

Analisa Parameter Geser Tanah Berdasarkan Pendekatan *Cracked Soil* Menggunakan Alat Uji Geser Modifikasi

Soil Shear Parameter Analysis Based on Cracked Soil Approach Using Modified Direct Shear

Slamet R.B. Prasetyo^{1,a)} & Indrasurya B. Mochtar^{2,b)}

¹⁾Mahasiswa Magister Geoteknik Departemen Teknik Sipil, ITS, Surabaya.

²⁾Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan, ITS, Surabaya

Koresponden : ^{a)}slametrpb20@gmail.com & ^{b)}indrasurya@ce.its.ac.id

ABSTRAK

Berdasarkan teori *Cracked Soil* kelongsoran disebabkan oleh adanya retak-retak pada tanah. Retak pada tanah menyebabkan perbedaan parameter tanah yang tidak dapat dihasilkan dari pengujian laboratorium standard uji geser langsung. Oleh karena itu, dilakukan modifikasi alat uji geser tanah yang dikembangkan sejak tahun 2014 untuk mempelajari tanah retak. Penelitian ini merupakan rangkaian pengembangan penelitian terkait tanah retak sebelumnya. Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian untuk mengetahui parameter geser tanah berdasarkan pengaruh plastisitas tanah dan variasi kekasaran permukaan bidang geser kondisi retak. Adapun parameter geser yang digunakan sebagai parameter utama adalah sudut-geser-dalam tanah. Pengujian dilakukan pada tanah konsistensi *stiff*, *very stiff* dan *hard* dimana tanah ini selalu dianggap bagus dan sering dijumpai pada tebing-tebing yang terjadi retak. Untuk variasi kekasaran permukaan bidang geser tanah konsistensi *very stiff* dibuat dengan menanamkan pasir sedangkan tanah konsistensi *hard* dengan membuat guratan pada permukaan bidang gesernya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai sudut geser dalam semakin menurun seiring meningkatnya plastisitas. Untuk pengujian tanah *very stiff* dengan variasi kekasaran menggunakan pasir terdapat kenaikan dan penurunan nilai sudut geser dalam. Sedangkan pada tanah konsistensi *hard*, nilai sudut geser dalam tanah menurun seiring bertambahnya guratan pada permukaan bidang geser.

Kata Kunci : Manajemen infrastruktur, Longsor, *Cracked Soil*, *Modified direct shear*

PENDAHULUAN

Infrastruktur harus dikelola dengan baik pada seluruh siklus hidupnya, mulai dari saat gagasan, perencanaan, perancangan, pemakaian, pemeliharaan sampai dengan infrastruktur harus dimusnahkan, agar supaya infrastruktur tetap menjadi sesuatu yang menguntungkan dan bukan menjadi beban bagi ekonomi wilayah (Suprayitno & Soemitro, 2018). Setiap infrastruktur terletak diatas tanah, dimana kelongsoran merupakan salah satu fenomena yang tidak bisa diabaikan untuk kondisi lingkungan tertentu. Dengan demikian infrastruktur harus direncanakan dan dirancang dengan baik, juga terhadap aspek kelongsoran tanah.

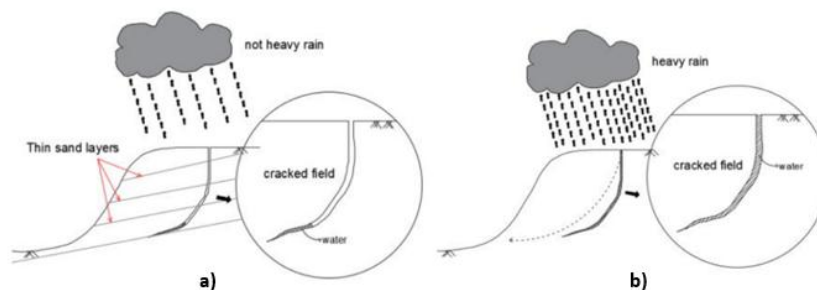
Bencana longsor merupakan fenomena yang harus dicegah dan ditanggulangi dengan baik terutama di era pembangunan infrastruktur yang semakin meningkat. Fenomena longsor dapat dicegah melalui perencanaan yang benar dengan memperhitungkan aspek geoteknik beserta parameter-parameternya. Diperlukan pemahaman dan pendekatan lapangan yang baik dalam mempelajari fenomena longsor. Kajian teori dan parameter mengenai longsor terus

dilakukan dan dikembangkan hingga saat ini oleh para ahli mulai waktu terjadi hingga penyebabnya.

Mochtar (2011) menyatakan bahwa fakta yang terjadi di lapangan menunjukkan longsor selalu terjadi pada musim hujan baik saat terjadi hujan lebat maupun sesaat setelah terjadinya hujan. Selanjutnya, Hutagamissufardal dan Mochtar (2018) dalam penelitiannya menyatakan bahwa longsor merupakan fungsi dari intensitas hujan dan dalam penelitiannya tersebut ditemukan fakta lain bahwa kejadian longsor banyak ditemui pada kawasan-kawasan dengan elevasi yang terjal yang selama puluhan tahun tidak pernah mengalami kelongsoran. Selain itu, kejadian longsor juga terjadi pada lokasi-lokasi yang memiliki kondisi tanah yang cenderung baik (lempung keras hingga batuan) dan apabila dilakukan analisa stabilitas kelongsoran menunjukkan nilai angka keamanan yang cukup besar. Namun, kenyataan di lapangan, longsor tetap saja terjadi. Selain itu, kejadian longsor hanya terjadi setempat saja disatu lokasi tebing tertentu, padahal tebing dengan kondisi yang sama memiliki area yang luas.

