E_{50}) menurun sekitar 15 kN/m² dan 1500 kN/m² masing-masing.

Kasus kedua melibatkan pengaruh tipe sampler yang digunakan, di mana nilai q_u yang diperoleh dari peralatan pengambil contoh free piston sekitar 40% lebih kecil dibandingkan dengan nilai yang diperoleh dari peralatan pengambil contoh piston diam. Terakhir, kasus ketiga menyoroti pengaruh keterampilan teknis geoteknik di lapangan, di mana terdapat perbedaan hasil signifikan antara teknisi yang berpengalaman dan yang tidak berpengalaman. Ketiga kasus ini menyoroti pentingnya memahami berbagai faktor yang dapat memengaruhi hasil pengujian tanah di laboratorium.

Chantawong (1973) menemukan bahwa, jika kekuatan yang berkurang digunakan sebagai ukuran untuk menilai tingkat gangguan pengambilan sampel, sampel blok menunjukkan gangguan paling sedikit, diikuti oleh sampel berdiameter 260 mm, sampel silinder berdiameter 76 mm, dan sampel persegi berdiameter 76 mm. Sampel blok memiliki kekuatan sekitar 10, 20, dan 50 persen lebih tinggi daripada sampel berdiameter 260 mm, sampel silinder berdiameter 76 mm, dan sampel persegi berdiameter 76 mm, secara berturut-turut. Analisis berdasarkan parameter tingkat gangguan (D_d) tidak menghasilkan hasil yang konklusif, mungkin karena data yang tidak memadai.

Gambar 4 diambil dari Chantawong (1973) menunjukkan sifat tegangan-regangan yang diukur dalam uji kompresi triaksial yang dilakukan pada sampel tabung dan blok/galian serta sampel yang sepenuhnya dirombak/diganggu di mana kekuatannya hanya sekitar 10 persen dari sampel blok.

Gambar tersebut menunjukkan bahwa selain fakta bahwa tegangan deviator maksimum dan modulus kekakuan berkurang dengan gangguan, regangan aksial hingga tegangan deviator maksimum meningkat dengan gangguan.



Gambar 4. Pengaruh metode sampling terhadap gubungan tegangan-regangan pada *unconsolidated test*

Simulasi yang dilakukan oleh Karlsson *et al* (2016) menunjukkan bahwa *settlement* dan pergeseran lateral yang jauh lebih besar diprediksi menggunakan parameter yang diperoleh dari sampel piston. Selain itu, besarnya perbedaan tersebut lebih besar dari yang diharapkan. Hal ini menunjukkan bahwa untuk aplikasi ini, perbedaan yang relatif kecil dalam kualitas sampel yang dinilai, dengan menggunakan metode interpretasi data laboratorium tradisional, diperbesar ketika diterapkan pada masalah nilai batas prototipe.

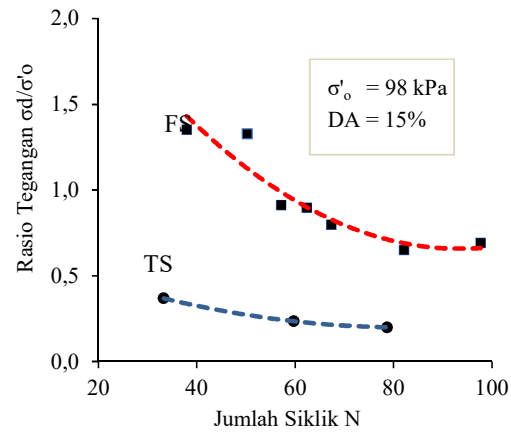
Pengaruh gangguan sampel properti dinamik

Untuk mengevaluasi metode pengambilan sample dengan cara pembekuan *in-situ*, dampak dari histori dari pembekuan, pencairan dan pembekuan kembali pada hasil pengujian indeks plastisitas pada pasir pertama kali diselidiki oleh Yoshimi *et al*. (1978). Metode ini berhasil diterapkan pada lapisan pasir bersih dan padat oleh Yoshimi *et al*. (1984), di mana teramati perbedaan yang signifikan dalam hal sifat-sifat likuefaksi dibandingkan dengan metode pengambilan sampel menggunakan alat pengambil tiga tabung, seperti yang terlihat dalam Gambar 5.

