

PENGARUH KEDALAMAN TANCAP, SPASI, DAN JUMLAH CERUCUK DALAM PENINGKATAN TAHANAN GESER TANAH LUNAK BERDASARKAN PEMODELAN DI LABORATORIUM

Rusdiansyah¹, Indrasurya B. Mochtar² dan Noor Endah Mochtar²

¹Mahasiswa S3, Geoteknik, Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, email:rusdinat@yahoo.com

²Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya

ABSTRAK

Belakangan ini pemakaian cerucuk cukup efektif sebagai metode alternatif perkuatan stabilitas lereng maupun perkuatan *embankment* jalan. Pada *embankment* jalan, cerucuk digunakan sebagai bahan yang kaku berfungsi untuk menaikkan stabilitas tanah. Sebagai perkuatan lereng, cerucuk sangat efektif berfungsi sebagai pasak/tulangan yang dapat memotong bidang kelongsoran lereng. Sehingga cerucuk dapat memberikan tambahan gaya geser pada lereng yang mampu melawan gaya geser longsoran yang terjadi. Tambahan gaya geser yang dihasilkan oleh cerucuk tersebut dapat meningkatkan angka keamanan (*safety factor*) stabilitas lereng.

Akhir-akhir ini pengembangan teori tentang konstruksi perkuatancerucuk pada stabilitas lereng tanah lunak guna menambah kekuatan gesernya (yang mendekati kondisi di lapangan) masih sedikit dan belum memadai. Hanya saja untuk pengembangannya tersebut sangat diperlukan informasi yang rinci dan jelas tentang interaksi antara tanah lunak dengancerucuk. Informasi tersebut dapat diperoleh salah satunya dari penelitian skala laboratorium yang dibuat mendekati kondisi lapangan.

Tujuan penelitian ini untuk menjawab bagaimana pengaruh panjang tancapan (rasio tancap) dan pengaruh jarak (spasi) antar cerucuk terhadap penambahan tahanan geser dari stabilitas lereng tanah lunak. Penelitian ini dilaksanakan melalui salah satu cara pendekatan model skala laboratorium, namun perilakunya dibuat mendekati perilaku sebenarnya di lapangan. Bidang kelongsoran lereng yang terjadi di lapangan didekati dengan bidang geser yang sengaja dibuat di laboratorium dengan menggeser contoh tanah (Plab) yang terdapat dalam kotak geser hasil modifikasi yang berukuran relatif besar pada alat geser langsung. Cerucuk yang akan digunakan berupa cerucuk kayu mini dan ditanamkan pada contoh tanah tadi. Variasi rasio tancap (L/D) yang diterapkan sebesar 5, 10, 15, dan 20. Sedangkan variasi spasi cerucuk yang digunakan sebesar 3D, 5D, dan 8D. Sedangkan untuk variasi jumlah cerucuk yang dipasang yaitu 1 batang, 2 batang, 4 batang, dan 6 batang. Diharapkan dari perilaku skala kecil tersebut dihasilkan tambahan teori mengenai perkuatan lereng dengan cerucuk yang mendekati kondisi sebenarnya di lapangan.

Hasil penelitian pendahuluan menunjukkan bahwa semakin besar rasio tancap yang digunakan cerucuk maka semakin meningkatkan tahanan geser tanah lunak. Selain itu tahanan geser tanah lunak juga meningkat apabila spasi antar cerucuk yang digunakan sebesar 3D sampai 5D. Akan tetapi penurunan tahanan geser tanah lunak terjadi apabila spasi antar cerucuk yang digunakan adalah lebih besar dari 5D. Selain itu bahwa tahanan geser tanah menjadi meningkat seiring dengan adanya penambahan jumlah cerucuk. Kelompok cerucuk yang menerima gaya geser horisontal pada arah sejajar terhadap baris kelompoknya (Pola Pemasangan 1) menghasilkan tahanan geser tanah yang relatif lebih besar daripada arah tegak lurus terhadap baris kelompoknya (Pola Pemasangan 2). Selain itu bahwa kemampuan kelompok cerucuk dalam menahan geseran horisontal juga dipengaruhi oleh faktor efisiensi. Dimana kemampuan kelompok cerucuk dalam menahan geseran horisontal tidak akan sama dengan kemampuan masing-masing cerucuk dikalikan dengan jumlah cerucuk dalam kelompok yang bersangkutan.

Kata kunci: Cerucuk, rasio tancap, spasi antar cerucuk, jumlah cerucuk, rasio Plab/Pmax

1. PENDAHULUAN

Usaha untuk meningkatkan tahanan geser tanah lunak yang rendah dapat dilakukan antara lain melalui metode perkuatan tanah. Metode perkuatan tanah bertujuan untuk menambah kekuatan tanah agar lebih mampu mendukung beban yang bekerja padanya. Saat

ini tersedia beragam metode perkuatan tanah dengan teknologi yang memadai dan metode tersebut telah berkembang dengan baik. Namun perlu menjadi perhatian bahwa suatu metode perkuatan tanah belum tentu tepat untuk jenis tanah yang lain dan permasalahan spesifik yang ditimbulkan oleh tanah tersebut.

Salah satu metode perkuatan tanah yang efektif untuk mengatasi kelongsoran jalan dan stabilitas lereng adalah dengan menggunakan perkuatan tiang-tiang vertikal yang berperilaku seperti sistem cerucuk. Sistem cerucuk adalah istilah yang dikenal di Indonesia, dimana tiang pancang kecil berdiameter 7,5cm–25cm dipasangkan sebagai group tiang atau tiang satu-satu secara vertikal atau miring. Penggunaan tiang pancang (cerucuk) sebagai elemen penahan tanah sudah dilakukan dimasa lalu karena dapat memberikan solusi yang efisien, sejak tiang (cerucuk) dapat dilaksanakan dengan mudah tanpa mengganggu keseimbangan lereng (DeBeer dan Wallays, 1970; Ito dkk, 1981). Tiang pancang kayu (cerucuk) pernah digunakan sebagai perkuatan stabilitas lereng tanah sangat lunak di Swedia walaupun pada saat itu penggunaan tiang bor dengan diameter 1,5 m sedang populer digunakan di Eropa dan Amerika untuk meningkatkan stabilitas kelongsoran lereng pada tanah lempung kaku (Bulley, 1965, dan Offenberger, 1981).