Kelongsoran yang justru terjadi pada area-area yang berdasarkan hasil perhitungan analitis dan empiris dengan teori-teori yang berkembang selama ini seharusnya tidak mengalami longsor. Hal tersebut melahirkan suatu pemahaman dan konsep baru. Mochtar pada tahun 2010 dan 2011 telah melakukan beberapa observasi di lapangan dan menemukan bahwa asumsi yang memungkinkan terhadap kejadian kelongsoran dengan kondisi yang diuraikan di atas adalah bahwa lapisan tanah di dalam lereng sudah terjadi retak-retak. Hal ini yang nantinya menjadi cikal bakal lahirnya teori *Cracked Soil*. Teori ini diperkuat dengan penelitian yang dilakukan oleh Alexander dkk (2016) melalui pengujian di lapangan dengan mengukur *Tomographic resistivity* dan *Induced polarization*, ditemukan bahwa adanya retak-retak pada tanah menjadi penentu stabilitas dari lereng yang bersangkutan.

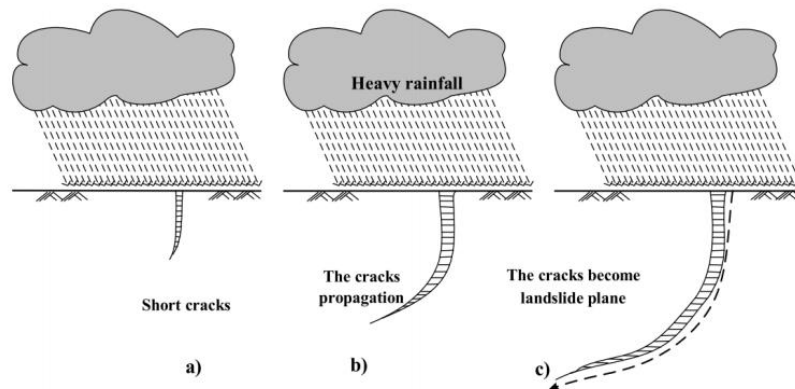
Menurut Hutagamissufardal dkk (2018), keretakan pada tanah dapat terjadi karena banyak hal yaitu penyusutan pada permukaan tanah, pergerakan tanah di masa lalu dan getaran yang berasal dari gempa bumi. Selain itu, adanya tanah sedimen yang berlapis-lapis, berselang-seling dengan pasir tipis pada lapisan tanah lanau-lempung yang lebih tebal serta adanya pelapukan akar tanaman juga dapat menjadi pemicu terjadinya retak pada tanah. Retakan yang telah ada pada tanah menyebabkan air hujan dapat merembes ke dalam tanah. Pada saat hujan ringan, air hujan yang merembes ke dalam retakan dengan mudah mengalir ke luar secara aman sehingga tidak terjadi penumpukan air di dalam retakan dan tidak terjadi peningkatan tegangan air yang berarti. Namun pada kondisi hujan lebat, debit air hujan yang merembes ke dalam bidang retak adalah lebih besar dari pada debit air yang dapat merembes ke luar retakan dan mengakibatkan terjadinya kenaikan tegangan air pori di dalam bidang retak seperti Gambar 1. Hal ini menyebabkan bidang retak dapat menjalar secara perlahan, retakan akan semakin memanjang ataupun melebar seperti yang terdapat pada Gambar 2. Hal tersebut dapat menyebabkan kondisi tebing menjadi lebih kritis.



