

# INFRASTRUKTUR

## STUDI KARAKTERISTIK PASIR SIURI DENGAN PENAMBAHAN BUTIRAN HALUS NONPLASTIS (STUDI KASUS $FC < FC_{th}$ )

### Study of Siuri Sand Characteristic Due to Addition of Non-plastic Fine Content (Case study : $FC < FC_{th}$ )

Herfiya Chandra, Ida Sri Oktaviana dan Irdhiani

Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako-Jalan Soekarno Hatta Km. 8 Palu 94118

Email : herfiya\_candra@yahoo.com

#### ABSTRACT

*Physical and mechanical properties of uniform sand (Siuri sand) mixed with fine grains is not the same as pure uniform sand, and the void ratio ( $e$ ) can not be considered as appropriate index to describe the microstructure changes due to the fine grains. Thus, the use of intergranular void ratio is recommended for the condition of fine content less than the threshold fine content ( $FC < FC_{th}$ ). In this article, the primary data were obtained by conducting laboratory tests, by testing the physical and mechanical properties of the mixtures. Tests were carried out on pure Siuri sand (0%), pure non-plastic fines (100%), and the mixtures with fine content variations of 10% - 90% (by weight of mixture), however, the discussion were focused on dominant coarse grain conditions which was pure Siuri sand (0%) and the mixtures with non-plastic fine composition varied as 10%, 20%, 30% and 40%. The results show that the changes in content of non-plastic fines combined with Siuri sand showed characteristic changes in a similar pattern both in physical and mechanical properties. Fines addition to Siuri sand had increased the value of some parameter ( $\gamma_d$ ,  $\gamma_{dmax}$ ,  $\gamma_{dmin}$ ,  $\phi$ , dan  $\tau$ ) and had decrease some other parameter ( $e$ ,  $e_{max}$ , dan  $e_{min}$ ) up to the 30% fine content, then the opposite occurred in 40% fine content. When fine content had exceed threshold fine content ( $FC_{th}$ ) which were between 30-40%, it showed a behavior transition, from behavior of higher contribution of sand in the mixture (dominance of sands) to higher contribution of fines (dominance of fines).*

*Keywords: void ratio, intergranular void ratio, shear strength, Siuri Sand*

#### ABSTRAK

Sifat fisik dan sifat mekanis tanah pasir seragam (pasir Siuri) yang mengandung butiran halus tidak sama dengan pasir seragam murni, dan indeks angka pori ( $e$ ) saja dianggap tidaklah tepat untuk menggambarkan perubahan mikrostruktur yang terjadi akibat kandungan butiran halus tersebut. Maka disarankan penggunaan parameter angka pori *intergranular* untuk kondisi tanah campuran seperti ini, dengan jumlah kandungan butiran halus kurang dari jumlah ambang batas kandungan butiran halus ( $FC < FC_{th}$ ). Pada studi ini data primer diperoleh dengan melakukan uji laboratorium, dengan pengujian sifat fisik dan pengujian sifat mekanik. Pengujian dilakukan terhadap pasir Siuri murni (0%) dan butiran halus nonplastis (100%), serta terhadap campuran keduanya dengan variasi komposisi butiran halus 10% - 90% (terhadap berat campuran), namun pembahasannya akan lebih difokuskan pada kondisi dominan butiran kasar, yaitu terhadap pasir Siuri murni (0%) dan campuran dengan variasi komposisi butiran halus 10%, 20%, 30% serta 40%. Hasil studi menunjukkan perubahan kadar butiran halus nonplastis dalam campurannya dengan butiran kasar (pasir Siuri murni) memperlihatkan perubahan karakteristik dengan pola yang serupa, baik pada sifat fisik maupun pada sifat mekaniknya, yaitu seiring dengan penambahan butiran halus beberapa parameter nilainya semakin meningkat ( $\gamma_d$ ,  $\gamma_{dmax}$ ,  $\gamma_{dmin}$ ,  $\phi$ , dan  $\tau$ ) dan ada juga yang semakin menurun ( $e$ ,  $e_{maks}$ , dan  $e_{min}$ ) sampai pada kadar butiran halus 30%, kemudian hal yang sebaliknya terjadi pada kadar butiran halus 40%. Dengan demikian, terbukti bahwa setelah melewati ambang batas kandungan butiran halus ( $FC_{th}$ ) pada campuran dengan kadar butiran halus antara 30-40% ini terjadi peralihan perilaku, yang awalnya perilaku pasir dapat memberikan kontribusi lebih besar (dominasi pasir), kemudian kontribusi yang lebih besar tersebut beralih pada butiran halus (dominasi butiran halus).

Kata Kunci : angka pori, angka pori intergranular, kuat geser, Pasir Siuri

#### PENDAHULUAN

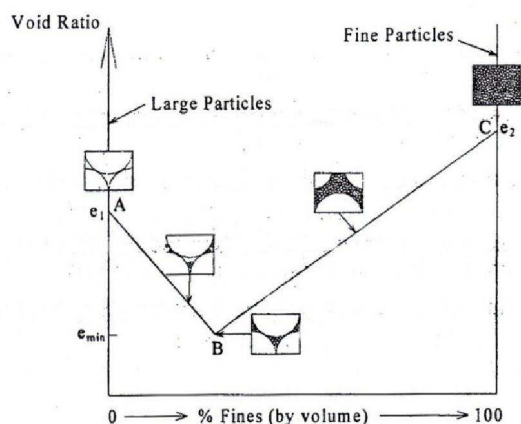
##### a. Latar Belakang

Untuk mengamati perilaku tanah pasir seragam, kerapatan relatif ( $D_r$ ) dan angka pori ( $e$ ) adalah indeks kontak antar butir yang sudah lazim digunakan. Akan tetapi sifat fisik dan sifat mekanis

dari tanah pasir yang telah bercampur dengan butiran halus tersebut tidak sama dengan pasir seragam murni, karena mikrostruktur jenis tanah ini akan berubah jika ada perubahan dalam jumlah butiran halus yang terkandung di dalamnya, hal ini berdasarkan beberapa penelitian-penelitian

sebelumnya (Thevanayagam dkk., 2002 ; Bahadori, 2008).

