

PENGARUH GRADASI PASIR DAN KADAR LEMPUNG TERHADAP KUAT GESER TANAH

Khairul Umam⁽¹⁾, Soewignjo Agus Nugroho⁽²⁾, Gunawan Wibisono⁽³⁾

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293
Email: khairul.umam@student.unri.ac.id

² Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293
Email: nugroho.sa@eng.unri.ac.id

³ Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293
Email: gunawan.wibisono@eng.unri.ac.id

ABSTRACT

Clayey sand's shear strength is influenced by several factors, for examples sand and clay soil fraction, soil properties, density, moisture content, and gradation. Sand and clay mixture with same composition may differ in shear strength. It is influenced by moisture content, density and gradation. This research aims to study the effect of clay content in sand that change the Shear strength of soil. Variation of clayey sand soil distinguished based on percentage, every variation have different gradation from well-graded sand to poorly-graded sand. Each sample variation is mixed with a certain moisture content, preloading created in order to represent overburden pressure. Samples was tested of gradation, density and shear strength. Relationship between gradation and shear strength value expressed by the value of C_c , C_u and cohesion, internal friction angle shows specific graphs in particular trends. The results showed effect of gradation and density on soil shear strength. Soil with well-graded sand and dense has good shear strength, in the other hand shear strength decreased when the gradation and density became lower. The addition of clay will increase cohesion and decrease internal friction angle.

Keywords : clay, density, gradation, shear strength, sand.

I. PENDAHULUAN

Wilayah pesisir Indonesia didominasi oleh tanah lunak. Tanah lunak memiliki karakteristik yang sangat buruk, terutama daya dukung tanah. Perencanaan timbunan harus memenuhi standar kapasitas dukung perencanaan yang sering kali sulit dicapai. Salah satu faktor yang menyebabkan kegagalan timbunan pada tanah lunak adalah kualitas material yang buruk seperti sulit untuk dipadatkan dan kapasitas dukung material maksimum yang tidak mencapai standar rencana. Dalam perencanaan timbunan pada tanah lunak Bina Marga menyarankan menggunakan material granular, sehingga pada penelitian ini material yang diteliti adalah material pasir dengan variasi gradasi dan campuran lempung. Kapasitas dukung tanah timbun dapat dilihat dari kekuatan geser tanahnya yaitu sudut geser dalam (Φ) dan kohesi (c).

Sudut geser dalam (Φ) dipengaruhi oleh kekasaran permukaan bidang geser yang bersentuhan. Kekasaran permukaan bidang geser terbentuk karena distribusi, ukuran dan bentuk partikel pada bidang geser tanah. Kohesi (c) adalah Gaya tarik menarik antar molekul yang memiliki sifat kohesif. Salah satu aspek yang mempengaruhi kohesi adalah kerapatan dan jarak antar molekul dalam suatu benda, sehingga kohesi juga dipengaruhi oleh distribusi ukuran butiran yang dapat menyebabkan kerapatan yang lebih besar antar partikel tanah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Studi literatur

Prihatin & Wahyudi (2009) melakukan penelitian mengenai korelasi antara gradasi material timbunan dengan kepadatan dan kuat geser tanah. Hasil

penelitian menunjukkan semakin besar C_c/C_u (tanah semakin homogen) maka semakin kecil γ_{dmax} , nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Sebaliknya, jika C_c/C_u semakin kecil (tanah semakin heterogen) maka semakin besar γ_{dmax} , nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Kara dkk (2013) melakukan penelitian mengenai kontribusi dari rentang ukuran butiran pasir terhadap kuat geser pasir. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan rentang ukuran butiran pasir dan membuat variasi tambahan berupa gradasi dari pencampuran rentang ukuran butiran pasir. Kemudian masing masing variasi dilakukan uji geser langsung. Dari hasil penelitian didapat bahwa semakin besar ukuran dari partikel pasir maka sudut geser pasir (ϕ) akan semakin meningkat. Pasir tidak memiliki kemampuan mengikat antar partikel (kohesi) dan sulit dipadatkan sehingga daya dukung tidak terpenuhi, untuk memecahkan masalah ini maka pasir harus ditambahkan material pengikat berupa tanah kohesif. Hakam, et al (2010), melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan tanah lempung pada pasir pantai terhadap kuat geser tanah. Hasil penelitian menunjukkan semakin padat suatu massa tanah maka semakin besar sudut gesernya, sebaliknya semakin lepas suatu massa tanah maka semakin kecil sudut geser yang dihasilkan. Semakin besar kadar lempung yang ditambahkan maka semakin meningkat kohesi tanah tersebut, dan sudut geser akan menjadi semakin menurun.