Sumber: Mochtar, 2011

Gambar 1. Keretakan pada tanah

(a) tidak sepenuhnya terisi air dan (b) terisi penuh oleh air



Sumber : Hutagamissufardal, Mochtar & Endah ,2018

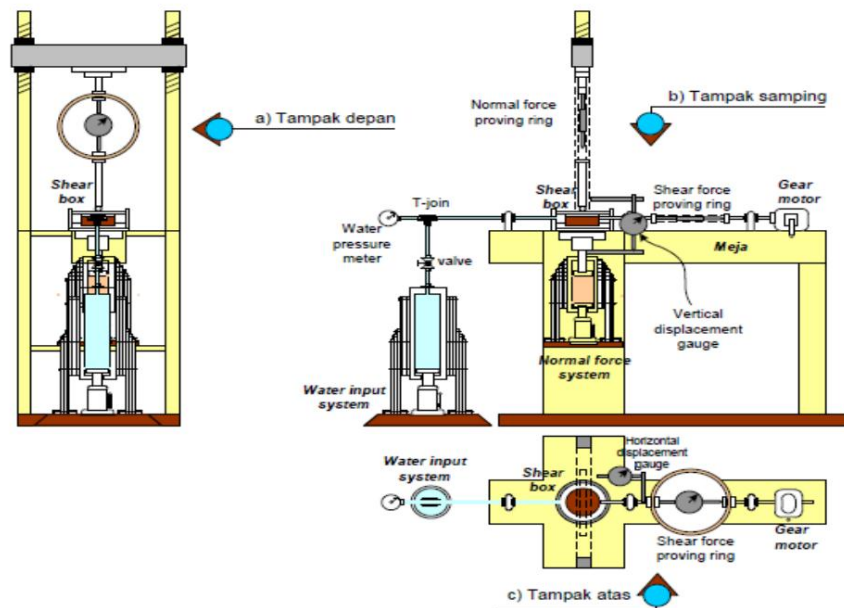
Gambar 2. Mekanisme penalaran retakan

Kondisi retak pada tanah tidak bisa dilihat dari pengujian standard di laboratorium. Pengujian standard laboratorium yang digunakan untuk mendapatkan parameter geser tanah untuk analisa stabilitas longsor umumnya dilakukan dengan uji geser langsung, *unconfined test* maupun *triaxial test*. Namun ke-tiga alat tersebut tidak dapat memodelkan kondisi *cracked* yang terjadi pada tanah. Oleh karena itu, parameter yang dihasilkan adalah parameter tanah sebelum retak dengan hasil yang lebih tinggi dan lebih baik dibandingkan dengan kondisi sesungguhnya pada tanah yang mengalami retak di lapangan. Dengan parameter tanah yang lebih baik maka diperoleh nilai angka keamanan yang tinggi ($SF > 1$) padahal kenyataannya yang terjadi di lapangan adalah longsor.

Hutagamissufardal dkk (2018) telah melakukan modifikasi alat uji geser langsung tanah yang dapat mewakili kondisi retak pada tanah. Perbedaan dari alat yang dimodifikasi ini adalah benda uji yang digunakan pada alat uji geser yang dimodifikasi ini sudah memiliki bidang geser. Bidang geser tersebut terjadi di setengah benda uji dan dapat menjalar di sepanjang bidang gesernya. Selain itu, pada alat uji ini tekanan air yang bekerja pada bidang geser dapat diatur secara bebas. Dalam pengujian ini dimungkinkan adanya lapisan deposit bahan lain (berupa pasir halus, medium atau kasar) pada bidang geser dimana material tersebut berbeda dengan tanah asli dari lereng dimana retakan berada. Gambar ilustrasi skema alat uji geser yang dimodifikasi dapat dilihat pada Gambar 3.

Pengujian dengan alat uji geser modifikasi ini telah dilakukan oleh Hutagamissufardal dkk (2018). Penelitian tersebut dilakukan dengan memvariasi panjang retak pada benda uji yaitu 25%, 50%, 75% dan 100%. Hasil yang diperoleh dalam penelitian tersebut adalah panjang bidang retak dapat berpengaruh terhadap nilai kohesi namun tidak berpengaruh pada nilai sudut geser internal. Pada kondisi 100% retak kohesi akan hilang dan hanya terdapat nilai sudut-geser-dalam tanah saja. Namun, penelitian yang telah dilakukan ini tidak mempertimbangkan nilai *liquid limit* dan *void ratio* dari sampel tanah lempung yang diujikan. Seperti yang diketahui bahwa, nilai kohesi tanah dan sudut geser tanah merupakan fungsi dari jenis tanah dan kepadatan. Selanjutnya, Andrian dkk (2019) melakukan pengujian dengan alat modifikasi ini dengan parameter tanah yang berbeda. Parameter yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah tanah dengan nilai $LL \pm 30\%$, 60% dan 90% dengan nilai kohesi *undrained* (C_u) yang setara dengan tanah lempung berkonsistensi lunak, *medium-stiff* dan *stiff*. Penelitian tersebut memperoleh korelasi antara nilai sudut geser tanah dengan nilai *liquid limit* dan *void ratio* tanah yang berupa suatu rumusan empiris pada kondisi tanah yang mengalami 100% retak. Penelitian dengan alat uji modifikasi kemudian dilanjutkan lagi dengan menggunakan parameter tanah yang berbeda oleh Irdiana dan Mochtar (2020).

Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan 3 variasi plastisitas kemudian masing-masing variasi sampel diberikan tekanan air dengan 3 variasi yang berbeda dan konsistensi yang tanah yang digunakan yaitu *medium*, *stiff* dan *very stiff*. Padahal keretakan tanah juga terjadi pada tanah dengan konsistensi *hard*. Penelitian tersebut juga memperoleh korelasi antara nilai sudut geser tanah dengan nilai *liquid limit* dan *void ratio* pada tanah kondisi 100% retak serta diperoleh hasil bahwa tekanan air tidak berpengaruh terhadap sudut-geser-dalam tanah. Perlu diketahui bahwa pemodelan retak pada penelitian-penelitian tersebut dilakukan dengan cara memotong sampel benda uji.



Sumber : Hutagamissufardal, Mochtar dan Endah, 2018

Gambar 3. Alat Uji Geser yang Dimodifikasi

Hasil parameter-parameter tanah yang digunakan dalam penelitian-penelitian sebelumnya masih belum mampu menghasilkan suatu korelasi yang mencakup seluruh kondisi tanah di lapangan ketika terjadi retak. Apabila parameter tanah eksisting yang mengalami retak di lapangan masih belum berada dalam rentang korelasi parameter dari penelitian yang sebelumnya, maka perlu dilakukan pengujian lagi di laboratorium. Padahal pengujian dengan uji geser pada kondisi tanah retak hanya dapat dilakukan dengan alat uji khusus yang telah dimodifikasi dan tidak dimiliki oleh laboratorium pengujian tanah pada umumnya. Perlu dilakukan pembuatan alat baru yang membutuhkan waktu dan biaya yang tidak sedikit. Oleh karena itu, penelitian lanjutan mengenai hal ini masih perlu dilakukan. Selain itu pemodelan retak dengan cara dipotong seperti pada penelitian-penelitian sebelumnya memiliki permukaan bidang geser yang halus saja, padahal keretakan yang terbentuk secara alami tidak demikian. Terdapat variasi kekasaran yang terbentuk saat keretakan terjadi secara alami. Hal ini akan mempengaruhi besar sudut geser dalam yang dihasilkan. Sehingga pada penelitian lanjutan ini akan dimodelkan keretakan yang dapat melihat pengaruh plastisitas dan tingkat kekasaran permukaan bidang geser saat terjadi retak.