Komposisi pasir-butiran halus dalam suatu campuran digambarkan oleh Yamamuro dan Covert (2001) dalam sebuah skema, seperti yang terlihat pada gambar 1, yang menjelaskan bahwa di antara dua kondisi yang berbeda (pasir murni dan butiran halus), terdapat 3 zona peralihan. Zona pertama yaitu ketika dalam campuran tersebut hanya terdapat sekitar 10-20% butiran halus, sehingga perilaku pasirlah yang dominan. Zona kedua diperkirakan berada pada campuran dengan kandungan butiran halus sekitar 25-45%, di zona inilah terletak ambang batas kandungan butiran halus atau  $FC_{th}$  (keadaan yang semula butiran halus sebagai pengisi angka pori, digantikan dengan butiran kasar), letak  $FC_{th}$  ini juga sesuai dengan yang dilaporkan oleh penelitian lainnya (Cubrinovski dan Ishihara, 2002; Thevanayagam dan Martin, 2002 ; Xenaki dan Athanasopoulos, 2003). Selanjutnya, zona ketiga berada di kondisi campuran dengan kadar butiran halus yang tinggi ( $FC > FC_{th}$ )



**Gambar 1.** Skema komposisi pasir-butiran halus dalam suatu campuran (Yamamuro dan Covert, 2001)

Berdasarkan penjelasan di atas, sehingga pada jenis tanah pasir seragam yang telah bercampur kandungan butiran halus tersebut, angka pori ( $e$ ) tidaklah lagi dianggap sebagai indeks yang tepat untuk menggambarkan rantai gaya internalnya, maka disarankan penggunaan parameter angka pori *intergranular* ( $e_c$ ) untuk kondisi dengan jumlah butiran halus kurang dari jumlah ambang batas kandungan butiran halus ( $FC < FC_{th}$ ) (Thevanayagam dkk., 2002 ; Xenaki & Athanasopoulos, 2003 ; Yang dkk., 2006 ; Bahadori dkk., 2008).

Dalam penelitian ini, bahan uji utama yang digunakan adalah tanah jenis pasir seragam yang dikenal dengan nama pasir Siuri, karena berasal dari

tepi Danau Poso di Desa Siuri, Kecamatan Pamona Barat, Kabupaten Poso, Propinsi Sulawesi Tengah. Sedangkan untuk butiran halus nonplastis sebagai bahan tambahannya berasal dari pasir Siuri yang telah dihaluskan dan lolos saringan No. 200. Secara fisik pasir ini cukup keras (tidak mudah hancur), mempunyai warna kuning bercampur warna putih, terlihat cukup seragam dan tidak lengket. Penelitian sebelumnya yang dilakukan kepada pasir ini (Oktaviana, 1998), memperoleh nilai  $C_u$  dari pengujian analisis distribusi ukuran butiran yaitu kurang dari 2 yang berarti bahwa pasir Siuri ini termasuk pasir seragam (Bowles, 1986 dalam Oktaviana, 1998).

#### b. Perbedaan angka pori ( $e$ ) dan angka pori *intergranular* ( $e_c$ )

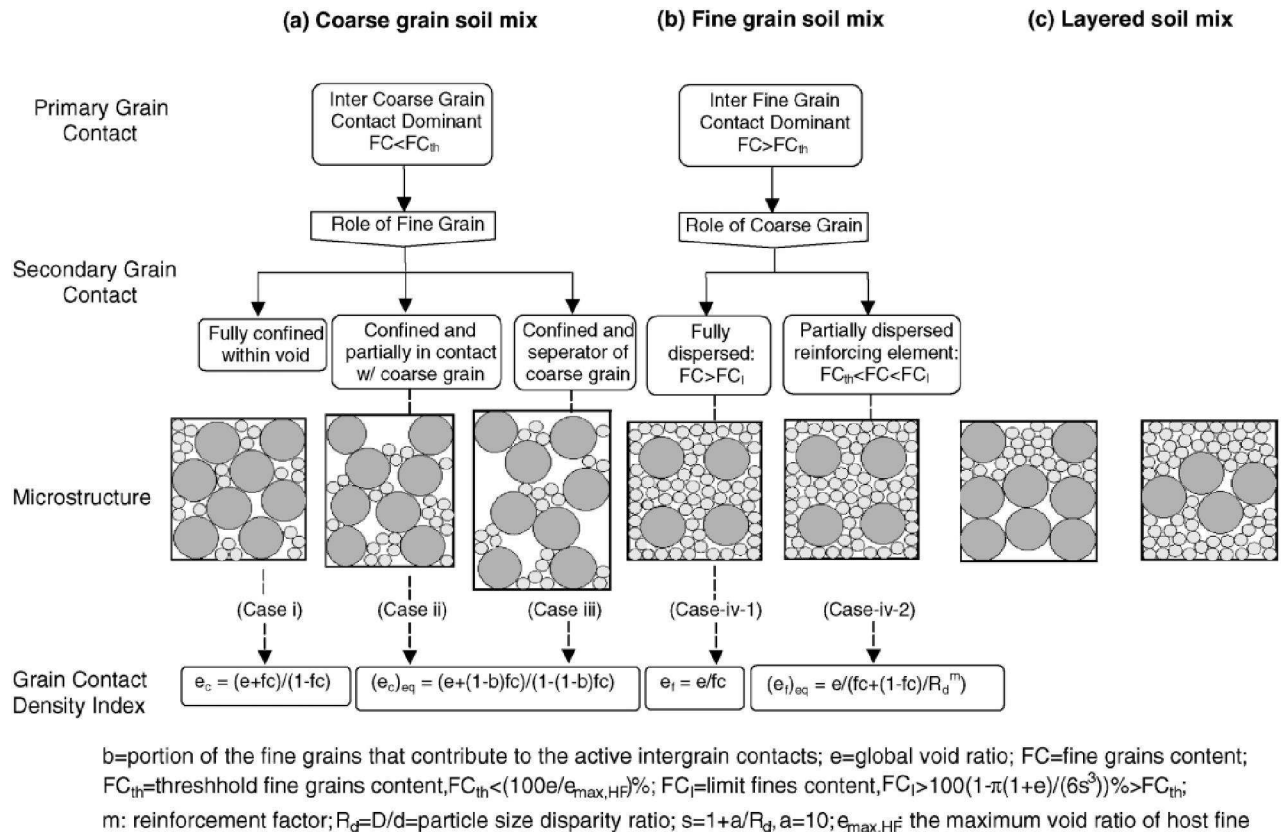
Angka pori ( $e$ ) adalah perbandingan antara volume rongga ( $V_v$ ) terhadap volume tanah ( $V_s$ ) (Hardiyatmo, 1992). Sedangkan angka pori *intergranular* ( $e_c$ ) didefinisikan sebagai volume pori yang ditambahkan butiran halus pada suatu unit volume butiran kasar (Thevanayagam and Mohan, 2000).