Selama ini pemakaian cerucuk cukup efektif sebagai metode alternatif perkuatan stabilitas lereng maupun perkuatan *embankment* jalan. Pada *embankment* jalan, cerucuk digunakan sebagai bahan yang kaku berfungsi untuk menaikkan stabilitas tanah. Adanya cerucuk dibawah *embankment* jalan dapat meningkatkan daya dukung tanah dasar dan mengurangi penurunan yang akan terjadi. Hal ini karena cerucuk dapat menghasilkan hambatan terhadap keruntuhan geser. Sebagai perkuatan lereng, cerucuk sangat efektif berfungsi sebagai pasak/tulangan yang dapat memotong bidang kelongsoran lereng. Sehingga cerucuk dapat memberikan tambahan gaya geser pada lereng yang mampu melawan gaya geser longsor yang terjadi. Tambahan gaya geser yang dihasilkan oleh cerucuk tersebut dapat meningkatkan angka keamanan (*safety factor*) stabilitas lereng.

Beberapa kajian penanganan kelongsoran jalan dan stabilitas talud di lapangan (Mochtar, 2011) menunjukkan bahwa cerucuk telah terbukti dapat meningkatkan tahanan geser tanah. Mochtar (2011) juga menjelaskan bahwa apabila *overall stability*-nya lebih menentukan dalam perhitungan stabilitas turap, maka asumsi yang lebih mendekati kondisi sebenarnya di lapangan adalah asumsi konstruksi cerucuk. Cerucuk memiliki kemampuan yang lebih dibandingkan turap dalam mengatasi *overall stability*. Alasannya berdasarkan pada kemampuan cerucuk yang dapat menghambat pergeseran tanah pada bidang longsonya. Cerucuk dapat dipancang sampai melewati bidang runtuh tanpa menghasilkan kelenturan yang berlebih sebagaimana yang terjadi pada turap.

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab permasalahan bagaimana perilaku interaksi tanah dengan cerucuk dalam peningkatan tahanan geser tanah lunak, terutama untuk mengetahui bagaimana pengaruh panjang tancap cerucuk, jarak (spasi) antar cerucuk, dan jumlah cerucuk terhadap peningkatan tahanan geser tanah. Sehingga tujuan utama dalam penelitian ini untuk mengembangkan teori tahanan geser tanah lunak akibat adanya cerucuk.

2. TINJAUAN PUSTAKA

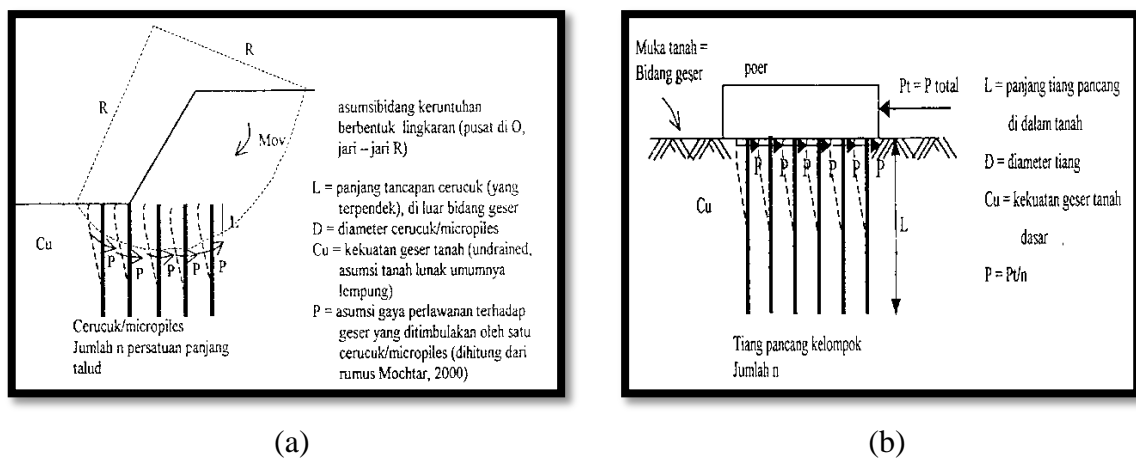
Teori Mochtar (2000) dan Teori Mochtar dan Arya (2002)

Cerucuk digunakan dengan tujuan untuk meningkatkan tahanan geser tanah. Apabila komponen tahanan tanah terhadap geser meningkat maka daya dukung tanah juga menjadi meningkat. Cerucuk dapat berfungsi menahan gaya geser lebih besar dibandingkan dengan tanah.

Mochtar (2000) telah mengembangkan teori penambahan tahanan geser dari tanah akibat adanya cerucuk. Teori ini berdasarkan pada teori tiang pancang penahan gaya horisontal oleh NAVFAC DM-7 (1971). Pada teori tersebut daya dukung geser tiang pancang terhadap gaya lateral pada suatu tanah dipengaruhi oleh : kekakuan dan kekuatan lentur dari tiang pancang tersebut, panjang penetrasi tiang yang masuk pada tanah diukur dari permukaan tanah, kekuatan geser tanahnya sendiri, dan jumlah tiang pancang. Berdasarkan teori tiang pancang ini Mochtar (2000) mengembangkan teori penambahan tahanan geser dari tanah akibat adanya cerucuk.

Dalam Gambar 1a dan Gambar 1b asumsi-asumsi yang digunakan dalam teori penambahan tahanan geser dari tanah akibat adanya cerucuk oleh Mochtar (2000) adalah sebagai berikut :

1. Kelompok cerucuk dianggap sebagai kelompok tiang dengan *rigid cap* di muka tanah yang menerima gaya horisontal.
2. Gaya horisontal tersebut merupakan tegangan geser yang terjadi di sepanjang bidang gelincir.



Gambar 1.