Benda uji yang akan digunakan dalam penelitian lanjutan ini menggunakan tanah yang memiliki konsistensi *stiff*, *very stiff* dan *hard*, dimana tanah ini sering dijumpai pada tebing-tebing yang terjadi retak. Selama ini, jarang bahkan belum pernah ada uji geser yang dilakukan pada tanah kaku dan keras seperti batuan untuk mengetahui nilai sudut gesernya. Tanah dengan konsistensi tersebut selalu dianggap bagus dan biasanya pengujian hanya dilakukan untuk mengetahui kekuatannya sehingga pada tanah ini yang dilihat adalah

nilai kohesinya yang selalu tinggi dan nilai sudut geser internalnya diabaikan. Padahal saat kondisi *cracked*, nilai kohesinya akan hilang dan menyisakan sudut geser internal saja. Harapannya, hasil analisa yang didapat dari rangkaian penelitian yang telah dilakukan ini dapat digunakan untuk mengetahui parameter dan perilaku tanah kondisi retak. Perlu diketahui bahwa pengujian dan pengambilan sampel dilapangan seperti sondir dan *boring* sangat sulit untuk dilakukan terutama dilokasi tebing-tebing yang curam.

TEORI *CRACKED SOIL* DAN *MODIFIED DIRECT SHEAR*

Teori *Cracked Soil*

Teori *cracked soil* dikembangkan oleh Mochtar sejak tahun 2011 berdasarkan fakta tentang terjadinya kelongsoran yang ada dilapangan dan dirangkum oleh Hutagamissufardal dkk (2018) dalam penelitiannya. Adapun rangkuman tersebut adalah sebagai berikut:

1. Hampir semua kelongsoran di lapangan terjadi pada saat hujan lebat/ sangat lebat (intensitas hujan tinggi), baik pada saat masih terjadinya hujan maupun sesaat setelah terjadinya hujan. Sehingga dapat dikatakan bahwa kelongsoran terjadi pada musim hujan.
2. Banyak lereng/tebing yang sudah bertahun bahkan puluhan tahun stabil tiba-tiba mengalami kelongsoran saat terjadi hujan lebat.
3. Banyak tebing yang berbatu atau lempung kaku dengan parameter tanah yang kuat dan apabila dianalisa akan diperoleh kestabilan yang memenuhi syarat/ aman, tetapi tiba-tiba mengalami kelongsoran.
4. Banyak orang (ahli) yang menyatakan bahwa kelongsoran terjadi karena kondisi tanah yang jenuh, tetapi kelongsoran yang terjadi dilapangan tidak menunjukkan adanya kondisi jenuh air saat dilakukan bor (berlawanan dengan asumsi banyak orang).
5. Kelongsoran banyak terjadi pada tebing/ lereng dengan kemiringan yang relatif landai yang apabila dianalisa akan mendapatkan kestabilan yang memenuhi syarat (aman), baik dengan parameter asli di lapangan maupun dengan parameter jenuh.
6. Kelongsoran terjadi hanya pada tempat-tempat tertentu di sebagian sisi dari lereng, walaupun kondisi batuan/ tanah, kemiringan, curah hujan, dan intensitas hujan pada lereng tersebut relatif sama yang secara teoritis kelongsoran seharusnya akan terjadi pada seluruh bagian yang memiliki kondisi yang relatif sama.

Dengan adanya fakta tersebut dilapangan, maka diusulkan teori mengenai *Cracked soil*. Menurut Mochtar (2011), penyebab kelongsoran terjadi akibat adanya keretakan pada permukaan tanah, antara lain akibat penyusutan tanah, pergerakan tanah dimasa lalu, pergerakan tanah yang cukup kuat (getaran yang berasal dari gempa bumi), adanya sedimen berlapis dan berselang-seling dengan lapisan pasir tipis pada lapisan tanah lanau-lempung yang tebal, serta adanya pelapukan akar tanaman. Adanya keretakan pada permukaan pada tanah, air akan masuk kedalam retakan pada saat hujan. Air yang masuk akan merembes/ mengalir keluar secara perlahan dengan kecepatan aliran air pada retakan yang relatif lambat. Air yang mengalir dalam bidang-bidang keretakan dengan kecepatan yang relatif lambat kemungkinan membawa fraksi tanah dan fraksi tanah yang kasar (berupa pasir halus) tertinggal bidang keretakan. Hal ini menyebabkan terdapat lapisan pasir yang memengaruhi kekuatan geser tanah pada bidang keretakan menjadi menyerupai kekuatan geser pasir (*“behaving like sand”*). Pada saat hujan yang tidak lebat (intensitas rendah), debit air yang masuk ke bidang retakan relatif kecil sehingga tidak terjadi pore-water build up pada bidang retakan tersebut. Namun, Ketika terjadi hujan lebat, bidang-bidang yang retak akan terisi penuh dengan air hujan. Hal ini karena debit air hujan yang masuk ke dalam retakan lebih besar dari pada debit air hujan yang mengalir ke luar (disipasi). Hal itu akan menyebabkan terjadinya *pore-water pressure build up* pada bidang retakan. Karena desakan tegangan air

yang tinggi pada retakan, bidang retak secara lambat dapat menjalar, menjadikan kondisi lereng menjadi lebih kritis dari sebelumnya dan dapat menyebabkan terjadinya kelongsoran.