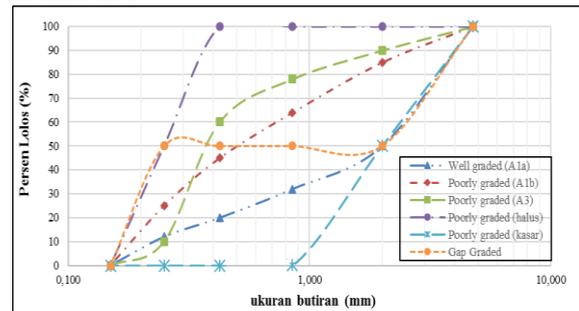
III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dimaksudkan untuk melihat pengaruh dari gradasi pasir, persentase kandungan lempung dan kepadatan pasir berlempung. Tahapan-tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Persiapan Benda Uji

Benda uji dipersiapkan berdasarkan variasi gradasi pasir yang direncanakan berdasarkan ASHTOO dan USCS dan variasi kadar lempung pada campuran pasir.

Gradasi pasir rencana dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Gradasi rencana butiran pasir

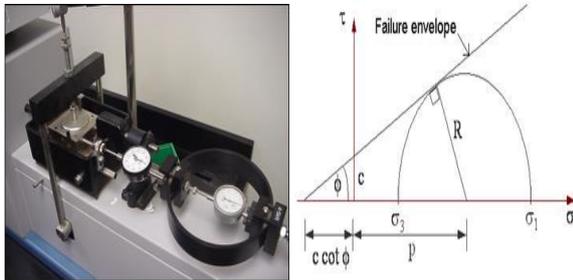
Pada tanah pasir, pasir di kategorikan sebagai gradasi baik (*well graded*) apabila nilai $C_c > 6$ dan nilai C_u diantara 1 dan 3 ($1 < C_u < 3$). Jika hanya memenuhi salah satu nilai C_u atau C_c maka, pasir dikategorikan bergradasi buruk (*poorly graded*). Gradasi timpang (*gap grading*), yaitu sebaran ukuran butiran yang mengalami kekurangan pada salah satu atau dua nomor saringan. *Gap Graded Sand* dari tanah pasir asli (SG) adalah gradasi dengan menghilangkan butiran ukuran saringan #20 dan saringan #40. Gradasi A1-b dan A3 adalah system klasifikasi tanah berdasarkan AASTHO dimana masuk kategori pasir bergradasi buruk (*poorly Graded sand*). Untuk gradasi seragam (*uniform fine graded, UF* dan *uniform coarse graded, UC*) merupakan pasir seragam ukuran butiran berturut turut #40 sampai #60 dan #4 sampai #40. Dari masing-masing gradasi di atas kemudian divariasikan dengan campuran lempung 0%, 10%, 20% dan 40%.

Kepadatan Sampel

Sampel divariasikan dalam 2 jenis kepadatan. Pertama, kepadatan tetap untuk semua variasi ($15,24 \text{ kN/m}^3$). Kedua, kepadatan dibentuk berdasarkan pemampatan konsolidasi dengan memberikan beban *preloading* ($0,16 \text{ kN/m}^2$) selama 24 jam, sehingga didapat kepadatan yang berbeda beda pada setiap variasi. Pengujian konsolidasi dilakukan berdasarkan ASTM D-2435. Setelah kepadatan didapat maka dilakukan pengujian direct shear pada setiap variasi.

Pengujian *Direct Shear*

Pengujian Geser Langsung (*direct shear*) ini dilakukan berdasarkan ASTM D-3080, tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui parameter kuat geser tanah berupa nilai Kohesi (c) dan Sudut Geser Tanah (θ).