Thevanayagam dkk. (2002) mendeskripsikan klasifikasi mikrostruktur campuran *intergranular* dalam gambar 2. Mikrostruktur campuran butiran dapat dibentuk dalam berbagai cara dengan berbagai jenis kontak antar butir yang menyebabkan respon geser yang berbeda. Sebagai contoh, pada gambar 2 diperlihatkan campuran partikel dengan ukuran butiran kasar (D) dan ukuran butiran halus (d) dalam proporsi yang berbeda. Di antara banyak variasi, mikrostruktur campuran dibatasi dalam tiga kategori yang kondisinya ekstrim: (a) sebagian besar kontak terjadi antar butiran kasar, (b) sebagian besar kontak antar butir terjadi antar butiran halus dan memisahkan kontak antar butiran kasar, sedangkan (c) adalah sistem berlapis. Pada kategori (a), terdapat tiga himpunan bagian yaitu, kondisi dimana butiran halus mengisi pori antar butiran kasar dengan hanya sedikit berkontribusi mendukung butiran kasar [kasus (i)], butiran halus yang mengisi pori dapat memberikan dukungan pada struktur butiran kasar secara parsial [kasus (ii)], atau sebagian butiran halus memisahkan butiran-butiran kasar [kasus (iii)].

Angka pori *intergranular* ( $e_c$ ) terletak pada kondisi dengan jumlah butiran halus lebih kecil dari jumlah ambang batas kandungan butiran halus ( $FC < FC_{th}$ ).  $FC_{th}$  (*threshold fine grains content*) atau jumlah ambang batas kandungan butiran halus adalah kondisi dimana butiran halus telah mengisi penuh pori antar butiran kasar, atau titik peralihan dari keadaan yang awalnya perilaku pasir dapat

memberikan kontribusi besar (dominasi pasir) berubah ke perilaku dominasi lanau (Yang dkk., 2006). Pada penelitian-penelitian sebelumnya (Polito dan Martin, 2001) yang telah melakukan pengujian terhadap 185 kombinasi (37 jenis pasir dan 5 jenis lanau), 62% hasil dari pengujian tersebut menemukan nilai  $FC_{th}$  berkisar antar 25% - 45%. Dengan menggunakan angka pori *intergranular*, Thevanayagam (1998) menemukan batas yang unik

untuk pasir seragam dengan penambahan butiran halus nonplastis, yang dinyatakan dalam persamaan: 
$$e_c = \frac{e+f_c}{1-f_c} \quad (1)$$
 dengan  $e$  adalah angka pori,  $e_c$  adalah angka pori *intergranular*, dan  $f_c$  adalah persentase butiran halus terhadap berat campuran (dalam desimal)



**Gambar 2.** Klasifikasi campuran butiran tanah (Thevanayagam dkk., 2002)

**c. Kuat Geser Tanah Pasir**

Kuat geser tanah pasir dapat ditentukan dari salah satu pengujian triaksial (*Triaxial test*) atau geser langsung (*Direct shear test*). Hardiyatmo (1992) menyatakan faktor-faktor yang mempengaruhi kuat geser tanah pasir antara lain :

- ukuran butiran,
- air yang terdapat di antara butirannya,
- kekasaran permukaan butirannya,
- angka pori atau kerapan relatif,
- distribusi ukuran butiran,
- bentuk butiran,
- tegangan utama tengah dan
- sejarah tegangan yang pernah dialami.

Dari faktor-faktor tersebut, yang paling besar pengaruhnya adalah nilai angka pori. Karena angka pori akan berpengaruh pada kerapatannya. Pada pengujian geser langsung maupun triaksial, bila angka pori rendah atau kerapatan relatif tinggi,

maka nilai kuat geser (sudut gesek dalam) akan tinggi.

**METODE PENELITIAN**

Pengujian di laboratorium selain dilakukan terhadap pasir Siuri murni dan butiran halus nonplastis, juga akan dilakukan terhadap campuran keduanya. Bahan tambah untuk campuran (*mix*) berupa butiran halus yang juga berasal dari pasir Siuri yang telah dihaluskan terlebih dahulu dan lolos saringan No. 200. Kadar (persentase) butiran halus yang akan ditambahkan, yaitu 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% dan 90% terhadap berat campuran. Pengujian-pengujian yang dilakukan adalah pengujian sifat fisik tanah, yaitu Uji gradasi ukuran butiran, uji berat isi tanah, uji berat jenis tanah) dan pengujian sifat mekanik tanah, yaitu uji kuat geser. Untuk pengujian sifat mekanik dilakukan

pengujian geser langsung dengan menentukan kerapatan relatifnya ( $D_r$ ), yaitu 50%.