Dari grafik ini terlihat bahwa sampling dengan menggunakan triple tube sampler yang tingkat gangguan pada sample lebih besar dibandingkan dengan menggunakan cara pembekuan sample *in-situ*, menghasilkan uji ketahanan terhadap likuefaksi lebih rendah dari pada hasil uji sampel dari pembekuan sample *in-situ*.

Kemudian, Goto (1993b) menyelidiki pengaruh histori pembekuan, pencairan dan pembekuan kembali pada sifat likuefaksi pasir yang mengandung butiran halus. Ia mengusulkan penggunaan regangan ekspansi volumetrik selama

pembekuan sebagai indeks untuk mengevaluasi tingkat gangguan sampel.



Gambar 5. Perbandingan kurva resistansi likuefaksi dari sampel yang diambil dengan pembekuan *in-situ* (FS) dan dengan triple tube sampler (TS) (Yoshimi *et al*., 1984)

Bukan hanya tanah berpasir, tetapi tanah lempung juga telah dipelajari oleh banyak peneliti dalam hal dampak gangguan sampel dan prosedur untuk menguranginya. Sebagai contoh, Watabe dan Tsuchida (2001) mempelajari pengaruh gangguan sampel akibat pelepasan tegangan pada sampel lempung yang diambil dari lapisan tanah yang cukup dalam. Penelitian ini dapat dianggap sebagai perluasan dari studi pionir tentang pengaruh kembang-susut tanah lempung oleh Mitachi dan Kitago (1976).

Shogaki (2006) mengusulkan prosedur untuk mengevaluasi kekuatan geser tanah lempung *undrained in-situ*. Dalam mengembangkannya, serangkaian uji kompresi bebas tekan (UC) pada spesimen kecil berdiameter 15 mm dan tinggi 35 mm dilakukan, seperti yang dijelaskan dengan rinci oleh Shogaki (2007).

Lebih lanjut, Horng *et al* (2010) menyelidiki pengaruh geometri tabung pengambilan sampel pada kualitas sampel tanah lempung, berdasarkan perbandingan modulus geser regangan kecil yang diukur *in-situ* melalui uji konus seismik dan di laboratorium dengan menggunakan elemen bender. Nong *et al* (2021) menyelidiki ketahanan terhadap likuefaksi dan faktor koreksi K_r dan K_a dari pasir Sungai Nakdong yang diperoleh dari uji triaksial siklik (CTX) dibandingkan dengan yang ditentukan oleh uji geser sederhana siklik (CSS) untuk memastikan pentingnya faktor pengurangan C_r dan faktor koreksi K_r dan K_a dalam penilaian likuefaksi, terutama dalam konteks kurangnya penilaian likuefaksi yang membandingkan berdasarkan alat uji laboratorium yang berbeda.

Hasil penelitian dari Kiyota *et al.* (2017) menunjukkan bahwa penilaian kualitas sampel dengan menggunakan modulus geser regangan kecil (*small strain shear moduli*) dapat digunakan secara efektif untuk penilaian likuefaksi yang rasional. Selain itu, untuk menggunakan sampel yang direkayasa kembali (*reconstituted sample*), di mana modulus geser regangan kecilnya sama dengan nilai *in-situ*, sebagai pengganti sampel berkualitas tinggi. Hasil pengujian yang dilakukan Yang *et al* (2022) menunjukkan bahwa ada pengaruh yang signifikan dari gangguan sampel pada kekuatan geser *undrain* statis dan siklik baik untuk tanah lempung.