Gambar 2. Alat direct shear dan hasil plot grafik tegangan vs kuat geser tanah

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian direct shear dilakukan pada tiap variasi gradasi dan kadar lempung. Pengujian properties tanah berupa gradasi, spesifik gravity, dan nilai dari atterberg limit (LL, PL, IP). Hasil dari pengujian utama direct shear test di bagi menjadi dua bagian. Pertama, sampel dibentuk kemudian digeser tanpa memberikan beban *preloading*. Kedua, sampel dibentuk dalam *ring apparatus*, beban *preloading* diberikan pada sampel selama 24 jam kemudian dilakukan pengujian geser langsung.

Indeks properties tanah

Hasil dari pengujian properties tanah disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian properties tanah

Properties	Clay	Sand	90%	80%	70%	60%
Specific gravity (G_s)	2,675	2,636	2,637	2,638	2,647	2,651
Atterberg Limits						
-Liquid Limit (%)	30,80	-	-	-	-	-
-Plastic Limit (%)	20,50	-	-	-	-	-
-Plasticity Indeks (%)	10,30	-	-	-	-	-

Spesifik gravity (G_s) meningkat dengan bertambahnya kadar lempung pada pasir.

Berdasarkan USCS lempung dikategorikan CL (Lempung plastisitas rendah).

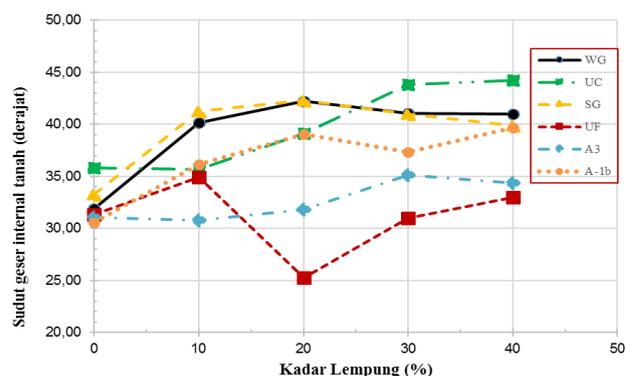
Hasil pengujian geser langsung

Dari hasil pengujian geser langsung didapatkan beberapa parameter pada masing-masing variasi gradasi pasir dan kadar lempung yaitu sudut geser internal tanah (ϕ), Kohesi (C) dan kepadatan tanah kering (γ_d). Kemudian dilakukan analisis hubungan dari beberapa parameter tersebut.

Hubungan antara kandungan pasir dengan kuat geser tanah.

a. Kuat geser tanpa penerapan beban *preloading* (tanpa konsolidasi)

Hubungan antara persentase kandungan lempung pada variasi gradasi pasir dengan sudut geser internal tanah (ϕ) untuk benda uji dengan kepadatan awal yang sama sebesar $15,24 \text{ kN/m}^3$ dapat dilihat pada Gambar 3. Sebagian besar sudut geser (ϕ) mengalami peningkatan dengan bertambahnya kandungan lempung pada gradasi pasir kecuali pada gradasi UF.



Gambar 3. Hubungan antara sudut geser (ϕ) dan % lempung tanpa *preloading* ($\gamma_d = 15,24 \text{ kN/m}^3$)

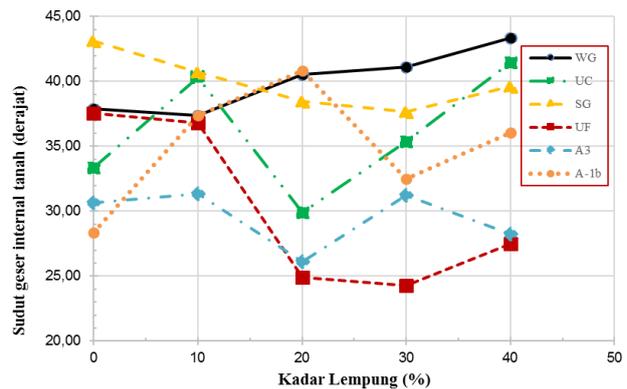
Gradasi UF mengalami penurunan nilai ϕ pada penambahan kandungan lempung lebih dari 10% dikarenakan gradasi UF adalah gradasi seragam dengan distribusi ukuran butiran adalah pasir halus, sehingga pada penambahan lempung lebih besar dari 10% akan menyebabkan sudut geser internal tanah yang terukur dominan disebabkan oleh kontak antar partikel

