

Analisis Peningkatan Tahanan Geser Tanah Lunak akibat adanya Cerucuk berdasarkan Permodelan di Laboratorium

Isti Qomariyah, Indrasurya B Mochtar, dan Yudhi Lastiasih

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: indramochtar.mochtar@gmail.com, yudhi.lasatiasih@gmail.com

Abstrak— Berbagai metode telah dikembangkan dalam analisa perkuatan talud yang menggunakan cerucuk. Salah satunya adalah Teori Cerucuk oleh Mochtar (2000). Teori ini didasarkan pada Manual Design NAVFAC DM-7 [3]. Kemudian dilakukan pembaharuan rumus oleh Mochtar & Arya [2] yang didasarkan pada pemodelan di laboratorium. Dan pembaruan rumus yang terbaru oleh Rusdiansyah (2015) yang memperoleh faktor koreksi gabungan terhadap rumus Mochtar (2000) yakni koreksi terhadap panjang tancap, spasi pemasangan, diameter, serta jumlah dan efisiensi. Namun teori cerucuk oleh Rusdiansyah (2015) [4] masih memiliki batas perhitungan. Sehingga perlu diadakan penelitian lanjut untuk memperluas batas tersebut.

Penelitian ini dilakukan dengan cara sampling tanah lalu sampel tersebut di uji geser di Laboratorium untuk mengetahui gaya maksimum yang bisa ditahan oleh tanah maupun tanah yang ditancapi cerucuk mini. Gaya inilah yang diolah menjadi persamaan pengaruh variasi cerucuk. Hasil perhitungan perumusan menghasilkan persamaan tambahan pada Rumus Cerucuk 2015. Pada variasi rasio tancap cerucuk diperoleh persamaan $Y_t = 0.001(X_t)^2 + 0.051(X_t) - 0.180$. Pada variasi spasi pemasangan didapat persamaan untuk rasio spasi terhadap diameter (S/D) lebih dari 5, $Y_s = -0.027(X_s) + 1.138$. pada variasi jumlah cerucuk didapat persamaan baru yakni $Y_n = 0.0055(X_n)^2 - 0.0892(X_n) + 1.1001$. Sedangkan untuk variasi diameter diperoleh persamaan $Y_d = 1.337(X_d) + 0.869$ untuk rasio diameter terhadap kekakuan (D/T) kurang dari 0.098. Dengan rata-rata koefisien pengali adalah 2.095.

Kata Kunci—Cerucuk, Direct Shear, Permodelan, Tahanan Geser.

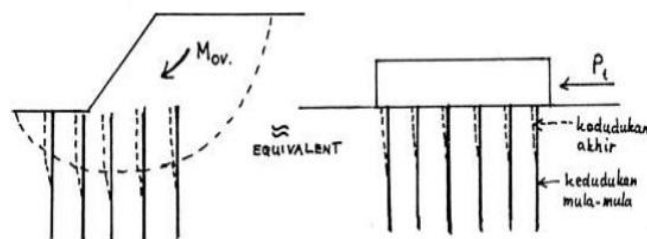
I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

CERUCUK merupakan suatu metode perbaikan tanah yang sering dijumpai guna meningkatkan daya dukung pada tanah yang lunak maupun sebagai penguat lereng timbunan. Cerucuk bisa berupa tiang kayu berukuran panjang 4-6 meter dengan diameter 10 cm. Bisa juga tiang beton untuk tanah lunak yang lebih dalam, dan bila kapasitas daya dukung beban yang lebih besar diperlukan, penggunaan dari tiang beton pracetak lebih cocok. Tiang pracetak berbentuk persegi atau segitiga dengan sisi berukuran 10-40 cm, akan memberikan kapasitas daya dukung yang lebih besar (Departemen PU, 2005).

Cerucuk telah berhasil digunakan di berbagai situasi penanganan kelongsoran maupun peningkatan stabilitas talud, dan banyak metode yang telah dikembangkan dalam analisis

pile slopes atau cerucuk (Ito et al., 1981; Poulos, 1995; chen and Poulos, 1997; Zeng and Liang, 2002; Won et al., 2005) [1]. Teori cerucuk terbaru adalah Teori Cerucuk 2015 yang diperkenalkan oleh Rusdiansyah [4]. Teori ini dikembangkan dari teori cerucuk Mochtar (2000) yang mengasumsikan kelompok cerucuk dianggap sebagai kelompok tiang pancang “rigid cap” di muka tanah yang menerima gaya horizontal. Gaya horizontal tersebut merupakan tegangan geser yang terjadi disepanjang bidang gelincir seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1.1. Asumsi tersebut didasarkan pada teori tiang pancang penahan horizontal oleh NAVFAC DM-7, 1971 [3].