Pengujian *In-situ*

Sebagai salah satu alternatif untuk mengurangi gangguan pada sampel tanah, para peneliti memutuskan untuk melakukan uji langsung di lapangan. Dengan pendekatan ini, diharapkan bahwa data yang diperoleh akan lebih representatif dan mencerminkan karakteristik tanah yang sebenarnya di lapangan. Langkah ini dilakukan untuk memastikan bahwa hasil uji memiliki relevansi yang lebih kuat terhadap kondisi nyata di lokasi penelitian, yang pada gilirannya akan memungkinkan penggunaan data tersebut dengan lebih efektif dalam sebuah desain.

Menurut Shogaki (2017b) perubahan dalam dinamik properti dan sifat deformasi yang disebabkan oleh pengambilan sampel tabung dapat disesuaikan dengan tepat untuk mencerminkan kondisi *in situ* dengan menggunakan metode yang ekonomis (*economically feasible method*). Ketika digabungkan dengan metode yang ekonomis, metode pengambilan sampel tabung dapat menyediakan metode pengambilan sampel pasir yang lebih sederhana dan ekonomis daripada yang dapat dicapai dengan metode pengambilan sampel beku.

Carroll dan Long (2107) menyatakan bahwa dengan adanya ketidakpastian mengenai efek pengambilan sampel menggunakan piston tube pada tanah berpasir, sebaiknya mengevaluasi kemungkinan efek gangguan dengan menggunakan pengujian *in-situ* dengan paralel, seperti uji penetrasi konus piezocone (CPTU) atau pengujian kecepatan gelombang geser. Data tekanan pori CPTU dapat digunakan untuk menilai tingkat drainase yang mungkin terjadi selama pengambilan sampel, sementara kecepatan gelombang geser dapat digunakan untuk menilai kemungkinan pemadatan tanah.

Jiang *et al* (2018) melakukan penelitian lapangan tentang perilaku tanah liat ekspansif yang

mengalami pembengkakan dan penyusutan di bawah beban tambak rel kereta api berkecepatan tinggi. Sebuah metode sederhana berdasarkan hasil uji satu dimensi diajukan, dan hasil yang baik terlihat dalam memprediksi kenaikan atau penurunan pada tambak di atas tanah liat ekspansif ketika basah dan kering.

Koutsoftas (2020) menyatakan bahwa sebagian besar situasi praktis, bahkan untuk proyek-proyek besar di mana pengambilan sampel komprehensif dan pengujian laboratorium terjangkau, hasil dari pengujian laboratorium saja tidak mencukupi untuk memfasilitasi desain yang optimal. Praktik desain yang baik akan mencakup sejumlah yang memadai dari tes *in-situ* yang sesuai seperti uji gesekan vane, pengujian penetrasi konus, kecepatan gelombang geser, dan tes lainnya yang dianggap paling sesuai. Dalam beberapa kasus, ketika risiko dan konsekuensi potensial dari hasil buruk yang tinggi, pengujian prototipe mungkin menjadi penting untuk memverifikasi desain.

Kombinasi metode uji laboratorium, uji *in-situ* dan pemodelan numerik adalah memungkinkan menjadi solusi terbaik untuk meminimalkan pengaruh gangguan sampel pada hasil uji. Metode ini belum banyak diterapkan dalam praktik, namun telah menunjukkan potensi besar dalam memberikan data yang lebih representatif dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi. Analisis menunjukkan bahwa pendekatan ini tidak hanya mengurangi gangguan mekanis tetapi juga menawarkan evaluasi real-time dari sifat tanah di lapangan.

Kesimpulan

Gangguan sampel dan dampaknya pada desain geoteknik telah menjadi subjek banyak penelitian selama 70 tahun terakhir, dimulai dengan karya pionir Hvorslev (1949). Dari hasil analisis dan sintesis informasi dari tulisan para peneliti terdahulu mengenai topik *sample disturbance*, beberapa kesimpulan dapat diambil dari *literatur review* ini. Secara umum, gangguan pada sampel terjadi baik selama pengambilan sampel maupun saat uji laboratorium. Gangguan dalam proses pengambilan sampel biasanya disebabkan oleh perubahan tegangan efektif sebagai hasil dari pemindahan tanah dari lingkungan *in situ*-nya. Perubahan dalam sistem tegangan ini menyebabkan distorsi pada kerangka tanah yang tidak dapat dihindari.