- (a). Asumsi kedudukan cerucuk/micropiles sebagai penahan terhadap keruntuhan geser di lapangan
- (b). Asumsi tiang pancang kelompok menahan gaya lateral yang digunakan sebagai dasar mencari tahanan geser cerucuk (Mochtar 2000, dari NAVFAC DM-7, 1971)

Dalam teori Mochtar (2000) untuk menghitung kebutuhan cerucuk per-meter, terlebih dahulu ditentukan kekuatan 1(satu) cerucuk untuk menahan gaya horisontal. Pada Persamaan (1) menunjukkan gaya horisontal (P) yang mampu ditahan oleh 1(satu) cerucuk. Dalam persamaan tersebut, gaya horisontal (P) adalah merupakan fungsi perbandingan dari momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat beban P (Mp) dengan koefisien momen akibat gaya lateral P (Fm) dan faktor kekakuan relatif (T).

$$P_{\max} \text{ 1 cerucuk} = \frac{M_{p_{\max}} \text{ 1 cerucuk}}{F_M \times T} \quad (1)$$

dengan :

- Mpmax = momen tarikmax yang bekerja pada cerucuk akibat beban P, kg-cm
- F_M = koefisien momen akibat gaya lateral P
- Pmax = gaya horisontal maksimum yang diterima cerucuk, kg
- T = faktor kekakuan relatif, cm

Persamaan (1) tersebut kemudian dikembangkan oleh Mochtar dan Arya (2002). Mochtar dan Arya (2002) telah menambahkan faktor koreksi yang mempertimbangkan pengaruh jenis tanah (c_u), kedalaman tancap cerucuk (L/D), diameter cerucuk (D), dan jumlah cerucuk. Sehingga Persamaan 2 menjadi :

$$P_{\max(1 \text{ cerucuk})} = \frac{Mp_{\max(1 \text{ cerucuk})}}{fm.T} \times Fk \quad (3)$$

Dimana :

$$Fk = 2,643 \cdot \left[\frac{0,89 + 0,12L/D}{2,69} \right] \left[\frac{0,855Cu^{-0,392}}{2,865} \right]$$

Parameter yang Mempengaruhi Faktor Keamanan (SF) Stabilitas Lereng yang diperkuat dengan Cerucuk

Ada beberapa parameter yang dapat mempengaruhi interaksi lereng-cerucuk di lapangan. Parameter-parameter tersebut adalah : 1) pengaruh panjang atau kedalaman cerucuk, 2) pengaruh jenis tanah, 3) pengaruh diameter dan kekakuan cerucuk, 4) pengaruh posisi cerucuk, 5) pengaruh jumlah cerucuk, 6) pengaruh spasi cerucuk, dan 7) pengaruh konfigurasi cerucuk kelompok terhadap arah gaya geser yang bekerja.

Belakangan ini beberapa peneliti telah melakukan analisis terhadap sebagian parameter tersebut dengan menggunakan metode simulasi numerik (*finite element, finite difference*, dll) dan metode analisis keseimbangan batas. Berikut diuraikan sebagian dari hasil kajian para peneliti mengenai hal itu, diantaranya Ashour dan Ardalan (2012) telah melakukan kajian analisis mengenai stabilisasi lereng dengan tiang (dalam hal ini dapat disebut sebagai cerucuk) berdasarkan model keseimbangan interaksi tanah-cerucuk.

Dalam kajian analisisnya, Ashour dan Ardalan (2012) menggunakan bantuan bahasa pemrograman PSSLOPE yang merupakan kombinasi bahasa fortran dan visual basic. Parameter tanah yang digunakan merupakan data asumsi jenis tanah lempung berkualitas baik, tanah pasir, dan batu.

Hasil kajian menunjukkan bahwa kedalaman cerucuk pada sistem lereng yang diperkuat cerucuk harus tertanam pada tanah yang stabil dibawah permukaan bidang gelincir. Hal ini karena dapat memperkecil deformasi yang terjadi pada cerucuk. Apabila jenis tanah yang berada diatas permukaan bidang gelincir tergolong tanah yang tidak menguntungkan (jelek) maka akan menghasilkan tekanan yang besar terhadap cerucuk.

Ashour dan Ardalan (2012) juga menyatakan bahwa pada spasi (jarak) cerucuk tertentu, semakin besar diameter cerucuk yang digunakan maka semakin meningkatkan faktor keamanan (SF). Namun pada rasio antara panjang cerucuk diatas permukaan bidang longsor dan diameter cerucuk yang kecil justru dapat memperkecil SF dengan semakin besarnya diameter cerucuk yang digunakan. Selain itu dari kajian menunjukkan bahwa lokasi cerucuk yang tepat berada ditengah lereng (diantara sisi kaki lereng dan atas/kepala lereng) dapat menghasilkan SF yang maksimum. Sedangkan terkait dengan spasi (jarak) cerucuk, bahwa spasi cerucuk yang meningkat akan menurunkan faktor keamanan (SF) stabilitas lereng.

Kourkoulis dkk (2011) telah melakukan analisis pemodelan lereng-cerucuk menggunakan metode *finite element* dan bantuan *software* XTRACT. Asumsi jenis tanah yang digunakan adalah jenis tanah pasir kelanauan dan batuan lunak.

Dalam hasil analisisnya menyatakan bahwa semakin dalam cerucuk yang ditancapkan dibawah permukaan bidang kelongsoran maka semakin kecil deformasi yang akan terjadi pada bagian kepala cerucuk. Deformasi pada bagian kepala cerucuk akan mengecil apabila cerucuk tertanam pada jenis tanah yang keras. Spasi cerucuk yang kecil (rapat) dapat meningkatkan gaya penahan geser, memperkecil momen lentur, dan memperkecil deformasi pada bagian kepala cerucuk.

Hasil kajian Kourkoulis dkk (2011) juga menunjukkan bahwa apabila lapisan tanah memiliki ketebalan yang tipis maka cerucuk berperilaku seperti rigid dan menyerupai perilaku dinding penahan tanah atau pondasi kaisson, sehingga efek dari cerucuk kelompok menjadi tidak berpengaruh. Sebaliknya apabila ketebalan lapisan tanah besar (tebal), maka cerucuk berperilaku fleksibel dan efek cerucuk kelompok menjadi berpengaruh.

3. MATERIAL, PERALATAN, DAN CARA PENGUJIANNYA

Material

Dalam penelitian ini jenis tanah lempung yang digunakan yaitu tanah lempung dengan tingkat konsistensi lunak yang diambil dari daerah lingkungan kampus ITS, yaitu tanah yang terdapat pada lahan belakang Gedung Robotica ITS Surabaya. Pada Tabel 1 disajikan rekapitulasi karakteristik fisik dan mekanis tanah lempung tersebut. Dalam Tabel 1 menunjukkan bahwa jenis lempung lunak yang digunakan dalam penelitian ini menurut klasifikasi metode USCS tergolong memiliki tingkat plastisitas yang tinggi (CH). Sedangkan menurut klasifikasi metode AASHTO tergolong A-7 (tanah berlempung).