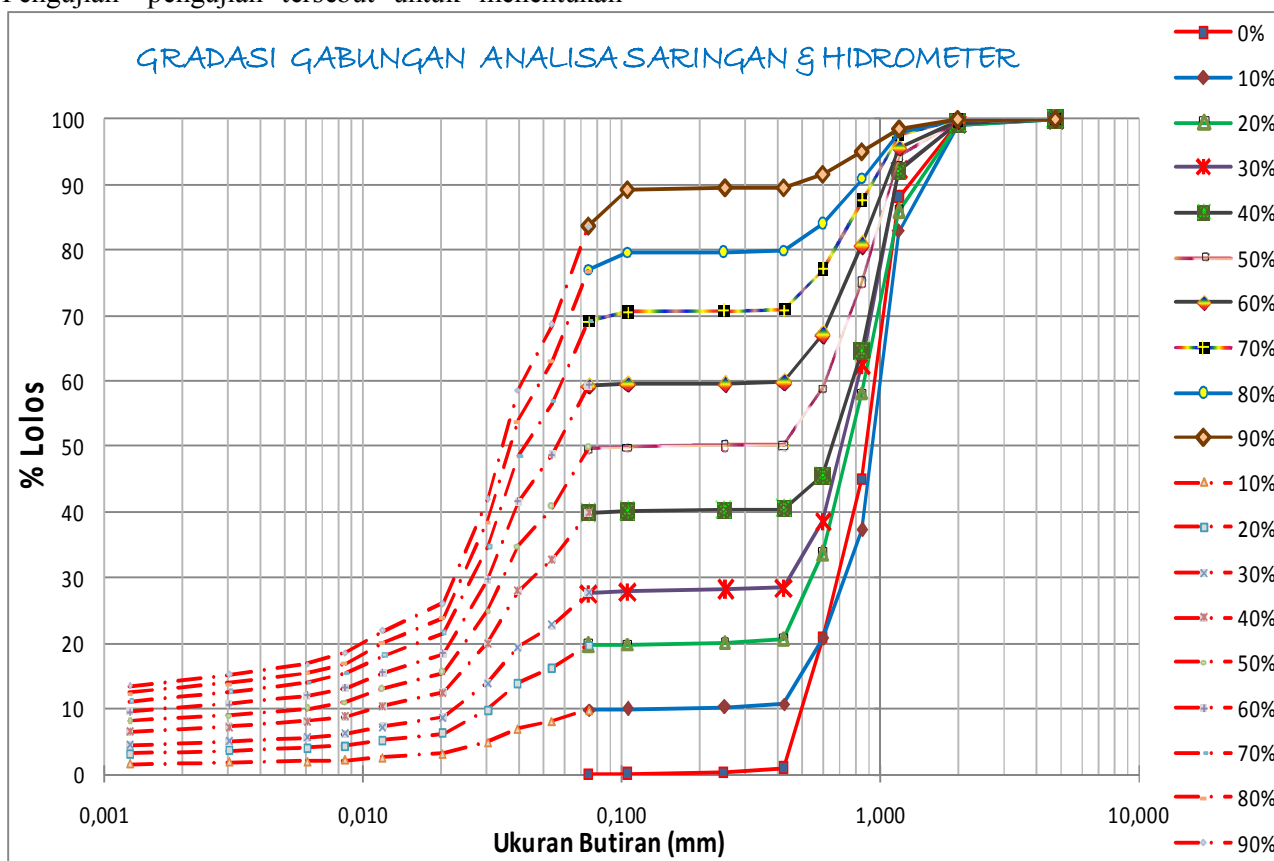
Selanjutnya pembahasan untuk hasil dari pengujian laboratorium tersebut akan dibatasi pada kondisi dominan butiran kasar, yaitu terhadap pasir Siuri murni (0%) dan campurannya dengan variasi komposisi butiran halus 10%, 20%, 30% serta 40%. Untuk memudahkan analisis, parameter-parameter tersebut akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Analisis dan pembahasan akan difokuskan pada pengaruh dari penambahan butiran nonplastis terhadap perubahan nilai-nilai parameter yang merupakan hasil dari setiap pengujian. Sehingga dari hubungan-hubungan tersebut akan dirangkaikan untuk menjawab tujuan yang ingin dicapai, dan akhirnya bisa memberikan kesimpulan dari hasil penelitian ini.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data primer pada penelitian ini diperoleh dari pengujian-pengujian di laboratorium, yang terdiri dari pengujian sifat-sifat fisik dan mekanik. Pengujian-pengujian tersebut untuk menentukan

karakteristik dari material pasir Siuri murni, butiran halus nonplastis (sebagai bahan tambah), serta campuran pasir Siuri dengan butiran halus nonplastis dengan variasi persentase yang telah ditentukan. Nilai-nilai parameter dari hasil pengujian tersebut, yang selanjutnya juga telah dihitung untuk pasir Siuri murni (0%) dan campurannya dengan variasi komposisi butiran halus 10%, 20%, 30% dan 40%, telah tersajikan. Selanjutnya, pada **Gambar 3** dapat dilihat grafik gradasi gabungan dari uji analisa saringan dan hidrometer.

Perubahan kadar butiran halus nonplastis dalam campurannya dengan pasir Siuri, ternyata memperlihatkan perubahan karakteristik campuran tersebut dengan pola serupa untuk beberapa parameter. Secara umum, perubahan nilai parameter tersebut mendeskripsikan bahwa seiring dengan penambahan butiran halus, maka beberapa parameter seperti  $\gamma_d$ ,  $\gamma_{d_{maks}}$ ,  $\gamma_{d_{min}}$ ,  $\phi$ , dan  $\tau$  akan meningkat, sedangkan  $e$ ,  $e_{maks}$ , dan  $e_{min}$  akan menurun, sampai pada kadar butiran halus 30%, kemudian hal yang sebaliknya terjadi pada kadar butiran halus 40%.

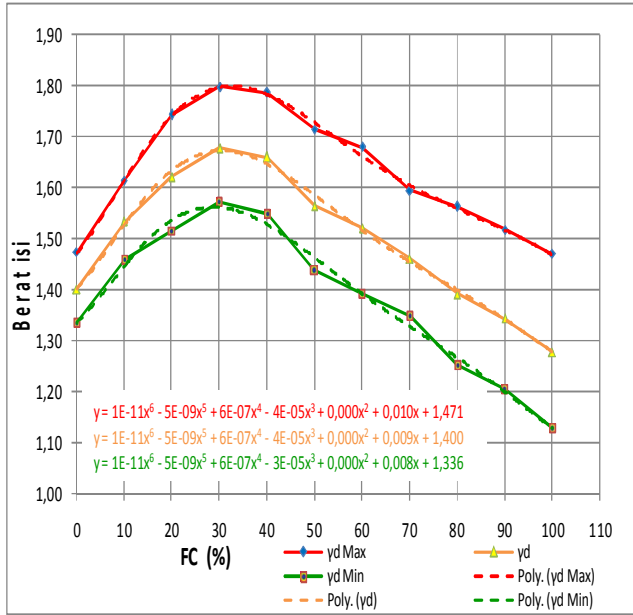


**Gambar 3.** Grafik Gradasi Gabungan Analisa Saringan dan Hidrometer

Kondisi perubahan setelah melewati ambang batas kandungan butiran halus ( $F_{c_{th}}$ ) pada campuran dengan kadar butiran halus antara 30-40% inilah yang dimaksudkan terjadi peralihan perilaku, yang