lempung. Hal yang sama juga ditemukan oleh Arifin dan Saputra (2015) penambahan kandungan pasir pada lempung akan meningkatkan nilai sudut geser tanah dan menghasilkan nilai sudut geser tanah maksimum pada 50% pasir dan akan menurunkan nilai sudut geser tanah pada penambahan kandungan pasir lebih dari 50%.

b. Kuat geser dengan penerapan beban preloading (konsolidasi)

Pada Gambar 4. menunjukkan penurunan kandungan pasir, secara umum akan menurunkan kekuatan gesek antar butiran pasir. Pada tanah dengan kandungan butiran halus kurang dari 12% (pasir bersih dan pasir kotor), kandungan lempung yang semakin besar akan menurunkan nilai ϕ (SW, Gap, UF). Di lain pihak, penambahan lempung dibawah 12% malah membuat sudut geser internal tanah meningkat (A1-b, A3, UC). Kemungkinan ini karena penambahan lempung akan memperluas bidang gesek antar butiran karena kadar lempung mengisi rongga butiran pasir. Untuk penambahan kandungan lempung >12% akan punya kecenderungan menaikkan nilai kuat geser internal tanah (kecuali SG dan UF). Hal ini dikarenakan penambahan lempung akan memperbaiki gradasi tanah. Pada SG dan UF, penambahan lempung malah menurunkan nilai ϕ , karena terjadi penambahan butiran dengan diameter kecil sementara SG dan UF butuh butiran yang tidak ada pada diameter besar. Dari Gambar 3 dan 4 menunjukkan sudut geser internal tanah yang besar didominasi oleh material pasir kasar (dominan ukuran butir > 0,850mm) seperti WG, UC dan SG. Untuk A1-b, A3 dan UF gradasi ukuran butiran pasir berturut-turut semakin halus dan hasil kuat geser internal tanah berturut-turut semakin kecil. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya oleh Kara (2013) yang mempelajari pengaruh dari ukuran partikel terhadap kuat geser tanah, hasil penelitiannya menunjukkan bahwa sudut geser tanah sangat dipengaruhi oleh ukuran

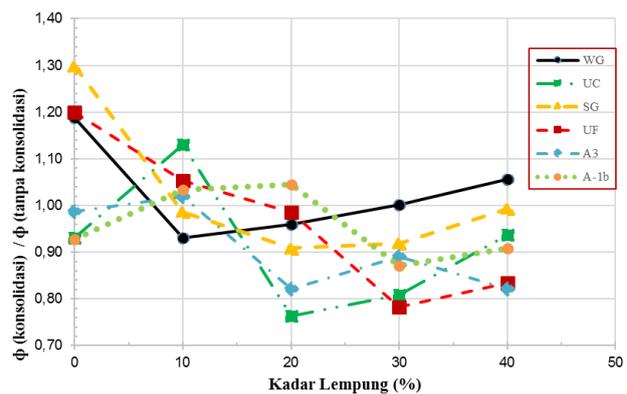
butiran, semakin besar ukuran butiran maksimum maka sudut geser tanah juga semakin meningkat dan sebaliknya.



Gambar 4. Hubungan antara sudut geser (ϕ) dan kadar lempung dengan aplikasi beban preloading.

c. Perbedaan antara kuat geser dengan preloading dan tanpa penerapan beban preloading.

Rasio $\phi > 1$ berarti pengaruh pemampatan mengakibatkan peningkatan nilai sudut geser (ϕ), sebaliknya jika rasio $\phi < 1$ maka pemampatan menyebabkan penurunan nilai sudut geser (ϕ).



Gambar 5. Hubungan Rasio ϕ dengan pemampatan dan tanpa pemampatan dengan kadar lempung.