Tabel 1 Sifat Fisik dan Mekanis Tanah Kondisi *Undisturbed*

No.	Parameter(*)	Nilai
1	Berat Volume, γ_t	1,424 gr/cm ³
2	Kadar Air, W_c	92,21%
3	Angka Pori, e	2,567
4	Derajat Kejenuhan, S_r	94,95%
5	Berat Jenis, G_s	2,643
6	Batas Cair, LL	64,90%
7	Batas Plastis, PL	30,33%
8	Indeks Plastisitas, PI	34,57%

9	Fraksi Lempung	75,44%
10	Fraksi Lanau	17,32%
11	Fraksi Pasir	7,24%
12	Kohesi Undrained, Cu	0,190 kg/cm ²

(*)Catatan : Kedalaman sampel dan kedalaman muka air tanah = -1,2m

Untuk model cerucuk mini yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari bahan kayu jenis Meranti (kayu kelas II). Model cerucuk dibuat dalam bentuk batang silinder dengan diameter 3mm, 4,5mm, dan 6mm, dan dengan ukuran panjang batang yang disesuaikan dengan kebutuhan variasi perlakuan dalam penelitian ini.

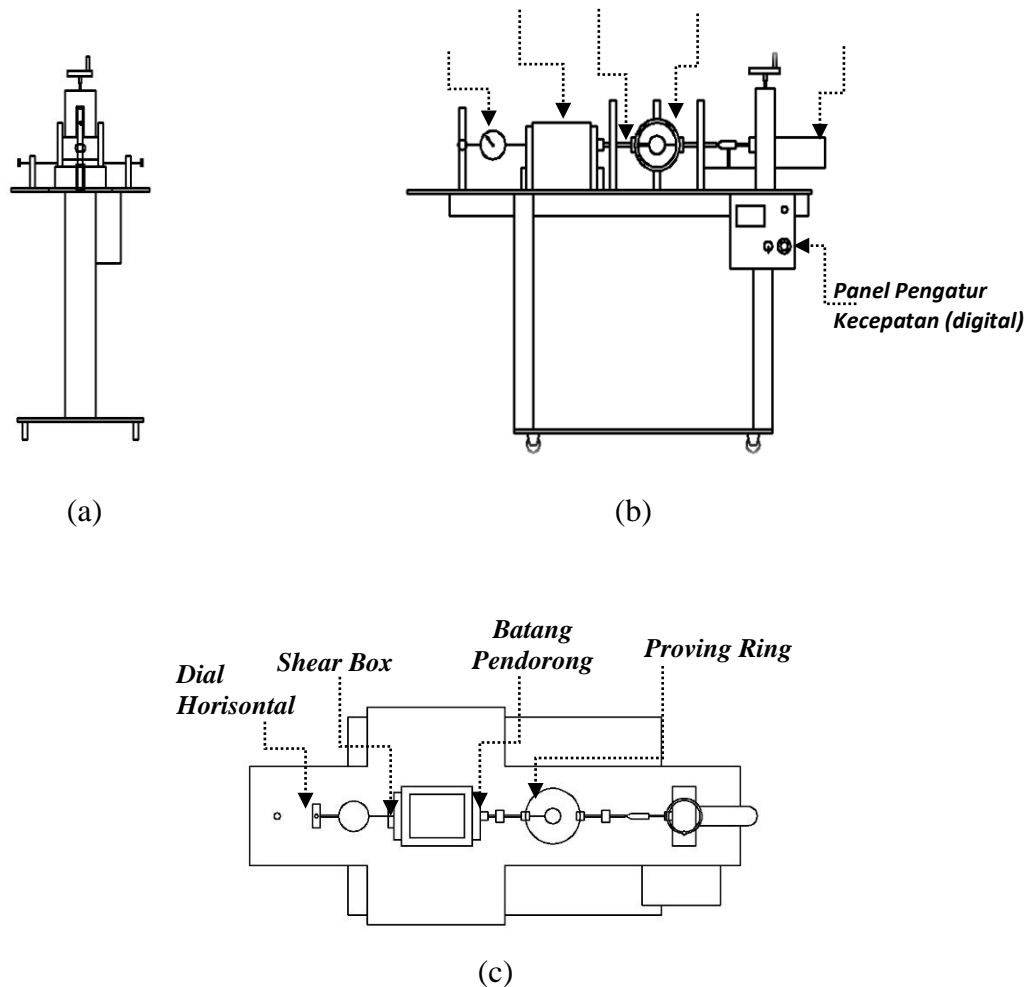
Batang kayu yang dipilih diupayakan memiliki sifat homogenitas bahan kayu dari batang model cerucuk mini yang sama. Berdasarkan pengujian kadar air dan berat volume, kayu yang telah dipilih sebagai bahan penelitian ini memiliki kadar air rata-rata sebesar 14,87 % dan berat volume rata-rata kayu sebesar 0,55gr/cm³. Selain itu untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas dari model cerucuk mini berbahan kayu tersebut maka dilakukan pengujian tarik pada model cerucuk mini tersebut. Dari hasil pengujian tarik didapatkan nilai modulus elastisitas sebesar $E=21812,39 \text{ kg/cm}^2$. Sedangkan nilai tegangan tarik maksimum yang didapat sebesar $\sigma_{tr} = 589,697 \text{ kg/cm}^2$

Peralatan

Alat uji geser langsung (*Direct Shear*) konvensional yang biasa digunakan di laboratorium dimodifikasi pada bagian tertentu dari sistem alat tersebut. Model alat geser langsung hasil modifikasi sebagian besar bentuknya menyerupai alat uji geser langsung konvensional. Perbedaannya terdapat pada bentuk kotak geser (*shear box*) yang digunakan. Selain itu pada model alat uji geser langsung yang dimodifikasi tidak membutuhkan balok beban dan dial vertikal karena dalam penelitian ini hanya untuk mengetahui kemampuan cerucuk menahan gaya geser horisontal.

Dalam Gambar 2 menunjukkan konstruksi alat uji geser langsung tanah-cerucuk yang digunakan dalam melaksanakan penelitian ini. Beberapa komponen penting yang terdapat dalam alat uji geser langsung tanah-cerucuk tersebut, yaitu : 1(satu) set *proving ring* dengan kapasitas 500kgf, 1(satu) set batang pendorong, 1(satu) buah dial horisontal dengan kapasitas 50mm , 1(satu) unit motor penggerak kecepatan automatic kapasitas 60Hz yang dilengkapi dengan panel pengatur kecepatan secara digital, dan kotak geser (*shear box*) yang berukuran relative besar, yaitu 20cm x 15cm x 12cm.