Sementara itu, selama pengujian, gangguan bisa disebabkan oleh perbedaan jenis dan sistem alat uji, keakuratan alat, atau bagian-bagian alat yang menyebabkan gaya tambahan pada sampel yang berbeda dari gaya yang diperkirakan di *in-situ*.

Selain itu, gangguan juga dapat terjadi selama penanganan sampel, termasuk transportasi, pemindahan, dan pengiriman. Dampak paling krusial dari gangguan ini adalah perubahan pada kekuatan geser, baik dalam kondisi statis maupun dinamis, serta sifat-sifat *compressibility* dari tanah. Material berbutir, misalnya, dapat mengalami perubahan massa jenis selama pengambilan sampel, yang mempengaruhi penentuan kekuatan di laboratorium. Semakin besar ukuran sampel, semakin kecil gangguan yang terjadi selama pengambilan sampel. Sampel blok yang dipotong dengan tangan cenderung mengalami gangguan yang lebih kecil dibandingkan dengan sampel tabung. Untuk meminimalkan gangguan selama pengambilan sampel, penggunaan uji *in-situ* dapat menjadi alternatif yang efektif. Meskipun beberapa gangguan tetap dapat terjadi selama persiapan untuk uji *in-situ*, metode ini secara umum dapat meminimalkan gangguan pada sampel uji, menghasilkan data yang lebih akurat untuk analisis geoteknik.

Daftar Pustaka

- Adolphe, K., Gampio, M.U., Greve, M.M.E., Lacaba, R.G., Goncalves, A.O., & Florent, B. (2020). Modeling of the Direct Shear Test from the Finite Elements Method. *European Journal of Engineering and Technology Research*. 6(6), 171-176.
- Agustian, Y., and Goto, S., (2008). Strength and Deformation Characteristics of Scoria in Triaxial Compression at low Confining Stress. *Soils and Foundations*. 48(1), .27-39
- Baligh, M.M. (1985). Strain path method. *J Geotech Eng, ASCE* ;111(9), 487–501.
- Baligh, M. M., Azzouz, A. S., & Chin, C. T. (1987). Disturbances Due to 'Ideal' Tube Sampling. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*. 113(7). 739-757.
- Berre, T. (2014). Effect of sample disturbance on triaxial and oedometer behaviour of a stiff and heavily overconsolidated clay. *Canadian Geotechnical Journal*, 51(8), 896–910.
- Bishop, A.W. & Henkel, D.J. (1962): The measurement of soil properties in the triaxial test, Part 4, Appendix 1 Edward Arnold LTD.
- Bjerrum, L. (1973). Problems of Soil Mechanics and Construction of Soft Clays, State-of-the-Art Report to Session 4. 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Moscow, Vol 3. 111-159.
- Carroll, R & Long, M., (2107). *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 143(9). 1-11.
- Castellanos B.A & Brandon T.L. (2013). *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris 2013*. 317-320.
- Chantawong, S. (1973). Probabilistic Definition of Soil Strength from Different Types of Samplers. M. Eng. Thesis No. 519, Asian Institute of Technology, Bangkok
- Gilbert, P.A. (1992). Effect of Sampling Disturbance on Laboratory-Measured Soil Properties. Final Riport, Geotechnical laboratory, Daprtment of The Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineer. Vicksburg, Mississippi.
- Goto, S., Park, C.S., & Tatsuoka F. (1993a). Quality of the lubrication layer used in element tests on granular materials. *Soils and Foundations* .33 (2), 47-59.
- Goto, S. (1993b): Influence of freeze and thaw cycle on liquefaction resistance of sandy soils, *Soils and Foundations*, 33(4), 148–158
- Hvorslev J. M. (1949). *Subsurface Exploration and Sampling of Soils for Civil Engineering Purposes*. Vicksburg, MS: Waterways Experiment Station; 521.
- Hornig, V., Tanaka.H., & Obara, T. (2010): Effects of sampling tube geometry on soft clayey sample quality evaluated by nondestructive methods, *Soils and Foundations*, 50(1), 93–107.
- Jiang, G, at al, (2018). Field study on swelling-shrinkage response of an expansive soil foundation under high-speed railway embankment loads. *Soils and Foundations*, 58(6). 1538-1552.
- Karlsson, M., Emdal, A., & Dijkstra, J. (2016). Consequences of sample disturbance when predicting long-term settlements in soft clay. *Canadian Geotechnical Journal*, 53(12). 1965–1977.
- Kiyota, S., Ikeda, T., Yokoyama, Y & Kyokama, H. (2016). Effect of *in-situ* sample quality on undrained cyclic strength and liquefaction assessment. *Soils and Foundations*. 56 (4), 691-703.
- Koutsoftas, D.C. (2020). Discussion of “Effects of sample disturbance in geotechnical design”. *Canadian Geotechnical. Journal*. 57(6). 939-943.