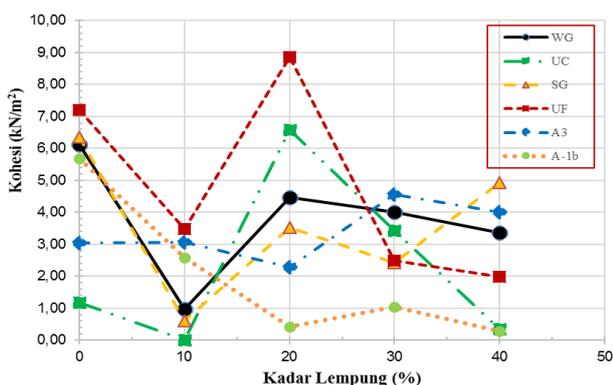
Secara umum penambahan kadar lempung menurunkan nilai rasio ϕ , ini menunjukkan bahwa pemampatan menyebabkan dominasi gesekan pada permukaan tanah beralih dari dominasi gesekan partikel pasir ke partikel lempung seiring bertambahnya kadar lempung. Pada penambahan lempung kecil dari 12% nilai

rasio $\phi > 1$ ini menunjukkan bahwa pemadatan akan meningkatkan nilai ϕ . Penambahan lempung lebih dari 12 persen cenderung menurunkan nilai rasio ϕ (rasio $\phi < 1$) ini menunjukkan bahwa proses pemampatan tanah pada kandungan lempung $> 12\%$ akan membuat permukaan geser tanah didominasi oleh lempung, karena pemampatan tanah pada kondisi ini akan mengakibatkan melimpahnya material pengisi (lempung) dari rongga pasir sehingga memberikan jarak antar partikel pasir untuk saling bersinggungan.

Hubungan antara kandungan pasir dengan kohesi (C).

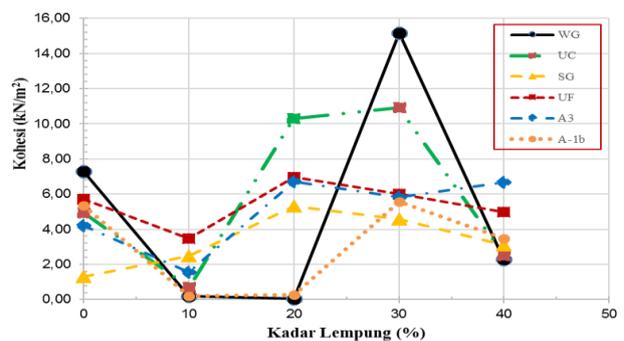
a. Kohesi tanpa beban *preloading* (kepadatan tetap)

Pengaruh penambahan lempung pada campuran tanah di perlihatkan pada Gambar 6 nilai kohesi tanah pada kandungan lempung kecil dari 5% (pasir bersih) merupakan nilai kohesi semu. Pengurangan campuran lempung dari 20% nilai kohesi sangat fluktuatif, kemungkinan ini dikarenakan kuat geser tanah masih sangat didominasi oleh gradasi pasir. Pada pengujian ini sampel dalam keadaan tidak padat sehingga kurangnya kontak antar partikel lempung, hal ini mengakibatkan pengaruh penambahan lempung lebih besar dari 20% tidak menaikkan nilai kohesi secara signifikan. Berbeda dengan nilai kohesi pada sampel yang dimampatkan akan terlihat kenaikan nilai kohesi akibat penambahan lempung dan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Hubungan Kadar Lempung dengan Kohesi (tanpa konsolidasi)

b. Kohesi dengan beban *preloading* (konsolidasi)

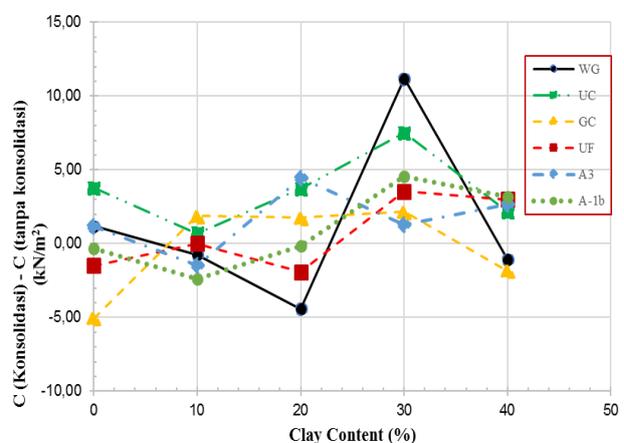


Gambar 7. Hubungan Kadar Lempung dengan Kohesi (sampel dikonsolidasi)