Modified Direct Shear

Alat ini dikembangkan oleh Hutagamisufardal & Mochtar (2018) untuk pengujian kekuatan geser pada *cracked soil*. Secara umum alat ini memiliki cara kerja yang sama dengan alat uji direct shear yang sering digunakan pada umumnya (ASTM D3080M – 11 dan AASHTO T-236-08), hanya saja terdapat beberapa modifikasi pada alat ini. Modifikasi dilakukan dengan menambahkan *water input system* dan modifikasi pada *shear box* agar benda uji dapat menerima tekanan air seperti yang terjadi di lapangan. Dari hasil alat uji geser langsung modifikasi (*modified direct shear*) didapatkan nilai kohesi dan nilai sudut geser tanah pada kondisi retak (*cracked*). Alat *Modified Direct Shear* ini dapat dilihat pada Gambar 3.

METODE PENELITIAN

Secara garis besar, alur penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan yaitu tahapan awal (persiapan), tahapan pengujian tanah dan tahapan analisa. Tahapan awal dalam penelitian ini adalah studi literatur dan pengambilan sampel tanah. Studi literatur merupakan kegiatan mengumpulkan dan mempelajari literatur yang digunakan sebagai acuan dalam mengerjakan penelitian ini. Pengambilan sampel tanah dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan survai informasi untuk mendapatkan sampel benda uji sesuai yang diinginkan. Tahapan pengujian tanah terdiri dari pengujian parameter fisis tanah yaitu uji *volumetri* dan *gravimetri*, uji *atteberg limit* dan uji *unconfined compression*.

Tahapan selanjutnya adalah membuat benda uji untuk pengujian geser dengan cara remolded. Akan tetapi, sebelum membuat benda uji remolded, kadar air optimum sebagai acuan kadar air pencampuran harus dicari terlebih dahulu agar tanah dapat terbentuk dengan baik. Selanjutnya dilakukan pemadatan tanah untuk mencapai konsistensi yang diinginkan. Konsistensi ditentukan menggunakan *unconfined compression test* (UCT). Apabila telah diperoleh konsistensi yang sesuai maka selanjutnya dibuat benda uji dengan nilai kepadatan yang sama dengan hasil UCT tersebut.

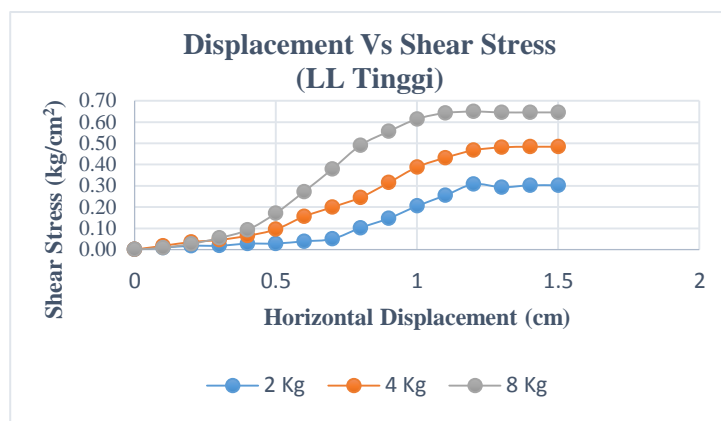
Dalam pengujian geser ini, benda uji yang digunakan terdiri atas tanah dengan konsistensi *stiff* hingga *hard*. Pada penelitian pemodelan retak dibuat dengan cetakan yang dibuat khusus agar benda uji memiliki bidang permukaan geser tanpa harus dipotong. Untuk benda uji konsistensi *stiff* parameter geser akan dilihat pengaruh plastisitas sehingga plastisitas tanah dengan konsistensi *stiff* dibuat 3 variasi yaitu rendah ($\pm 30\%$), sedang ($\pm 60\%$) dan tinggi ($\pm 90\%$). Sedangkan pada tanah dengan konsistensi *very stiff* dan *hard*, benda uji dibuat dengan 3 model keretakan di laboratorium berdasarkan tingkat kekasaran permukaan bidang gesernya yaitu halus, medium dan kasar. Untuk variasi kekasaran permukaan bidang geser tanah konsistensi *very stiff* dibuat dengan menanamkan pasir medium dan pasir kasar. Sedangkan tanah konsistensi *hard* dibuat dengan membuat guratan pada permukaan bidang gesernya. Benda uji konsistensi *hard* dibuat di laboratorium dengan *remolded* campuran *cement clay* menggunakan cetakan khusus untuk *modified direct shear*.

Pada penelitian sebelumnya (Irdiana & Mochtar, 2020) variasi tekanan air tidak berpengaruh pada nilai sudut-geser-dalam tanah. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, tekanan air dibuat sama sebesar $0,5 \text{ kg/cm}^2$. Adapun tahapan akhir merupakan tahap analisa yang bertujuan untuk menganalisa data hasil uji geser. Adapun beberapa hal yang akan dianalisis adalah pengaruh plastisitas terhadap nilai sudut geser dalam tanah pada kondisi *cracked* untuk tanah konsistensi *stiff* dan sudut geser-dalam tanah pada kondisi *cracked* dengan variasi kekasaran permukaan bidang geser (halus, medium dan kasar) untuk tanah

konsistensi berbeda (*very stiff -hard*). Setelah dilakukan analisa data maka dibuatlah korelasi antara parameter fisis tanah dan kekasaran dengan parameter geser tanah pada kondisi retak.