Gambar 1. Asumsi Gaya yang Diterima Cerucuk (Mochtar, 2000)

Namun Teori Cerucuk 2015 masih terbatas oleh persyaratan benda uji : 1) Spasi 3D (3 kali diameter) sampai 8D (8 kali diameter), 2) Rasio tancap $L/D = 5$ s.d. $L/D = 20$, 3) Rasio D/T yang digunakan 0.099 s.d. 0.113, 4) Diameter Cerucuk 3 mm s.d. 6 mm. Oleh sebab itu, diusulkan penelitian lanjut mengenai “Analisis Peningkatan Tahanan Geser Tanah Lunak akibat adanya Cerucuk berdasarkan Permodelan di Laboratorium” untuk melengkapi persyaratan-persyaratan pada Teori Cerucuk 2015.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana kekuatan geser tanah maximum tanpa adanya cerucuk?
2. Bagaimana pengaruh pemasangan Cerucuk spasi $> 8D$ terhadap kuat geser tanah?
3. Bagaimana pengaruh pemasangan Cerucuk rasio tancap $L/D > 20$ terhadap kuat geser tanah?
4. Bagaimana pengaruh pemasangan Cerucuk diameter 2 mm dan 2,5 mm terhadap kuat geser tanah?
5. Bagaimana pengaruh pola pemasangan Cerucuk terhadap kuat geser tanah?

Benda Uji Tanah

Kegiatan sampling tanah berlokasi di belakang Gedung Robotika ITS. Pengambilan benda uji tanah dilakukan dengan cara pengupasan pada permukaan tanah sampai dengan elevasi dibawah muka air tanah. Pada benda uji tanah dilakukan uji karakteristik untuk mengetahui parameter yakni uji sifat fisik, uji plastisitas, dan uji geser. Dari pengujian karakteristik tanah diketahui bahwa tanah tergolong jenis lempung dengan berat volume 1,354 gr/cc dan kadar air 100% seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Sifat fisik dan mekanis tanah kondisi undisturbed

Lokasi	Gedung Robotika ITS	
Kedalaman Sampel		-1,00 m
Kedalaman MAT		0.00 m
Kondisi Cuaca		Hujan Sedang - Hujan Lebat
Waktu		November 2016
Berat/volume tanah Yt	gr/cc	1.345
Berat/volume kering Yd	gr/cc	0.668
Kadar air	%	1.014
Derajat Kejenuhan Sr	gr	0.942
Kadar Pori	%	0.732
Angka Pori e		2.766
Spesifik Gravity Gs		2.524
Batas cair LL	%	91.535
Batas Plastis PL	%	45.67627494
Indeks Plastisitas PI	%	45.859
Fraksi Lempung	%	73.59
Fraksi Lanau	%	20.42
Fraksi Pasir	%	5.99
Klasifikasi USCS		CH
Klasifikasi AASHTO		A-7 (Tanah Berlempung)