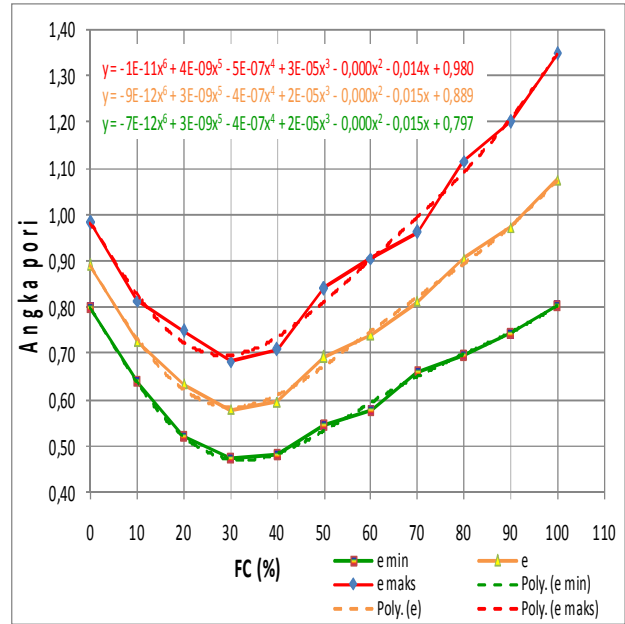
awalnya perilaku pasir dapat memberikan kontribusi lebih besar (dominasi pasir), kemudian kontribusi yang lebih besar tersebut beralih pada butiran halus

(dominasi butiran halus). Secara grafis hasil tersebut



(a)

dapat dilihat pada **Gambar 4 (a dan b) dan 5.**

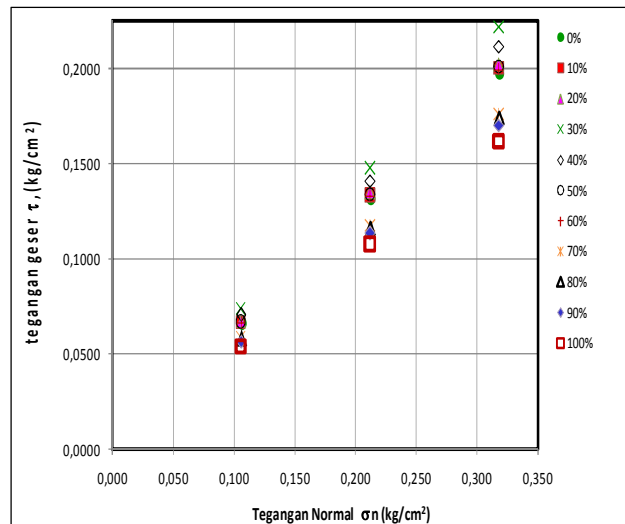


(b)

**Gambar 4.** Grafik hubungan FC dengan  $\gamma_d$ ,  $\gamma_{dmin}$  dan  $\gamma_{dmax}$  (a) dan dengan  $e$ ,  $e_{min}$  dan  $e_{maks}$  (b)

Pengujian sifat fisik yang dihitung dengan menggunakan  $D_r$  50% mengalami peningkatan sampai pada kadar butiran halus 30%, dengan hasil nilai berat isi maksimum ( $\gamma_{dmax}$ ) 1,47 gr/cm<sup>3</sup> pada 0% menjadi 1,80 gr/cm<sup>3</sup> pada 30%, berat isi minimum ( $\gamma_{dmin}$ ) yaitu 1,33 gr/cm<sup>3</sup> pada 0% menjadi 1,57 gr/cm<sup>3</sup> pada 30% dan nilai berat volume tanah asli ( $\gamma_d$ ) yang awalnya 1,40 gr/cm<sup>3</sup> pada 0% menjadi 1,68 gr/cm<sup>3</sup> pada 30%, kemudian nilai-nilai tersebut menurun pada campuran dengan kadar butiran halus 40%. Keadaan yang sebaliknya terjadi terhadap nilai  $e_{maks}$ ,  $e_{min}$ , dan  $e$  yang mengalami penurunan sampai pada kadar butiran halus 30%, dimana nilai angka pori maksimum ( $e_{maks}$ ) yang awalnya 0,983 pada 0% menjadi 0,683 pada 30%, angka pori minimum ( $e_{min}$ ) yang awalnya 0,797 pada 0% menjadi 0,473 pada 30%, dan angka pori ( $e$ ) yang awalnya 0,890 pada 0% menjadi 0,578 pada 30%, kemudian meningkat pada campuran dengan kadar butiran halus 40%. Hasil tersebut adalah bukti yang menunjukkan bahwa penambahan butiran halus nonplastis yang mengisi pori antar butiran seragam pasir Siuri dengan pasti akan meningkatkan kepadatan dari campuran tersebut yang juga berarti akan memperbesar nilai berat isi keringnya. Selanjutnya, penambahan butiran halus nonplastis tersebut secara terus menerus, yang berarti meningkatkan kadarnya dalam campuran tersebut dan mengisi pori antar butiran seragam pasir Siuri akan semakin memperkecil pori, sampai akhirnya tidak akan ada lagi pori pada campuran tersebut, yang artinya telah mencapai ambang batas

kandungan butiran halus. Kondisi yang sebaliknya akan terjadi pada saat kadar butiran halus nonplastis mencapai 40%, karena kontribusi dalam campuran tersebut dianggap telah beralih pada butiran halus yang jumlahnya semakin meningkat (dominasi butiran halus) dan telah mampu memisahkan antar butiran pasir Siuri, sehingga peningkatan jumlah butiran halus tersebut dianggap juga memperbesar pori antar butiran kasar pasir Siuri.