- Lacasse, S., Berre, T., & Lefebvre, G (1985). Block Sampling of Sensitive Clays. Proceedings of the 11th international Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, CA. 887-892.
- Ladd, C. C., and Lambe, T. W. (1964). The Strength of 'Undisturbed' Clay Determined from Undrained Tests. Laboratory Shear Testing of Soils, ASTM.STP 361, American Society for Testing and Materials. Philadelphia, PA, 342-371.
- Ladd, C. C., and Foote, R. 1974. New Design Procedure for Stability of Soft Clays. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE. 100(7). 763-786.
- Liu, K., Yuan, K.Z., & Wu., K (2020). Effect of Water Content and Dry Density on Mechanical Properties of Compaction Loess. International Conference on Energy, Natural Resources and Electric Power. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 598. 1-6.
- La Rochelle, P., and Lefebvre, G. (1971). Sampling Disturbance in Champlain Clays. Sampling of Soil and Rock, ASTM STP 483, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA. 143-163.
- Matsuo, M. and Shogaki, T. (1988): Effects of Plasticity and Sample Disturbance on Statistical Properties of Undrained Shear Strength. Soils and Foundations. 18(2), 14–24.
- Mitachi, T. and Kitago, S. (1976): Change in undrained shear strength characteristics of saturated remolded clay due to swelling, Soils and Foundations, 16(1), 45–58.
- Nong, Z.Z., *et al* (2021): Comparison of sand liquefaction in cyclic triaxial and simple shear tests. Soils and Foundations. 61 (2021) 1071–1085.
- Randolph, J. J. (2009). A Guide to Writing the Dissertation Literature Review. Peer-Reviewed Electronic Journal, 14(13).
- Schmertmann, J. H. (1955). The Undisturbed Consolidation Behavior of Clay. Transactions ASCE. Vol 120, p 1201.
- Shogaki, T. (2006): An improved method for estimating *in-situ* undrained shear strength of natural deposits. Soils and Foundations. 46(2), 109–121.
- Shogaki, T. (2007): Effect of specimen size on unconfined compressive strength properties of natural deposits. Soils and Foundations. 47(1), 119–129.
- Shogaki, T. *et al* (2017a): Mechanism of sample disturbance caused by tube penetration: Model tests on Toyoura sand. Soils and Foundations, 57(4), 527–542.
- Shogaki, T. *et al* (2017b): Estimating in situ dynamic strength and deformation properties of Niigata East Port sand deposits. Soils and Foundations, 57(6), 947–964.
- Tokimatsu, K. and Hosaka, Y. (1986): Effects of sample disturbance on dynamic properties of sand. Soils and Foundations, 26(1), 53–64.
- Watabe, Y. and Tsuchida, T. (2001): Influence of stress release on sample quality of Pleistocene clay collected from large depth in Osaka bay. Soils and Foundations, 41(4), 17–24.
- Yoshimi, Y., *et al* (1978). Undisturbed sampling of saturated sands by freezing, Soils and Foundations, 18(3), 59–73.
- Yoshimi, Y., *et al* (1984): Undrained cyclic shear strength of a dense Niigata sand, Soils and Foundations, 24(4), 131–145.