ANALISA HASIL PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh parameter kekuatan geser kondisi *cracked*. Parameter kekuatan geser tanah yaitu kohesi dan sudut-geser-dalam. Akan tetapi parameter geser yang dijadikan sebagai parameter utama adalah sudut-geser-dalam. Serupa dengan pengujian *direct shear* biasa, dari pengujian geser menggunakan *modified direct shear* juga akan diperoleh hasil berupa *horizontal displacement* dan tegangan geser seperti Gambar 4. Adapun hasil analisa sudut-geser-dalam dapat dilihat pada Tabel 1 sampai Tabel 3. Analisa sudut-geser-dalam dilakukan dalam 3 kondisi yaitu saat *displacement* mencapai 10% ,20% diameter dan tegangan geser kondisi maksimum (*peak*).



Gambar 4. Hasil pengujian *Modified Direct Shear* tanah konsistensi stiff plastisitas tinggi

Tabel 1. Sudut-geser-dalam saat *displacement* 10%D

Konsistensi	Plastisitas			Kekasaran		
	LL tinggi	LL Sedang	LL Rendah	Halus	Medium	Kasar
<i>Stiff</i>	42.77	43.32	58.85	-	-	-
<i>Vey Stiff</i>	-	-	-	53.89	18.48	50.98
<i>Hard</i>	-	-	-	71.04	69.11	66.23

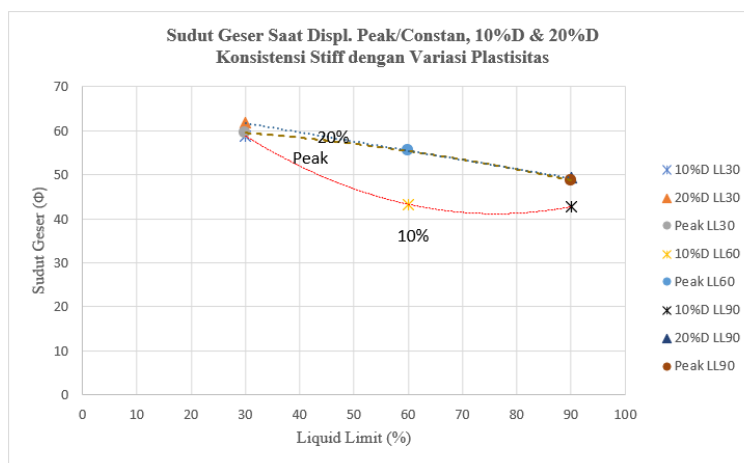
Tabel 2. Sudut-geser-dalam saat *displacement* 20%D

Konsistensi	Plastisitas			Kekasaran		
	LL tinggi (90)	LL Sedang (60)	LL Rendah (30)	Halus	Medium	Kasar
<i>Stiff</i>	49.23	-	61.73	-	-	-
<i>Vey Stiff</i>	-	-	-	54.46	-	51.56
<i>Hard</i>	-	-	-	78.46	78.66	-

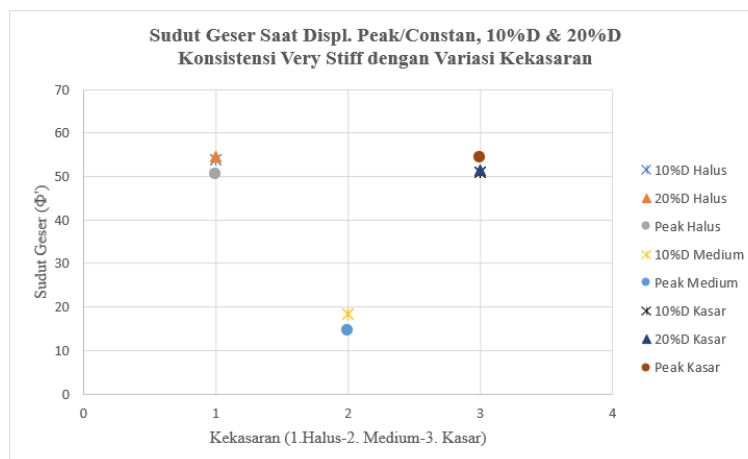
Tabel 3. Sudut-geser-dalam saat tegangan geser maksimum (peak)

Konsistensi	Plastisitas			Kekasaran		
	LL tinggi (90)	LL Sedang (60)	LL Rendah (30)	Halus	Medium	Kasar
<i>Stiff</i>	48.74	55.41	59.53	-	-	-
<i>Vey Stiff</i>	-	-	-	50.43	14.45	54.31
<i>Hard</i>	-	-	-	79.39	78.91	74.56

Dari hasil pengujian tabel diatas dapat dilakukan sebuah analisa lanjutan untuk mempelajari pengaruh plastisitas, kekasaran permukaan bidang geser dan kepadatan tanah terhadap nilai sudut-geser-dalam tanah kondisi retak. Untuk memudahkan, analisa dapat dilakukan dalam bentuk grafik dibawah ini.

**Gambar 5.** Pengaruh Plastisitas terhadap sudut-geser dalam tanah kondisi retak

Berdasarkan grafik hubungan sudut-geser-dalam dengan *liquid limit* pada Gambar 5 diatas dapat disimpulkan bahwa sudut-geser-dalam saat kondisi *peak* (tegangan geser maksimum), *displacement* 10%D dan 20%D menunjukkan perilaku yang sama yaitu terjadi penurunan sudut geser akibat peningkatan harga platisitas tanah. Hal ini dikarenakan pada tanah dengan plastisitas tinggi, butiran tanah akan semakin halus dan menyebabkan mengecilnya sudut-geser-dalam yang terbentuk.