Batang
Dial Shear Box Pendorong Proving Ring
Horisontal Motor



Gambar 2 Alat uji geser langsung modifikasi

- (a) tampak muka
- (b) tampak samping
- (c) tampak atas

Cara Pengujian

Pengujian geser langsung terhadap model benda uji tanah-cerucuk dilakukan dengan menggunakan alat uji geser langsung modifikasi. Pada saat pemasangan model cerucuk kedalam model tanah dilaksanakan dengan cara menekan cerucuk dengan tangan. Posisi cerucuk dipastikan vertikal terhadap bidang *shear box* dan berada pada area tengah *shear box*. Alat bantu dapat digunakan untuk mengatur posisi cerucuk tersebut.

Gaya geser horisontal diberikan pada benda uji (kotak geser) setelah motor penggerak yang telah diatur kecepatannya (dalam hal ini kecepatan penggeseran berkisar sebesar 0,1 mm/menit sampai 2 mm/menit) menyalurkan gaya horisontal melalui batang pendorong. Besaran gaya geser horisontal terbaca melalui dial pada proving ring tersebut. Gaya horisontal tersebut dinyatakan sebagai parameter *Plab* dalam makalah ini. Bersamaan dengan itu pula besaran deformasi horisontal dari benda uji terbaca pada dial horisontal yang terdapat pada alat uji geser langsung tanah-cerucuk tersebut.

Variasi perlakuan benda uji yang akan dilaksanakan pada pengujian geser langsung dengan alat uji geser tanah-cerucuk modifikasi adalah variasi rasio tancap cerucuk (L/D) dan variasi spasi kelompok cerucuk dengan jumlah cerucuk yang tertanam sebanyak 2 buah masing-masing berdiameter 3mm. Dalam penelitian ini variasi rasio tancap (L/D) yang

diterapkan sebesar 5, 10, 15, dan 20 (dimana L adalah panjang tancap tiang cerucuk dibawah bidang geser). Sedangkan variasi spasi cerucuk yang digunakan sebesar 3D, 5D, dan 8D (dimana D adalah diameter cerucuk).

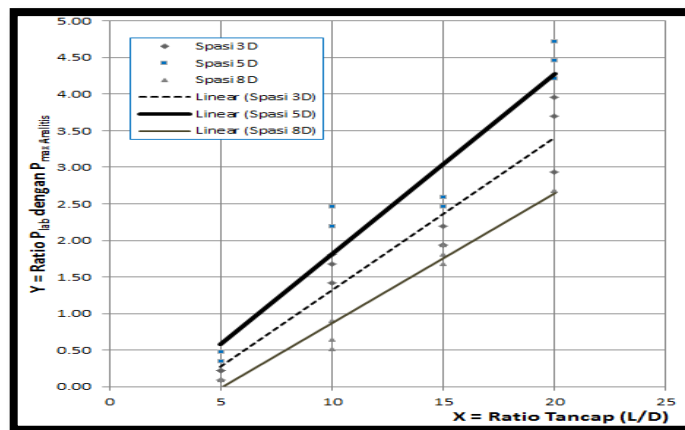
4. HASIL PENGUJIAN DAN BAHASAN

Pengaruh Panjang Tancapan Cerucuk terhadap Peningkatan Kuat Geser

Dalam Gambar 3 menunjukkan kurva yang menjelaskan hubungan variasi rasio tancap ($L/D : 5, 10, 15, \text{ dan } 20$) dan rasio P_{lab}/P_{max} dengan spasi cerucuk yang digunakan saat pengujian adalah sebesar 3D, 5D, dan 8D. Dalam hal ini rasio P_{lab}/P_{max} merupakan representasi dari tahanan geser tanah lunak. Dimana P_{max} adalah gaya horisontal yang dapat ditahan oleh 1(satu) tiang cerucuk berdasarkan perhitungan analitis menggunakan Persamaan (1) oleh Mochtar (2000). Sedangkan P_{lab} adalah gaya horisontal yang dapat ditahan oleh 1(satu) tiang cerucuk berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium.

Berdasarkan kurva hubungan yang dijelaskan dalam Gambar 3 menunjukkan bahwa tahanan geser tanah lunak (rasio P_{lab}/P_{max}) mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya panjang tancap (penanaman) cerucuk dibawah bidang geser tanah (bidang longsor). Hal ini disebabkan karena dengan semakin besarnya nilai rasio tancap yang berarti bahwa semakin panjang tiang cerucuk yang menancap (tertanam) dibawah bidang geser (bidang longsor). Dengan semakin panjangnya tiang cerucuk yang tertanam maka semakin besar pula daerah kerja (daerah perlawanan) atau reaksi lateral yang terjadi pada cerucuk yang menghambat pergeseran tanah. Sehingga penambahan gaya geser yang dihasilkan oleh cerucuk menjadi semakin besar.

Pada nilai rasio tancap yang sama dalam kurva tersebut menunjukkan bahwa cerucuk-cerucuk yang menggunakan spasi 5D menghasilkan rasio P_{lab}/P_{max} yang lebih besar dibandingkan dengan spasi cerucuk sebesar 3D dan 8D.



Gambar 3. Kurva hubungan variasi rasio tancap dan rasio P_{lab}/P_{max}

Pengaruh Spasi Cerucuk terhadap Peningkatan Kuat Geser

Untuk mengetahui pengaruh spasi cerucuk terhadap peningkatan kuat geser tanah maka dalam penelitian ini digunakan spasi cerucuk sebesar 3D, 5D, dan 8D. Masing-masing

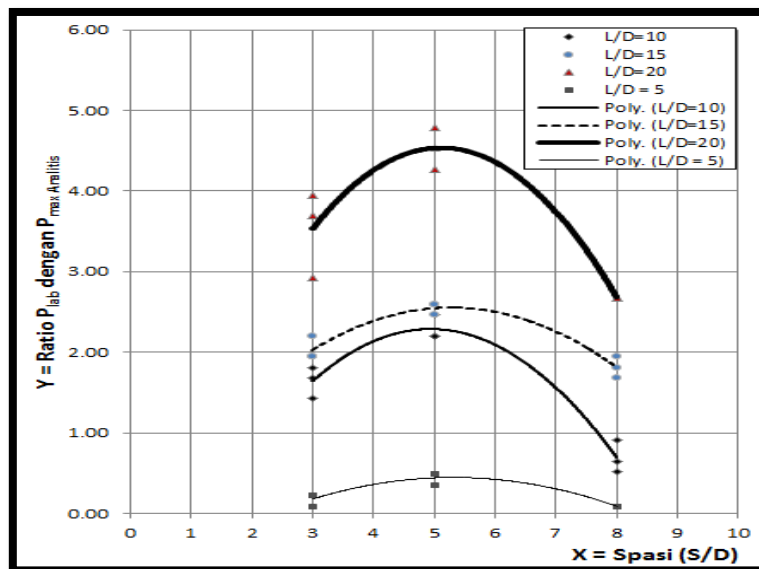
perlakuan variasi spasi tersebut juga memperhatikan rasio tancap yang diterapkan saat pelaksanaan pengujian gesernya.