**Gambar 5.** Grafik hubungan tegangan geser dengan tegangan normal terhadap penambahan butiran halus

Pada hasil pengujian sifat mekanik (geser langsung) nilai-nilainya mengalami peningkatan sampai pada kadar butiran halus 30%, yaitu pada parameter sudut gesek ( $\phi$ ) yang awalnya sebesar

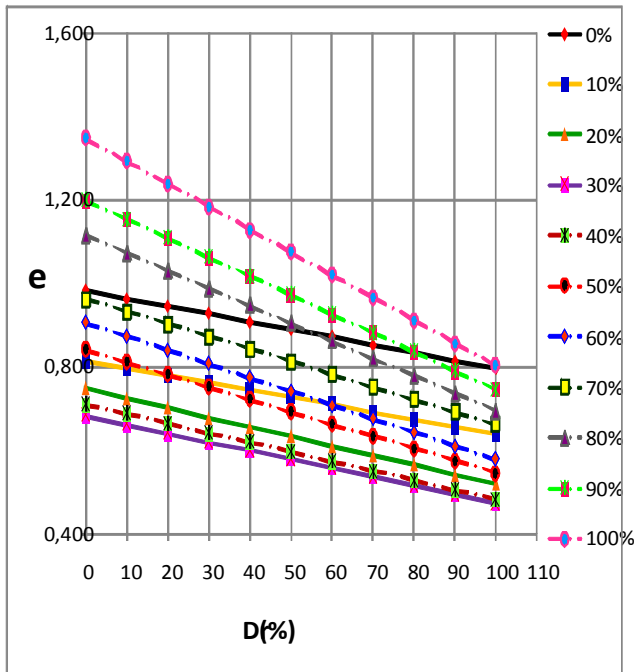
31,84° pada 0% menjadi 34,80° pada 30% dan tegangan geser ( $\tau$ ) untuk setiap variasi tegangan normal, yaitu pada  $\sigma_{n1}$  nilainya sebesar 0,0659 kg/cm<sup>2</sup> pada 0% menjadi 0,0737 kg/cm<sup>2</sup> pada 30%, pada  $\sigma_{n2}$  nilainya sebesar 0,1317 kg/cm<sup>2</sup> pada 0% menjadi 0,1474 kg/cm<sup>2</sup> pada 30%, dan pada  $\sigma_{n3}$  nilainya sebesar 0,1976 kg/cm<sup>2</sup> pada 0% menjadi 0,2211 kg/cm<sup>2</sup> pada 30%, setelah itu nilai-nilai tersebut menurun pada campuran dengan kadar butiran halus 40%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan butiran halus yang mengisi pori antar pasir Siuri dengan jumlah yang kurang dari jumlah ambang batas kandungan butiran halus ( $F_c < F_{c_{th}}$ ) ternyata akan lebih besar pergesekan antar butirannya dan semakin besar pula kekuatan geser yang terjadi.

Nilai angka pori ( $e$ ) dan angka pori *intergranular* ( $e_c$ ) untuk beberapa nilai kerapatan relatif ( $D_r$ ) juga telah dicoba untuk dihitung dan juga disajikan dalam bentuk grafik pada **Gambar 6 (a dan b)**.

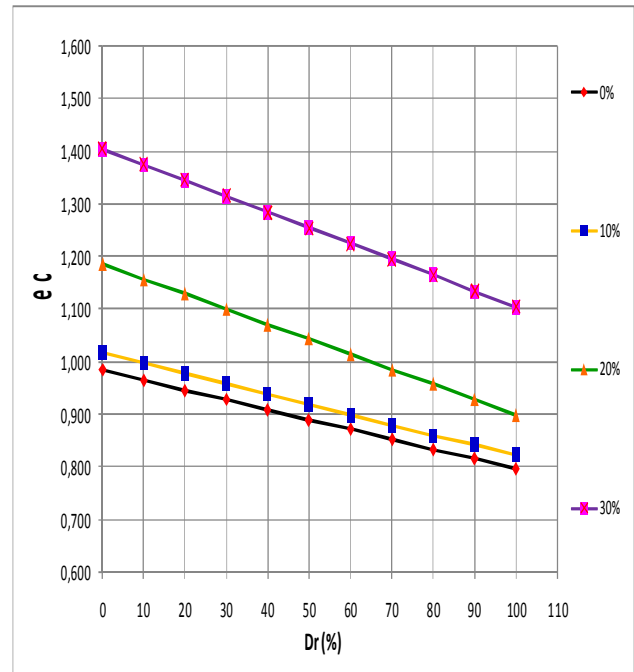
Seperti yang terlihat pada grafik tersebut, bahwa antara angka pori ( $e$ ) dan kerapatan relatif ( $D_r$ ) memiliki hubungan yang berbanding terbalik, yaitu dengan meningkatnya kerapatan relatif maka nilai angka porinya akan menurun, begitu pula sebaliknya. Dengan demikian, maka hasil tersebut telah sesuai dengan teori yang ada, bahwa dengan terisinya pori antar butiran maka akan semakin rapat kondisi suatu struktur tanah. Sedangkan bila ditinjau

dari pengaruh penambahan butiran halus, akan terlihat bahwa pada setiap kerapatan relatif yang sama angka porinya menurun sampai pada campuran dengan kadar 30% butiran halus, kemudian kembali meningkat pada campuran dengan kadar 40% butiran halus dan seterusnya.

Pada grafik yang menyatakan hubungan antara angka pori *intergranular* ( $e_c$ ) dan kerapatan relatif untuk pasir Siuri murni (0%) dan untuk setiap campuran Pasir Siuri dengan persentase butiran halus 10% - 30% (batas angka pori *intergranular*), terlihat bahwa hubungan antara kerapatan relatif ( $D_r$ ) dengan angka pori *intergranular* ( $e_c$ ) ternyata sama saja dengan hubungan antara kerapatan relatif dengan angka pori ( $e$ ). Namun, bila ditinjau dari pengaruh penambahan butiran halus, hubungan yang terjadi berbeda dengan yang terhadap angka pori ( $e$ ), angka pori *intergranular* ternyata akan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar butiran halus nonplastis dalam campuran tersebut. Ini dikarenakan penggunaan parameter angka pori *intergranular* ( $e_c$ ) adalah untuk menyatakan besarnya volume pori yang ditambahkan butiran halus pada suatu unit volume butiran kasar dalam campuran tersebut. Sehingga jika kadar butiran halus semakin bertambah, maka semakin besar ruang pori yang terisi antar butiran kasar, tetapi belum sampai mengisi pori secara keseluruhan ( $F_c < F_{c_{th}}$ ).