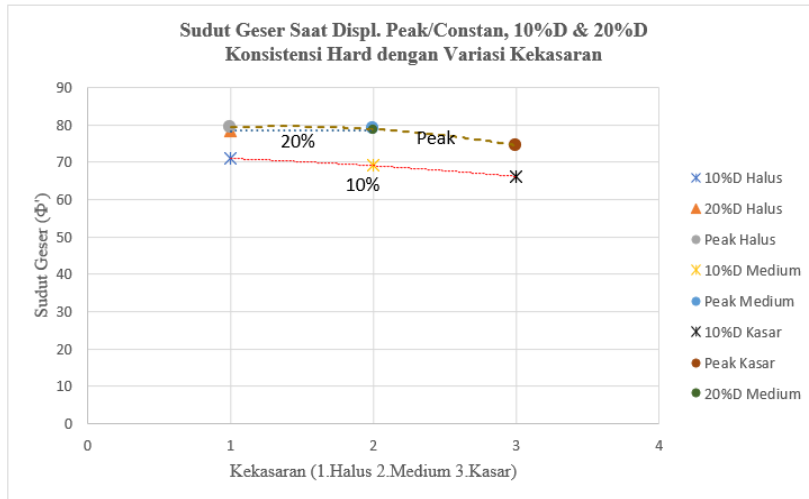
**Gambar 6.** Pengaruh kekasaran dengan pasir terhadap sudut-geser-dalam Tanah *very stiff* kondisi retak

Berdasarkan grafik hubungan sudut-geser-dalam tanah retak konsistensi *very stiff* dengan variasi kekasaran diatas pada Gambar 6, terlihat bahwa terjadi kenaikan dan penurunan nilai sudut-geser dalam tanah. Penurunan sudut geser terjadi saat kekasaran *medium*. Setelah dilakukan analisa terhadap benda uji. Perilaku ini diakibatkan oleh bentuk material kekasaran dengan pasir *medium* yang cenderung bulat dan mudah tergelincir/terlepas saat diberi tegangan geser. Berbeda dengan tingkat kekasaran kasar, pasir yang digunakan cenderung tidak beraturan dan menancap dengan stabil. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 7 dibawah ini.



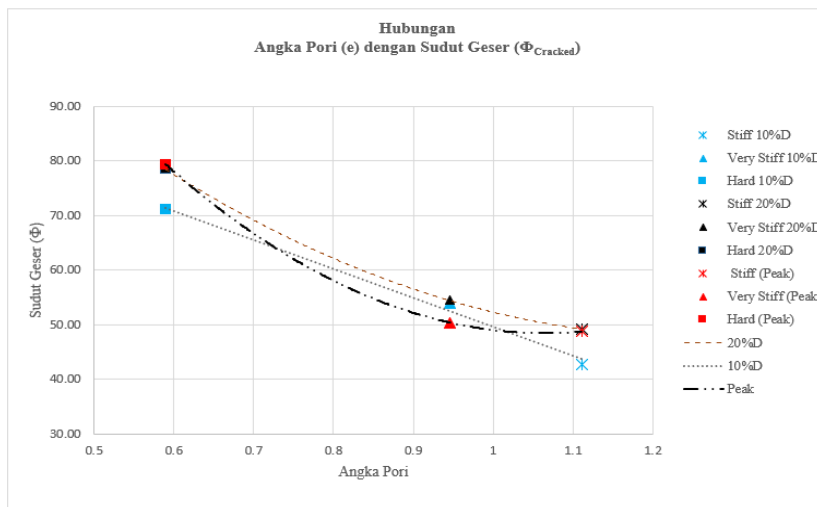
Gambar 7. Benda uji konsistensi *very stiff* sebelum dan setelah diuji
(a) kekasaran medium (b) kekasaran kasar

Adapun hasil analisa untuk variasi kekasaran menggunakan guratan/garis rongga pada permukaan geser tanah konsistensi *hard* dapat dilihat pada Gambar 8 dibawah ini. Berdasarkan grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin kasar atau meningkatnya garis rongga, nilai sudut geser dalam yang dihasilkan cenderung mengecil. Hal ini terjadi akibat permukaan yang bergesekan lebih sedikit, semakin banyak rongga permukaan yang bergesekan semakin sedikit sehingga kekuatan gesernya kecil. Faktor lain diakibatkan oleh air yang masuk dengan tekanan dan dapat menghancurkan sisi-sisi rongga yang bergesekan saat uji geser dimulai. Benda uji yang memiliki banyak rongga yaitu benda uji paling kasar menerima kerusakan paling besar pada jalur retak, terdapat bagian yang butiran yang terlepas/rusak akibat tegangan yang diberikan sehingga sudut-geser-dalam yang terbentuk cenderung mengecil. Hal ini dapat terjadi akibat proses sementasi benda uji yang kurang sempurna. Kondisi ini dapat dilihat pada benda uji *hard* setelah dilakukan pengujian geser (Gambar 10).