Pada Gambar 7 dapat dilihat pengaruh penambahan lempung pada nilai kohesi pada kondisi sampel dimampatkan, pada umumnya nilai kohesi yang dihasilkan meningkat pada penambahan kandungan lempung lebih dari 12%. Nilai kohesi maksimum terjadi pada campuran pasir dengan kandungan lempung 30%.

c. Selisih antara kohesi pemampatan dengan kohesi tanpa pemampatan

Gambar 8 menjelaskan Pengaruh pemampatan terhadap nilai kohesi dengan melihat selisih antara kohesi hasil pemampatan dan kohesi pada sampel yang tidak dipadatkan (dimampatkan).

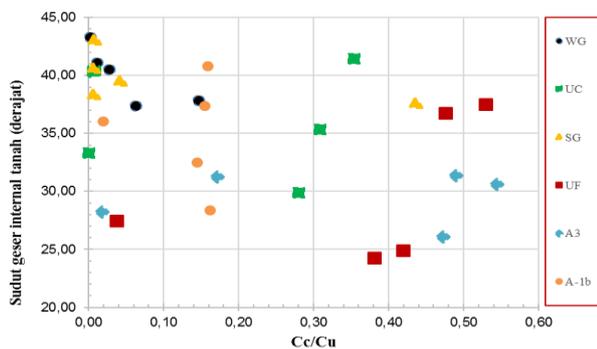


Gambar 8. Selisih kohesi dengan penerapan konsolidasi dan tanpa konsolidasi

Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa pemampatan akan meningkatkan nilai kohesi. Peningkatan nilai kohesi terjadi

secara signifikan pada sampel yang dimampatkan pada campuran lebih besar dari 12%, hal ini menunjukkan bahwa campuran peralihan antara pengaruh pasir menuju lempung pada bidang geser tanah. Hal ini mengkonfirmasi penjelasan sebelumnya mengenai pengaruh sudut geser internal tanah pada penambahan lempung lebih besar dari 12% pada tanah dimampatkan akan meningkatkan nilai sudut geser internal tanah

Hubungan antara koefisien gradasi tanah dengan kuat geser tanah (ϕ)



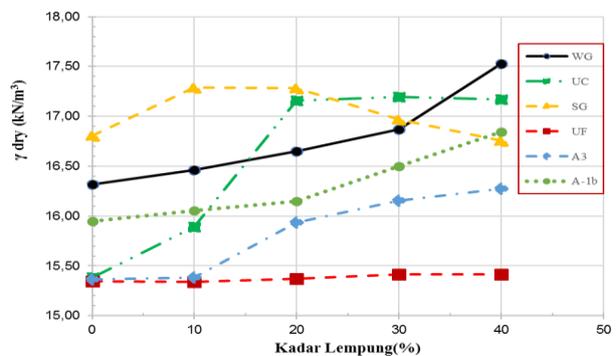
Gambar 9. Pengaruh gradasi tanah (C_c/C_u) terhadap sudut geser tanah (ϕ)

Menurut Prihatin K dan Wahyudi (2009) semakin kecil nilai C_c/C_u maka nilai sudut geser internal tanah cenderung naik. Dari Gambar 9. menunjukkan trend yang tidak bisa mewakili pengaruh gradasi (C_c/C_u) terhadap sudut geser tanah sehingga besar kuat geser tanah tidak bisa hanya ditentukan oleh sebaran ukuran butir atau gradasi tanah, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor yang lain yaitu lekatan butiran halus, terisinya rongga-rongga antar butiran dengan material dengan butiran lebih kecil dan persentase ukuran butiran kasar. Dari Gambar 9 justru memperlihatkan gradasi tanah yang memiliki kandungan butiran pasir kasar lebih banyak (WG dan UC) yang memiliki kuat geser tanah yang besar, untuk UF dan A3 yang didominasi ukuran butiran pasir halus terlihat memiliki kuat geser yang kecil. Hal ini menunjukkan pengaruh dari dominasi ukuran butiran,

semakin kasar ukuran butiran pasir maka semakin besar kuat geser tanah.