Dalam Gambar 4 disajikan data dan kurva yang menjelaskan hubungan variasi spasi cerucuk dan rasio P_{lab}/P_{max} untuk masing-masing rasio tancap cerucuk sebesar $L/D=5$, $L/D=10$, $L/D=15$, dan $L/D=20$.

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada kurva hubungan dalam Gambar 4 maka dapat disimpulkan bahwa untuk rentang spasi cerucuk sebesar 3D sampai 5D, nilai rasio P_{lab}/P_{max} mengalami peningkatan. Namun apabila cerucuk menggunakan spasi lebih dari 5D (5D sampai 8D) maka rasio P_{lab}/P_{max} mengalami penurunan. Selain itu juga dapat disimpulkan bahwa cerucuk dengan spasi 5D dapat memberikan hasil yang optimal dan efektif.

Dari hasil analisis menunjukkan bahwa apabila cerucuk menggunakan spasi antara 3D sampai 5D, kekuatan geser tanah akan meningkat karena pada rentang spasi tersebut kinerja cerucuk kelompok lebih maksimal memberikan efek pasak pada perkuatan tanah. Hal ini juga menunjukkan bahwa pada jarak (spasi) tersebut dapat menghasilkan tahanan antara tiang cerucuk tersebut terhadap dorongan (gaya geser) yang terjadi. Spasi yang rapat (3D sampai 5D) dapat memperkecil deformasi yang terjadi pada tanah karena spasi yang rapat dapat meningkatkan gaya penahan geser.

Sedangkan pada rentang spasi lebih dari 5D (yaitu 8D), rasio P_{lab}/P_{max} mengalami penurunan karena pada spasi tersebut tergolong besar (tidak rapat), sehingga cerucuk-cerucuk berperilaku hampir seperti cerucuk tunggal (individu) yang tidak terikat oleh sesamanya. Akibatnya dorongan dari tanah (gaya geser) tidak ditahan dan akan melalui dengan mudah diantara tiang-tiang.



Gambar 4 Kurva hubungan variasi spasi cerucuk dan rasio P_{lab}/P_{max}

Pengaruh Jumlah Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah

Dalam rangka mengetahui pengaruh jumlah cerucuk dalam menerima gaya geser horisontal maka dilakukan pengujian geser dengan perlakuan variasi jumlah cerucuk. Jumlah cerucuk yang diterapkan yaitu 1 batang, 2 batang, 4 batang, dan 6 batang. Adapun macam arah pemberian gaya geser horisontal terbagi atas 2 (dua) macam, yaitu 1) arah gaya geser

diberikan sejajar/paralel terhadap baris kelompok cerucuk (disebut Pola 1 dimana baris x kolom : 1x1, 1x2, 1x3, 1x4, 1x5, dan 1x6), dan 2) arah gaya geser diberikan tegak lurus terhadap baris kelompok cerucuk (disebut Pola 2 dimana baris x kolom : 1x1, 2x1, 3x1, 4x1, 5x1, dan 6x1). Untuk masing-masing benda uji dengan perlakuan yang diseragamkan yaitu : diameter cerucuk yang digunakan 3mm, spasi (jarak antar) cerucuk kelompok yang diterapkan 5D (5xdiameter), dan rasio tancap cerucuk (L/D)=15.

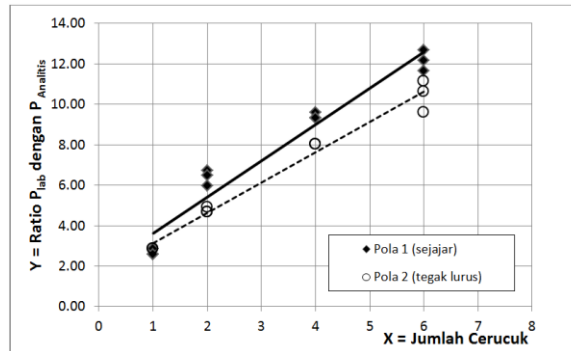
Dalam Tabel 2, Tabel 3, dan Gambar 4 menjelaskan pengaruh jumlah cerucuk terhadap gaya geser yang dapat ditahan oleh tanah lempung lunak (Plabkelompok). Pada Gambar 4 menunjukkan hubungan rasio $P_{lab}/P_{analitis}$ dan jumlah cerucuk kelompok, baik untuk Pola 1 (pemberian arah gaya geser sejajar terhadap baris kelompok tiang cerucuk) maupun Pola 2 (pemberian arah gaya geser tegak lurus terhadap baris tiang cerucuk kelompok). Adanya penambahan jumlah cerucuk dapat meningkatkan tahanan geser tanah (dalam hal ini tahanan geser tanah diwakili oleh parameter rasio $P_{lab}/P_{analitis}$) terhadap gaya geser horisontal. Dimana semakin banyak jumlah cerucuk yang ditancapkan kedalam tanah lempung lunak maka semakin besar pula kontribusi cerucuk tersebut memberikan perlawanan terhadap adanya keruntuhan geser horisontal.

Tabel 2 Nilai Rasio Plab/Panalitis dan Jumlah Cerucuk (Pola 1)

No.	Jumlah / Kode		ΔP_{lab} Kelompok Cerucuk (Kg)	ΔP_{lab} 1 Cerucuk (Kg)	Ratio (Plab/Panalitis)	Ratio (PlabKEL/Panalitis)
1	Cerucuk 1 btg	S(1.D3).	1.704	1.704	2.586	2.586
		Sj.L2.II	1.875	1.875	2.845	2.845
			1.704	1.704	2.586	2.586
2	Cerucuk 2 btg	S(2.D3.5D).	3.412	1.706	2.589	5.178
		Sj.L2.II	3.242	1.621	2.460	4.920
			3.242	1.621	2.460	4.920
3	Cerucuk 4 btg	S(4.D3.5D).	6.145	1.536	2.331	9.325
		Sj.L2.II	6.316	1.579	2.396	9.584
			6.145	1.536	2.331	9.325
4	Cerucuk 6 btg	S(6.D3.5D).	8.366	1.394	2.116	12.695
		Sj.L2.II	7.682	1.280	1.943	11.657
			8.024	1.337	2.029	12.176

Tabel 3 Nilai Rasio Plab/Panalitis dan Jumlah Cerucuk (Pola 2)