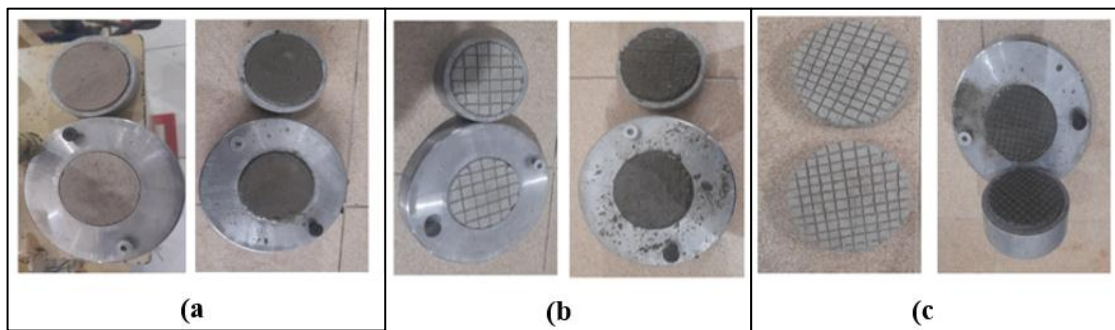
Gambar 8. Pengaruh kekasaran dengan guratan terhadap sudut-geser-dalam tanah *hard* kondisi retak.

Berdasarkan konsistensi, variabel terakhir yang dibahas pada penelitian ini adalah kepadatan. Dimana parameter fisis yang dapat dikorelasikan sebagai fungsi kepadatan adalah angka pori (e). Hubungan nilai angka pori untuk masing-masing kepadatan terhadap sudut-geser-dalam dapat dilihat pada Gambar 9 dibawah ini.



Gambar 9. Pengaruh kepadatan terhadap sudut-geser-dalam tanah kondisi retak.

Dapat disimpulkan bahwa terjadi sedikit peningkatan sudut geser antara tanah konsistensi *stiff* dan *very stiff* saat *displacement* 10%D dan 20%D, bahkan saat kondisi *peak* sudut geser yang dihasilkan praktis sama. Berbeda dengan tanah konsistensi *hard*, terjadi peningkatan yang signifikan terhadap nilai sudut-geser-dalam yang dihasilkan. Berdasarkan analisa dan pengamatan hal ini terjadi karena tanah dengan konsistensi *hard* sangat kuat sekali dan tidak mudah hancur ketika diberi tegangan dan tekanan air. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 10. Benda uji cenderung utuh terutama dibagian permukaan bidang gesernya. Berbeda pada benda uji *stiff* dan *very stiff* sebelumnya. Hal inilah yang membuat kekuatan geser yang dihasilkan sangat besar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa angka pori sebagai fungsi kepadatan tanah akan berpengaruh pada parameter geser suatu tanah apabila material tanah tersebut sangat padat (angka pori sangat kecil) dan keras/tidak mudah hancur.



Gambar 10. Benda uji konsistensi *hard* sebelum dan sesudah diuji (a) kekasaran halus (b) kekasaran medium (c) kekasaran kasar

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Plastisitas tanah memiliki pengaruh terhadap besar parameter geser tanah saat kondisi *cracked*
2. Parameter geser tanah saat retak terutama sudut geser dalam sangat dipengaruhi oleh kekasaran permukaan bidang gesernya.
3. Tekstur, kekuatan, bentuk dan ukuran suatu material kekasaran yang terdapat pada pada bidang retak sangat berpengaruh terhadap besar kekuatan geser.
4. Morfologi kekasaran pada permukaan bidang geser juga berpengaruh terhadap besar parameter geser yang dihasilkan, hal ini dibuktikan dengan pada pengujian tanah *hard* yang dibuat dengan variasi kekasaran berupa guratan/rongga yang berada pada permukaan.
5. Kepadatan tanah memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan geser apabila tanah sangat padat (angka pori sangat kecil) dan tidak mudah hancur ketika diberi tegangan. Hal ini dibuktikan pada pengujian tanah konsistensi *hard* yang memiliki parameter geser yang besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrian, Mochtar, I. B., & Mochtar, N. E., (2019), “Analisa Sudut-Geser-Dalam Tanah Berbutir Halus (*Cohesive Soil*) Berdasarkan Pendekatan *Cracked Soil*.” *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 8, No. 2, 2019, Hal.: 74-78
- Alexsander, S, Mochtar, I. B., & Utama, W. (2016). “Field Validated Prediction Of Latent Slope Failure Based On Cracked Soil Approach”. *Lowland Technology International* 2018,20(3): 245–258.
- Hutagamissufardal, Mochtar, I. B., & Mochtar, N. E., (2018), “The Effect Of Cracks Propagation On Cohesion And Internal Friction Angle For *High Plasticity Clay*”, *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 13, No. 5, page 2504–2507.
- Hutagamissufardal, Mochtar, I. B., & Mochtar, N. E., (2016), “Cracks In Soils And Their Implication For Geotechnical Engineering”, *Proceedings Of 20th Annual National Conference On Geotechnical Engineering (PIT HATTI XX)*, Jakarta, Indonesia, Hal. 49-54.
- Irdiana, R. (2020). Korelasi Parameter Fisis Tanah Dengan Menggunakan Modifikasi Alat Uji Geser Langsung (Modified Direct Shear) Pada *Cracked Soil*. *Tesis Pasca Sarjana*. Jurusan Teknik Sipil. Institut Teknologi Sepuluh Nopember

- Mochtar, I. B., (2011), “Cara Baru Memandang Konsep Stabilitas Lereng (*Slope Stability*) Berdasarkan Kenyataan Di Lapangan”, *Makalah Pada Seminar Nasional Geoteknik Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia (HATTI)*, Banjarmasin.
- Mochtar, I. B., Khoiri, Lastiasih, (2012), *Petunjuk Pengujian Tanah Di Laboratorium Dan Mekanika Tanah*, ITS Press. Surabaya.
- Suprayitno, H. & Soemitro, R.A.A. (2018). “Preliminary Reflexion on Basic Principle of Infrastructure Asset Management”. *JMAIF – Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 2(1), Maret 2018.