(a)



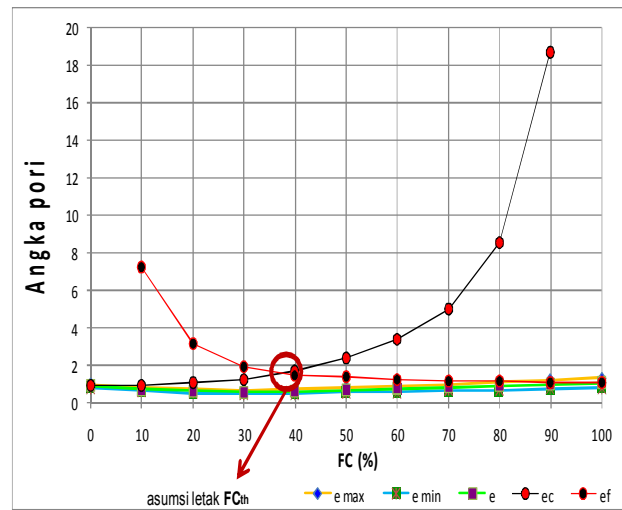
(b)

**Gambar 6.** Grafik hubungan kerapatan relatif ( $D_r$ ) dengan angka pori (a) dan dengan angka pori *intergranular* (b), terhadap penambahan butiran halus

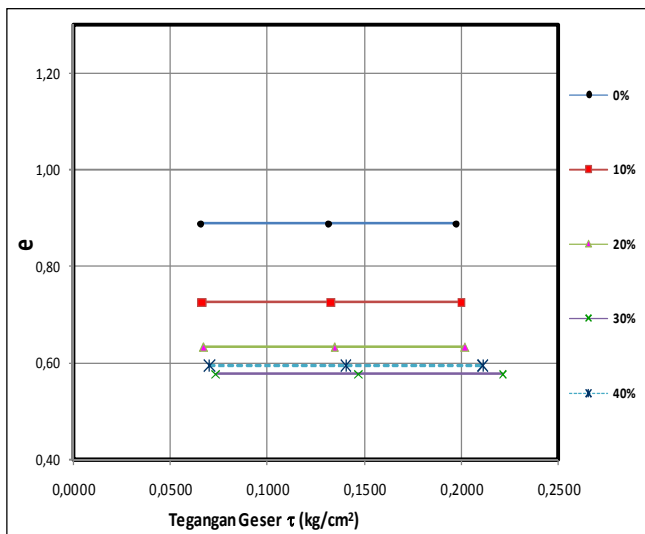
Hubungan antara angka pori ( $e$ ), angka pori maksimum ( $e_{maks}$ ), angka pori minimum ( $e_{min}$ ), angka pori *intergranular* ( $e_c$ ), dan angka pori *interfine* ( $e_f$ ) dengan adanya pengaruh penambahan butiran halus nonplastis secara grafis dapat terlihat pada **Gambar 7**.

Secara khusus jika dilihat nilai angka pori *intergranular* ( $e_c$ ) pada grafik tersebut, tampak bahwa nilainya terus meningkat seiring dengan bertambahnya kadar butiran halus. Namun pada kondisi setelah melewati ambang batas kandungan butiran halus ( $FC_{th}$ ) sebaiknya yang digunakan adalah parameter angka pori *interfine* ( $e_f$ ), karena setelah ambang batas kandungan butiran halus ( $FC_{th}$ ) akan terjadi peralihan kontribusi, dimana akan lebih didominasi oleh butiran halus, sedangkan butiran kasar hanya akan dianggap sebagai pengisi angka pori antar butiran halus tersebut. Pada grafik tersebut ternyata terdapat satu titik yang merupakan titik perpotongan antara kurva  $e_c$  dan  $e_f$ , yang bisa saja diasumsikan sebagai letak ambang batas kandungan butiran halus ( $FC_{th}$ ) yang lebih tepat,

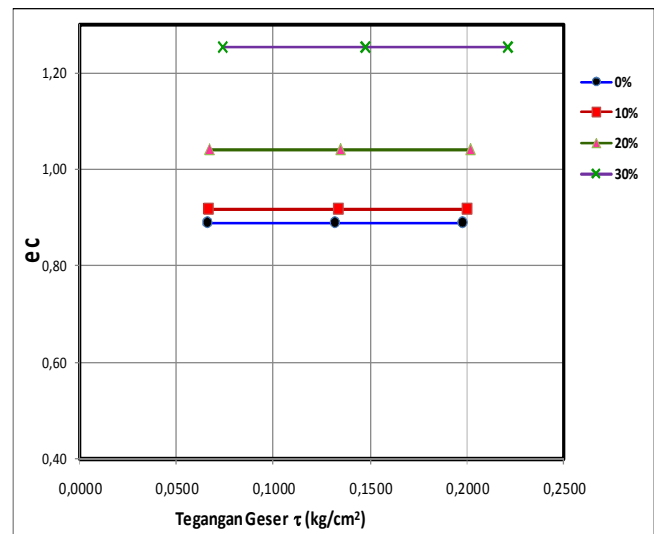
yaitu di antara 30-40% dengan besarnya sekitar 38 %.



**Gambar 7.** Grafik hubungan  $FC$  dengan  $e_{maks}$ ,  $e_{min}$ ,  $e_c$ , dan  $e_f$



(a)



(b)

**Gambar 8.** Grafik hubungan antara tegangan geser dengan angka pori (a) dan angka pori *intergranular* (b) terhadap penambahan butiran halus

Angka pori adalah salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kuat geser tanah pasir, jika nilai angka pori rendah maka nilai kuat gesernya akan tinggi. Hal ini juga terbukti pada penelitian pasir Siuri yang telah ditambahkan butiran halus nonplastis, dengan nilai kuat geser dan angka pori yang telah diperoleh sebelumnya untuk campuran dengan kerapatan relatif ( $Dr$ ) 50%, hubungan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 8 (a)**. Pada angka pori ( $e$ ) yang sama dan variasi tegangan normal ( $\sigma_n$ ) yang sama, nilai tegangan geser

semakin membesar seiring dengan bertambahnya kadar butiran halus dalam campuran tersebut sampai pada ambang batas kandungan butiran halus, yaitu di antara 30-40%. Hal ini dikarenakan kekuatan geser yang terjadi pada tanah pasir yang bercampur butiran halus berbeda dengan kekuatan geser pada pasir Siuri murni (0% butiran halus), dimana kekuatan gesernya akan sedikit dipengaruhi adanya lekatan antara butiran halus dengan butiran kasar yang kemudian akan terjadi pergesekan antar butir-butir tanah tersebut, sehingga semakin banyak

butiran halus yang mengisi pori antar butiran kasar maka akan lebih besar pergesekan antar butirannya dan semakin besar pula kekuatan geser yang terjadi. Setelah melewati  $FC_{th}$  tersebut, hal yang sebaliknya terjadi karena adanya peralihan yaitu menjadi dominasi butiran halus, dimana ukuran butirannya yang pastinya lebih kecil akan menjadi faktor yang mempengaruhi (menurunkan) kekuatan geser tanah campuran tersebut.