Hubungan antara kandungan lempung pada gradasi pasir terhadap kepadatan tanah kering (γ_d)

Nilai kepadatan tanah pada Gambar 10 adalah nilai kepadatan dari hasil pemampatan dengan beban 0,16 kg/m² terhadap masing-masing gradasi pasir dengan variasi kadar lempung.



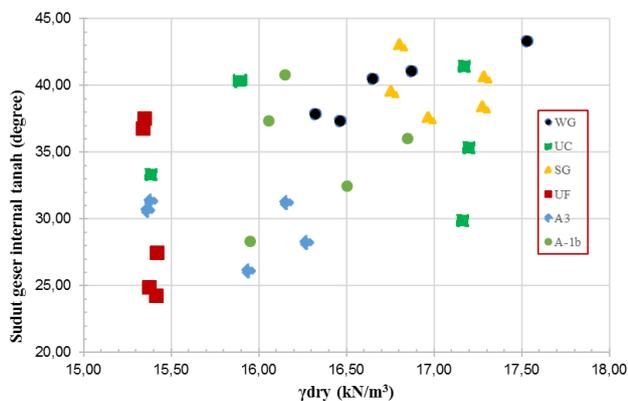
Gambar 10. Pengaruh kadar lempung pada gradasi pasir terhadap kepadatan tanah kering.

penambahan lempung dapat meningkatkan kepadatan pada gradasi pasir (WG, UC, UF, A3 dan A1-b) kecuali GC. Perubahan kepadatan paling signifikan terjadi pada gradasi UC dari 15,38 kN/m³ menjadi 17,19 kN/m³ pada penambahan lempung 30%. Gradasi UC adalah gradasi pasir seragam dengan butiran kasar sehingga lempung dapat mengisi pori yang tidak bisa diisi oleh gradasi kasar dari UC. Pada gradasi UF, penambahan lempung pada gradasi pasir hampir tidak mempengaruhi kepadatan. Perubahan kepadatan UF hanya berkisar dari 15,35 kN/m³ sampai 15,42 kN/m³, dikarenakan UF adalah gradasi yang kekurangan ukuran pasir kasar dalam memperbaiki distribusi. Sedangkan pada SG pada penambahan lempung lebih besar dari 20% mengakibatkan penurunan kepadatan, hal ini dikarenakan SG kekurangan gradasi pasir ukuran butiran sedang sehingga penambahan lempung besar dari 20% mengakibatkan gradasi tidak saling mengisi. Pengaruh kandungan

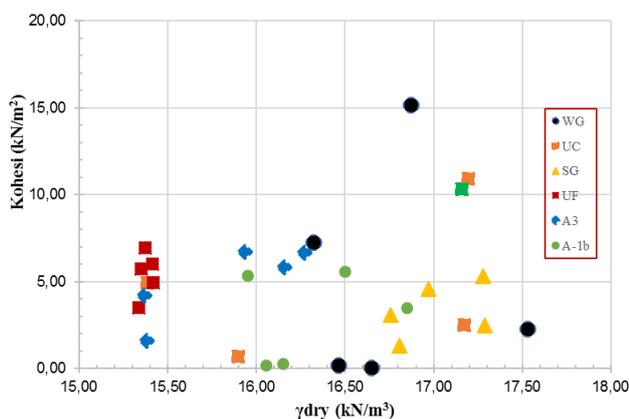
lempung dalam gradasi pasir yang mengakibatkan kenaikan yang signifikan adalah pada campuran kandungan dibawah 20%. Sedangkan penambahan lempung lebih besar dari 20% menunjukkan grafik kenaikan yang cenderung mendatar yang berarti penambahan lempung lebih besar dari 20% tidak lagi efektif dalam meningkatkan kepadatan.