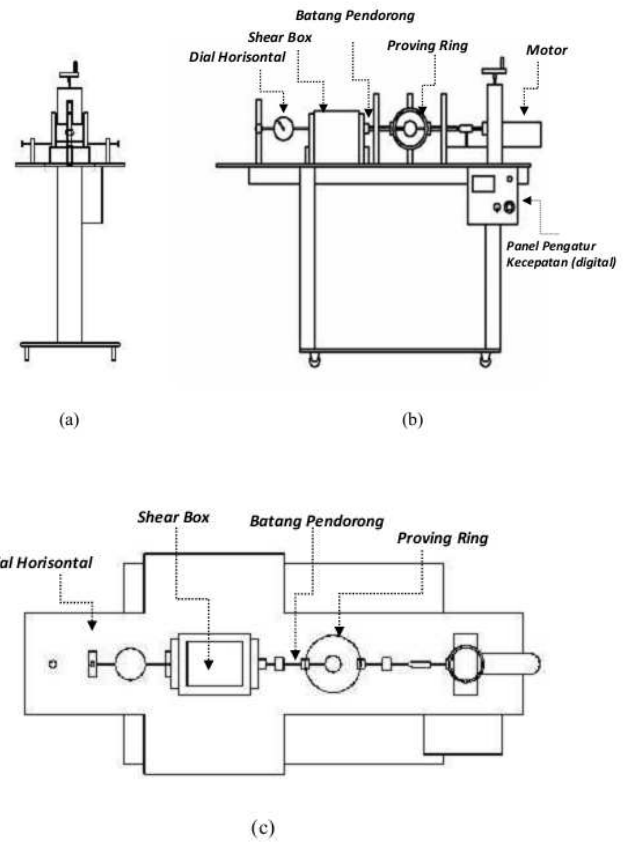
B. Pengujian Tahanan Geser Tanah

Setelah proses pengambilan tanah, dilakukan uji geser tanah maupun tanah-cerucuk dengan menggunakan alat *Direct Shear* yang telah dimodifikasi seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.2. Prosedur pengujian geser mengacu pada hasil penelitian Rusdiansyah (2015). Variasi perlakuan pada benda uji tanah cerucuk adalah spasi (10 kali diameter, 15 kali diameter), diameter (2 mm dan 2.5 mm), rasio panjang tancap (22, 24, 28), jumlah pemasangan (1x2, 1x3, 1x5), dan pola pemasangan (2x3, 3x2)

Pengujian geser tidak hanya menghasilkan nilai gaya maksimum yang mampu ditahan (P_{max}), namun juga nilai *Cohesi Undrained* atau C_u . Dengan menganggap sudut geser (θ) sama dengan nol, maka nilai tegangan geser (τ) yang terjadi sama dengan nilai C_u . Hasil dari pengujian geser tanpa cerucuk dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 untuk pengujian dengan berbagai variasi perlakuan.

Nilai P_{max} pada sampel tanah-cerucuk masih merepresentasikan besarnya gaya yang mampu ditahan oleh cerucuk dan tanah itu sendiri. Untuk mengetahui kemampuan 1 batang cerucuk dalam menerima gaya geser, nilai P_{max} sampel tanah-cerucuk dikurangi dengan P_{max} sampel tanah tanpa

cerucuk kemudian dibagi dengan jumlah cerucuk yang ditancap. Nilai ini disebut ΔP 1 cerucuk. Perhitungan ΔP 1 cerucuk, dapat dilihat pada Tabel 3.5.



Gambar 3. Alat uji Geser Modifikasi (Rusdiansyah,2015) [4]

Tabel 3. P_{max} dan τ yang terjadi pada sampel variasi tanah-cerucuk

No	Sampel	Load Ring Dial Reading	P_{max}	τ	C_u
		div			
1	i	9.2	21.914	0.0797	0.0753021
2	ii	6.5	15.539	0.0540	0.0539545
3	iii	6.9	16.495	0.0573	0.0572748
4	iv	6.9	16.495	0.0567	0.0566843

Tabel 4. P_{max} dan τ yang terjadi pada sampel variasi tanah-cerucuk

No	Sampel	Load Ring Dial Reading	P_{max}	τ	C_u cerucuk
		div			
1	1x3,2,5.10D.22 (Spasi 10D I)	9.5	22.711	0.0797	0.079686667
2	1x3,2,5.10D.22 (Spasi 10D III)	9	21.515	0.0755	0.07549
3	1x3,2,5.15D.22 (Spasi 15D)	9.0	21.5	0.0763	0.07630
4	1x3,2.18D.27 (D2mm I)	9	21.515	0.0747	0.07471
5	1x3,2.18D.27 (D2mm II)	9	21.515	0.0747	0.07471
6	1x3,2.18D.27 (D2mm III)	9	21.515	0.0755	0.07549
7	1x3,2,5.15D.22 (D2,5mm)	9.5	22.711	0.0763	0.07630
8	1x3,2,5.10D.22 (L/D = 22)	9.5	22.711	0.0797	0.07969
9	1x3,2,5.10D.24 (L/D = 24 I)	10.2	24.384	0.0856	0.08556
10	1x3,2,5.10D.24 (L/D = 24 III)	9.2	21.994	0.0764	0.07637
11	1x3,2,5.10D.28 (L/D = 28)	11	26.297	0.0913	0.09131
12	1x2,2,5.10D.22 (Jumlah 1x2)	9	21.515	0.0763	0.07630
13	1x3,2,5.10D.22 (Jumlah 1x3)	9	21.515	0.0754926	0.07549
14	1x5,2,5.10D.22 (Jumlah 1x5 I)	11.2	26.775	0.0939	0.09395
15	1x5,2,5.10D.22 (Jumlah 1x5 II)	8	19.125	0.0693	0.06929
16	1x5,2,5.10D.22 (Jumlah 1x5 III)	10.9	26.058	0.0914	0.09143
17	2x3,2,5.10D.22 (Pola 2x3)	9.1	21.754	0.0771	0.07714
18	3x2,2,5.10D.22 (Pola 3x2)	7.7	18.408	0.0682	0.06818