Hubungan antara angka pori intergranular ( $e_c$ ) dengan kuat geser dari campuran tersebut dapat dilihat pada **Gambar 8 (b)**. Pada grafik tersebut tampak bahwa hubungan yang terjadi terdapat perbedaan jika dibandingkan dengan hubungan sebelumnya [**Gambar 8 (a)**], yaitu dengan variasi tegangan normal ( $\sigma_n$ ) yang juga sama, ternyata seiring dengan bertambahnya kadar butiran halus dalam campuran tersebut bukan hanya nilai tegangan gesernya yang semakin membesar, tetapi angka pori *intergranular*nya juga turut meningkat. Berdasarkan hal tersebut, terbukti bahwa angka pori *intergranular* adalah parameter yang menyatakan pori atau rongga antar butiran kasar pasir Siuri yang terisi oleh butiran halus nonplastis. Semakin besar kadar butiran halus dalam campurannya dengan pasir, maka semakin banyak rongga yang akan terisi antar butiran pasir tersebut, hingga akhirnya seluruh rongga (pori) tersebut akan terisi penuh oleh butiran halus tetapi belum sampai memisahkan antar butiran kasarnya, dan inilah yang disebut ambang batas kandungan butiran halus ( $FC_{th}$ ).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pengujian laboratorium, yang telah diolah dan dianalisis, dan kemudian disesuaikan dengan tujuan dari penelitian ini, maka disimpulkan bahwa akibat adanya penambahan butiran halus nonplastis dan perubahan kadarnya dalam campurannya dengan pasir Siuri, ternyata memperlihatkan adanya perubahan karakteristik campuran tersebut dengan pola yang serupa untuk beberapa parameter, baik pada sifat fisik maupun pada sifat mekaniknya.

Secara umum, perubahan nilai parameter tersebut mendeskripsikan bahwa seiring dengan penambahan butiran halus, maka beberapa parameter seperti  $\gamma_d$ ,  $\gamma_{dmaks}$ ,  $\gamma_{dmin}$ ,  $\phi$ , dan  $\tau$  akan meningkat, sedangkan  $e$ ,  $e_{maks}$ , dan  $e_{min}$  akan menurun, sampai pada kadar butiran halus 30%, kemudian hal yang sebaliknya terjadi pada kadar butiran halus 40%, maka dipastikan ambang batas dari kandungan butiran halus ( $FC_{th}$ ) terletak pada campuran dengan kadar butiran halus 30-40%.

Berdasarkan penelitian ini, teori-teori dari penelitian sebelumnya kembali diperlihatkan pada jenis pasir yang berbeda, yaitu pasir Siuri. Pada kondisi tanah campuran seperti ini, angka pori *intergranular* sebagai parameter yang menyatakan pori atau rongga antar butiran kasar pasir Siuri yang terisi oleh butiran halus nonplastis, merupakan indeks yang lebih tepat untuk menggambarkan kondisi kepadatan antar butiran kasar pasir Siuri dibandingkan angka pori ( $e$ ). Hal ini dikarenakan saat kondisi di bawah ambang batas kandungan butiran halus ( $FC < FC_{th}$ ), butiran halus nonplastis tersebut hanya sekedar mengisi rongga dan kontribusi dalam campuran masih didominasi oleh butiran kasar (pasir Siuri murni), sampai pada keadaan dimana kadar butiran halus nonplastis mengisi penuh rongga antar butiran kasar tersebut atau telah mencapai ambang batas kandungan butiran halus (*threshold fine content*). Selanjutnya, penambahan kadar butiran halus ( $FC > FC_{th}$ ) akhirnya mampu memisahkan antar butiran kasar, yang berarti butiran halus nonplastis tersebut mulai memberikan kontribusi dan tidak sekedar mengisi pori antar butiran kasarnya lagi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bahadori, H., Ghalandarzadeh, A., and Towhata, I. 2008, *Effect of Non Plastic Silt On The Anisotropic Behavior of Sand, Soils and Foundation*, 48(4), 531-545.
- Cubrinovski, M., and Ishihara, K., 2002, *Maximum and Minimum Void Ratio Characteristics of Sands, Soils and Foundation*, 42(6), 65-78.
- Hardiyatmo, H.C., 1992, *Mekanika Tanah*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Oktaviana, Ida, S. 1998, *Analisis Pasir Siuri Sebagai Alternatif Bahan Pengganti Pasir Standar Sand Cone*, Tugas Akhir FT UNTAD, Palu 1998.
- Polito, C. P., and Martin, II, J.R., 2001, *Effects of Nonplastic Fines On The Liquefaction Resistance of Sands. Journal of Geotechnical and Geonvironmental Engineering*, 127(5), 408-415.
- Thevanayagam, S., 1998, *Effect of Fines and Confining Stress On Undrained Shear Strength of Silty Sands. Journal of Geotechnical and Geonvironmental Engineering*, 124(6), 479-491
- Thevanayagam, S. and Mohan, S., 2000, *Intergranular State Variable and Stress-strain*

- Behavior of Silty Sands. Journal of Geotechnique*, 50(1), 1-23
- Thevanayagam, S and Martin, G.R., 2002, *Liquefaction in Silty Soils-screening and Remediation Issues, Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22, 1035-1042.
- Thevanayagam, S., Shenthana, T., Mohan, S., and Liang, J., 2002, *Undrained Fragility of Clean Sands, Silty Sands, and Sandy Silts. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 128(10), 849-859.
- Xenaki, V. C. and Athanasopoulos, G.A., 2003, *Liquefaction Resistance of Sand-Silt Mixtures: an Experimental Investigation of The Effect of Fines, Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 23, 183-194.
- Yamamoto, J.A., and Covert, K.M., 2001, *Monotonic and Cyclic Liquefaction of Very Loose Sands with High Silt Content, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 127(4), 314-324.
- Yang, S.L., Sandven, R., and Grande, L., 2006, *Instability of Sand-silt Mixtures. Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 26, 183-190