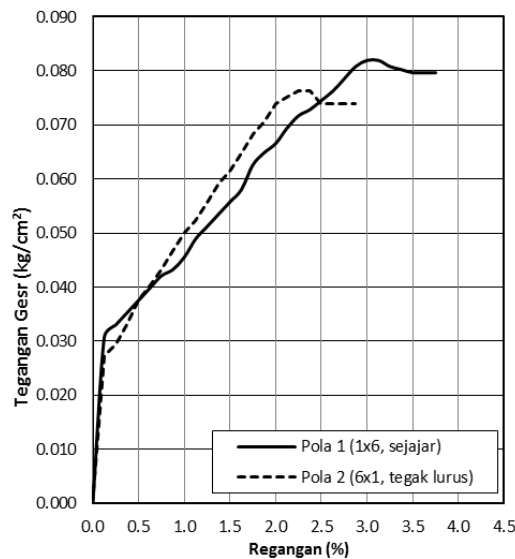
No.	Kode		ΔP_{lab} Kelompok Cerucuk (Kg)	ΔP_{lab} 1 Cerucuk (Kg)	Ratio (Plab/Panalitis)	Ratio (PlabKEL/Pmax)
1	Cerucuk 1 btg	S(1.D3).	1.875	1.875	2.845	2.845
		Tg.L2.II	1.875	1.875	2.845	2.845
2	Cerucuk 2 btg	S(2.D3.5D).	3.242	1.621	2.460	4.920
		Tg.L2.II	3.071	1.536	2.330	4.660
			3.071	1.536	2.330	4.660
3	Cerucuk 4 btg	S(4.D3.5D).	5.291	1.323	2.007	8.029
		Tg.L2.II	5.291	1.323	2.007	8.029
4	Cerucuk 6 btg	S(6.D3.5D).	6.316	1.053	1.597	9.584
		Tg.L2.II	7.341	1.224	1.857	11.140
			6.999	1.167	1.770	10.621



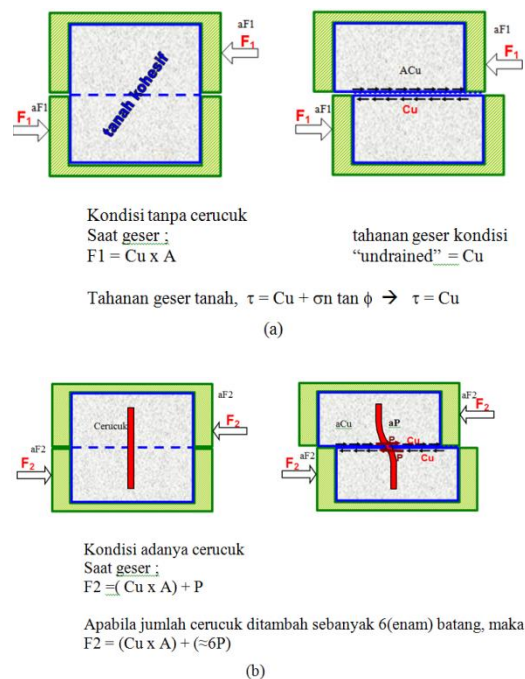
Gambar 4 Hubungan rasio P_{lab}/P_{analitis} dan jumlah cerucuk

Berdasarkan Gambar 4 bahwa apabila ditinjau menurut pola baris-kolom yang menerima gaya geser maka kelompok cerucuk dengan Pola 1 (menerima gaya geser pada arah sejajar) menghasilkan tahanan geser yang lebih besar daripada kelompok cerucuk Pola 2. Salah satu penyebab terjadinya hal tersebut antara lain yaitu pada Pola 1 menghasilkan tegangan geser dan regangan yang lebih besar daripada kelompok cerucuk dengan Pola 2. Hal ini dapat dijelaskan berdasarkan kurva hubungan tegangan-regangan dalam Gambar 5 yang merupakan salah satu contoh hasil pengujian di laboratorium.

Semakin banyak jumlah cerucuk yang ditancapkan kedalam tanah maka semakin meningkat kekakuan dan diameter ekivalen antar tiang cerucuk didalam tanah. Hal ini menyebabkan perubahan kondisi tanah disekitar cerucuk menjadi relatif lebih padat dari kondisi sebelumnya. Adanya peningkatan kepadatan tanah tersebut memberikan kontribusi mobilisasi kekuatan sistem tanah-cerucuk untuk memberikan perlawanan terhadap keruntuhan geser horisontal yang terjadi. Peningkatan kekuatan tanah akibat adanya peningkatan jumlah cerucuk dapat dijelaskan melalui Gambar 6. Dengan memasang sejumlah cerucuk pada tanah maka kekuatan geser tanah meningkat dari semula. Hal ini juga karena cerucuk berfungsi sebagai pasak/tulangan dalam tanah sehingga memberikan tambahan dukungan terhadap geseran horisontal.



Gambar 5 Hubungan Tegangan-Regangan Variasi Jumlah Cerucuk

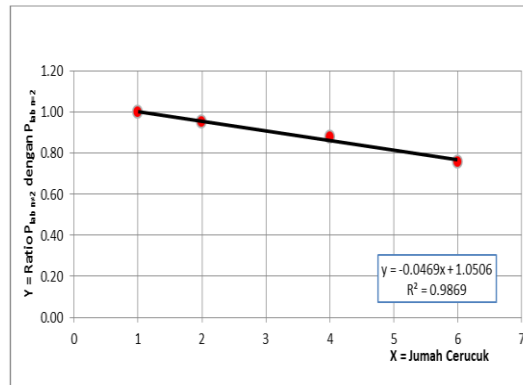


Gambar 6. Sketsa peningkatan kekuatan geser tanah akibat pemasangan cerucuk (Mochtar, 2000)

- a) Kondisi tanpa cerucuk
- b) Kondisi adanya cerucuk

Gambar 7 menunjukkan hubungan rasio $Plab_{n \neq 2} / Plab_{n=2}$ dan jumlah cerucuk (masing-masing jumlah cerucuknya telah direduksi menjadi cerucuk tunggal yang telah memperhitungkan efek grup/kelompok). Parameter $Plab_{n \neq 2}$ adalah besaran gaya geser yang dapat ditahan oleh benda uji untuk jumlah cerucuk tidak sama dengan 2 batang, sedangkan $Plab_{n=2}$ adalah besaran gaya geser yang dapat ditahan oleh benda uji hanya untuk penggunaan cerucuk berjumlah 2 batang. Dalam hal ini rasio $Plab_{n \neq 2} / Plab_{n=2}$ dapat dinyatakan pula sebagai representasi tahanan geser tanah.