Tabel 5.
ΔP I cerucuk

No	Sampel	Pmax	Pmax tanpa cerucuk	ΔP	Jumlah cerucuk	ΔP I cerucuk
		kg	kg	kg		kg
1	1x3,2,5.10D.22 (Spasi 10D I)	22.711	21.914	0.797	3	0.266
2	1x3,2,5.10D.22 (Spasi 10D III)	21.515	15.539	5.977	3	1.992
3	1x3,2,5.15D.22 (Spasi 15D)	21.5	16.495	5.020	3	1.673
4	1x3,2.18D.27 (D2mm I)	21.515	15.539	5.977	3	1.992
5	1x3,2.18D.27 (D2mm II)	21.515	15.539	5.977	3	1.992
6	1x3,2.18D.27 (D2mm III)	21.515	15.539	5.977	3	1.992
7	1x3,2,5.15D.22 (D2,5mm)	22.711	16.495	6.216	3	2.072
8	1x3,2,5.10D.22 (L/D = 22)	22.711	21.914	0.797	3	0.266
9	1x3,2,5.10D.24 (L/D = 24 I)	24.384	16.495	7.889	3	2.630
10	1x3,2,5.10D.24 (L/D = 24 III)	21.994	16.495	5.498	3	1.833
11	1x3,2,5.10D.28 (L/D = 28)	26.297	16.495	9.801	3	3.267
12	1x2,5.10D.22 (Jumlah 1x2)	21.515	16.495	5.020	2	2.510
13	1x3,2,5.10D.22 (Jumlah 1x3)	21.515	15.539	5.977	3	1.992
14	1x5,2,5.10D.22 (Jumlah 1x5 I)	26.775	16.495	10.280	5	2.056
15	1x5,2,5.10D.22 (Jumlah 1x5 II)	19.125	16.495	2.630	5	0.526
16	1x5,2,5.10D.22 (Jumlah 1x5 III)	26.058	16.495	9.562	5	1.912
17	2x3,2,5.10D.22 (Pola 2x3)	21.754	16.495	5.259	6	0.877
18	3x2,2,5.10D.22 (Pola 3x2)	18.408	16.495	1.912	6	0.319

C. Perhitungan Rasio Plab/Panalitis

Plab merupakan besarnya gaya yang dapat ditahan oleh cerucuk berdasarkan uji geser di laboratorium atau bisa disebut sebagai ΔP I cerucuk. Besarnya Plab bergantung pada variasi perlakuan sampel tanah-cerucuk. Sedangkan Panalitis merupakan besarnya gaya geser yang mampu ditahan cerucuk yang didapat dari perhitungan menggunakan rumus NAFVAC DM-7. Nilai rasio Plab dengan Panalitis menunjukkan besarnya peningkatan tahanan geser tanah pada pengujian di Laboratorium akibat adanya variasi perlakuan cerucuk dibandingkan dengan perhitungan teori. Hasil perhitungan Panalitis dan rasio Plab/Panalitis untuk masing-masing perlakuan ditampilkan pada Tabel 6.

IV. ANALISA DATA

A. Pengaruh Jarak Pemasangan Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah

Jarak pemasangan cerucuk yang digunakan pada penelitian adalah 10 kali diameter (10D) dan 15 kali diameter (15D). Dengan diameter sebesar 2.5 mm maka jarak 10D sama dengan 25 mm dan 15D sama dengan 37.5 mm

Hasil dari permodelan persamaan ditunjukkan oleh Gambar 4. Grafik tersebut diperoleh dari rasio Plab S/D ≠ 5 dengan S/D = 5, sehingga pada S/D = 5 nilai rasionya 1. Pola yang ditunjukkan menurun pada nilai rasio spasi dengan diameter (S/D) lebih dari 5. Hal ini disebabkan karena semakin besar spasi atau semakin renggang pemasangan cerucuk, maka cerucuk akan berperilaku sebagai tiang tunggal yang tidak terikat oleh sesamanya. Kondisi ini mengakibatkan semua gaya yang terjadi akan dipikul oleh satu cerucuk itu sendiri, bukan dibagi rata dengan cerucuk yang lain.