Hubungan antara kepadatan (γ_{dry}) terhadap kuat geser tanah (ϕ dan c)

Hakam et al (2010), untuk pengujian geser langsung, semakin padat suatu massa tanah maka semakin besar sudut gesernya (ϕ), sebaliknya semakin lepas suatu massa tanah maka semakin kecil sudut geser (ϕ) yang dihasilkannya. Semakin besar kadar lempung yang ditambahkan maka semakin meningkat kohesi (c) tanah tersebut dan sudut geser akan menjadi semakin menurun.



Gambar 11. Pengaruh kepadatan (γ_d) terhadap sudut geser internal tanah (ϕ).



Gambar 12. Pengaruh kepadatan terhadap kuat geser tanah (kohesi)

Dari Gambar 12 dapat dilihat terdapat pengaruh kepadatan terhadap sudut geser internal tanah (ϕ), namun distribusi hubungan kepadatan dan sudut geser tanah sangat fluktuatif dan tidak konsisten sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh kepadatan tidak terlalu signifikan terhadap peningkatan nilai sudut geser internal tanah. Sedangkan pengaruh kohesi lebih dipengaruhi terhadap penambahan kadar lempung, hal ini dapat dilihat penambahan nilai kepadatan akibat penambahan lempung menunjukkan hubungan yang tidak konsisten terhadap nilai kohesi.

V. KESIMPULAN

1. Penambahan pasir bisa mengakibatkan tanah berubah gradasinya dibandingkan dengan pasir asli dengan distribusi butiran tertentu.
2. Distribusi ukuran butiran pasir sangat mempengaruhi kuat geser tanah, semakin kasar ukuran butiran pasir yang mendominasi maka sudut geser tanah akan semakin besar sebaliknya, semakin halus ukuran butiran pasir yang mendominasi maka semakin kecil kuat geser tanah.
3. Koefisien gradasi C_c dan C_u tidak begitu berpengaruh terhadap kuat geser tanah.
4. Penambahan kadar lempung pada pasir akan meningkatkan sudut geser internal tanah dan menurunkan nilai kohesi hingga batas dominasi pasir masih mendominasi pada bidang geser tanah. Penambahan kadar lempung yang berlebihan akan mengalihkan dominasi pasir ke lempung pada bidang geser tanah sehingga menurunkan nilai sudut geser internal tanah dan meningkatkan nilai kohesi.
5. Nilai kohesi dari hasil pengujian tidak dipengaruhi oleh distribusi ukuran butiran pasir. Nilai kohesi lebih cenderung dipengaruhi oleh kandungan butiran halus dalam tanah.
6. Penambahan kandungan lempung hingga 40% cenderung meningkatkan kepadatan tanah.

7. Penambahan lempung pada gradasi pasir ukuran butiran kasar akan meningkatkan kepadatan lebih besar dibandingkan pada gradasi pasir ukuran butiran halus.
8. Koefisien gradasi (Cu, Cc) tidak begitu berpengaruh pada kuat geser tanah.

Prihatin, K., & Wahyudi, H. (2009). Korelasi antara Gradasi Material Timbunan Reklamasi dengan Kepadatan dan Kuat Geser Tanah. ISBN No. 978-979-18342-0-9, E19–E28.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Y. F. and M. I. Saputra. (2015). Kuat Geser Sisa Campuran Lempung dan Pasir yang Dipadatkan. SeNaTS 1.
- ASTM D-2487. (1994). Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). USA
- ASTM D-422. (1994). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. USA
- ASTM D-854. (1994). Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. USA
- ASTM D-854. (1994) Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. USA
- ASTM D-2435. (1994). Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading. USA
- ASTM D-2435. (1994). Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. USA
- Bina Marga., (2002). Panduan Geoteknik 4. Panduan Geoteknik Indonesia Timbunan Jalan pada Tanah Lunak, Pedoman Kimpraswil No. Pt T-10-2002-B.
- Das, Braja M., (1985). Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis), Erlangga.
- Hakam, A., Yuliet, R., & Donal, R., (2010). Studi pengaruh penambahan tanah lempung pada tanah pasir pantai terhadap kekuatan geser tanah. *Rekayasa Sipil*, 6(1), 11–22.
- Kara, E. M., et al. (2013). Contribution of Particles Size Ranges to Sand Friction. *Engineering, Technology & Applied Science Research (ETASR)*, 3(4), 497–501.