Persamaan yang dihasilkan dari bentuk kurva tersebut adalah : $Y = -0.0469x + 1.0506$, dimana Y adalah rasio $Plab_{n \neq 2} / Plab_{n=2}$ dan x adalah jumlah cerucuk (masing-masing jumlah cerucuknya telah direduksi menjadi cerucuk tunggal yang telah memperhitungkan efek grup/kelompok). Persamaan tersebut dapat dianggap sebagai persamaan efisiensi kelompok tiang cerucuk didalam tanah untuk memberikan perlawanan terhadap gaya geser horisontal. Hal ini karena jumlah cerucuk dalam persamaan tersebut telah memperhitungkan efek grup/kelompok pada cerucuk tunggal untuk masing-masing jumlah cerucuk.



Gambar 7

Hubungan Rasio $P_{lab(n=2)} / P_{lab(n=2)}$ dan Jumlah Cerucuk (Cerucuk tunggal dengan pengaruh grup/kelompok)

Berdasarkan Gambar 7 bahwa semakin banyak jumlah cerucuk dalam kelompok cerucuk untuk menahan gaya geser horisontal maka semakin mengecil nilai efisiensi kelompok cerucuk tersebut. Hal ini dapat berarti bahwa kemampuan kelompok cerucuk dalam menahan geseran tidak akan sama dengan kemampuan masing-masing cerucuk dikalikan dengan jumlah cerucuk dalam kelompok yang bersangkutan. Kondisi ini menunjukkan bahwa jumlah cerucuk dalam kelompok didalam tanah untuk menahan gaya geser horisontal ternyata menghasilkan kondisi *overlapping* dari garis-garis tegangan disekitar tiang-tiang cerucuk dalam tanah yang biasa disebut dengan fenomena grup *action* (efek efisiensi) seperti halnya selama ini yang terjadi pada tiang kelompok yang menerima gaya aksial.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, ada beberapa hal yang dapat dijadikan kesimpulan, yaitu :

1. Panjang tancap cerucuk mempengaruhi peningkatan kuat geser tanah, dimana semakin panjang batang cerucuk yang ditancap dibawah bidang kelongsoran maka semakin meningkat pula kuat geser tanah yang dihasilkan.
2. Pada spasi cerucuk sebesar 3D dan 5D yang digunakan, kuat geser tanah menjadi meningkat. Kuat geser tanah mengalami penurunan disaat spasi cerucuk yang digunakan semakin besar, dalam hal ini spasi cerucuk yang digunakan lebih dari 5D (spasi 8D).
3. Spasi cerucuk yang digunakan sebesar 5D dapat menghasilkan kuat geser tanah yang lebih besar.
4. Semakin banyak jumlah cerucuk yang digunakan maka semakin besar pula tahanan geser tanah yang dihasilkan.
5. Arah gaya geser terhadap baris kelompok cerucuk dapat mempengaruhi tahanan geser tanah. Tahanan geser tanah yang dihasilkan oleh kelompok cerucuk yang menerima gaya horisontal (gaya geser) dalam arah sejajar dengan baris kelompok cerucuk adalah lebih besar daripada dalam arah tegak lurus.
6. Faktor efisiensi juga dapat mempengaruhi tahanan geser tanah yang diperkuat kelompok cerucuk yang menerima gaya geser horisontal (longsoran). Dimana kemampuan kelompok cerucuk dalam menahan geseran tidak akan sama dengan kemampuan masing-masing cerucuk dikalikan dengan jumlah cerucuk dalam kelompok yang bersangkutan.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Ashour M dan Ardalan H, (2012) *Analysis of pile stabilized slopes based on soil-pile interaction*, Computers and Geotechnics-ELSEVIER, 39:85-97.
2. Bulley, W.A., (1965) *Cylindrical Pile Retaining Wall Construction-Seattle Freeway*, Paper presented at Roads and Streets Conference, Seattle, Washington.
3. DeBeer, E. E., dan Wallays, M., (1970), *Stabilization of a slope in schist by means of bored piles reinforced with steel beams*, Proceeding 2nd International Congress Rock Mechanics, Vol. 3, 361-369.
4. Ito, T., Matsui, T., dan Hong, W. P., (1981), *Design method for stabilizing piles against landslide - one row of piles*, *Soils and Foundations*, Vol.21, No.1, pp.21-37.
5. Ito, T., Matsui, T., dan Hong, W. P., (1982), *Extended design method for multi-row stabilizing piles against landslide*, *Soils and Foundations*, Vol.22, No. 1, pp. 1-13.
6. Kourkoulis, R., Gelagoti, F., Anastasopoulos, I., dan Gazetas, G., (2011), *Slope stabilizing piles and pile-groups, Parametric study and design insights*, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 137(7), 663–678.
7. Mochtar, I. B., (2000), *Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan pada Tanah Bermasalah (Problematic Soils)*, Penerbit Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, Surabaya.
8. Mochtar, I. B. dan Arya I.W., (2002), *Pengaruh penambahan cerucuk terhadap peningkatan kuat geser tanah lunak pada pemodelan di laboratorium*, Tesis Bidang Geoteknik, Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana ITS Surabaya.
9. Mochtar, I. B., (2010), *Masalah Pergerakan Tanah dan Turap Baja di Lereng Tebing Dekat Gedung Squash, Kota Balikpapan*, Laporan Penyelidikan oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat LPPM, ITS, untuk Pemda Kota Balikpapan.
10. Mochtar, I. B., (2011), *Kajian Kelongsoran Jalan dan Stabilitas Talud Pada Proyek Pembangunan Jalan dengan Turap, Sepanjang Lokasi Jln.Marsma.Iswahyudi, STA 0+000 s/d 0+796, Kota Tanjung Redeb, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur*. Laporan Penyelidikan oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat LPPM, ITS, untuk Pemkab Berau.
11. NAVFAC DM-7, (1971), *Design Manual, Soil Mechanics, Foundation and Earth Structures*, Depth. Of the Naval Facilities Engineering Command, Virginia, USA.
12. Offenberger, J.H, (1981), *Hillside stabilized with concrete cylinder pile retaining wall*, *Public Works*, Vol. 112, No. 9, pp. 82-86.
13. Wei W.B. dan Cheng Y.M., (2009), *Strength reduction analysis for slope reinforced with one row of piles*, *Computers and Geotechnics-ELSEVIER*, Vol.36 :1176-1185.