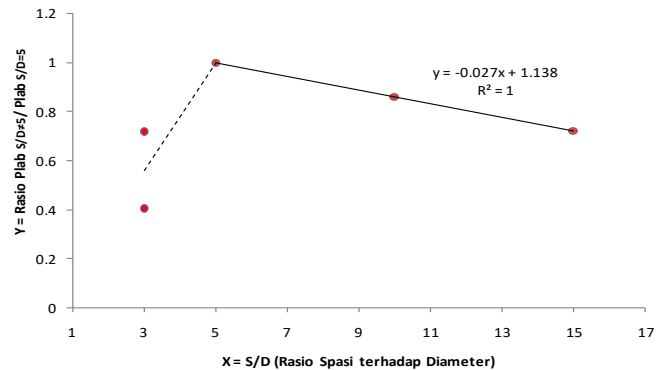
B. Pengaruh Diameter Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah

Diameter yang digunakan pada penelitian ini adalah diameter 2 mm dan 2,5 mm dengan jarak pemasangan 15D dan rasio panjang tancap terhadap diameter adalah 22.

Tabel 6.
Perhitungan Panalitis dan rasionya

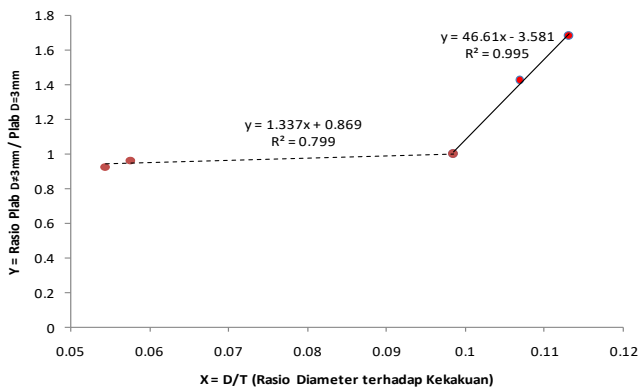
No.	Nama Sampel	Jumlah cerucuk	D	L	I	Cu	qu	qu	f	f
			cm	cm	cm	kg/cm2	kg/cm2	TSF	TSF	kg/cm3
1	1x3,2,5.10D.22	3	0.25	5.5	0.0001917	0.0753	0.1506	0.1541	1.5415	0.049
2	1x3,2,5.10D.22	3	0.25	5.5	0.0001917	0.0540	0.1079	0.1104	1.10449	0.035
3	1x3,2,5.15D.22	3	0.25	5.5	0.0001917	0.0573	0.1145	0.1172	1.17246	0.038
4	1x3,2.15D.22	3	0.2	5.5	0.0000785	0.0540	0.1079	0.1104	1.10449	0.035
5	1x3,2.15D.22	3	0.2	5.5	0.0000785	0.0540	0.1079	0.1104	1.10449	0.035
6	1x3,2.15D.22	3	0.2	5.5	0.0000785	0.0540	0.1079	0.1104	1.10449	0.035
7	1x3,2,5.15D.22	3	0.25	5.5	0.0001917	0.0573	0.1145	0.1172	1.17246	0.038
8	1x3,2,5.10D.22	3	0.25	5.5	0.0001917	0.0753	0.1506	0.1541	1.5415	0.049
9	1x3,2,5.10D.24	3	0.25	6	0.0001917	0.0573	0.1145	0.1172	1.17246	0.038
10	1x3,2,5.10D.24	3	0.25	6	0.0001917	0.0573	0.1145	0.1172	1.17246	0.038
11	1x3,2,5.10D.28	3	0.25	7	0.0001917	0.0573	0.1145	0.1172	1.17246	0.038
12	1x2,5.10D.22	2	0.25	5.5	0.0001917	0.0567	0.1134	0.1160	1.16038	0.037
13	1x3,2,5.10D.22	3	0.25	5.5	0.0001917	0.0540	0.1079	0.1104	1.10449	0.035
14	1x5,2,5.10D.22	5	0.25	5.5	0.0001917	0.0567	0.1134	0.1160	1.16038	0.037
15	1x5,2,5.10D.22	5	0.25	5.5	0.0001917	0.0567	0.1134	0.1160	1.16038	0.037
16	1x5,2,5.10D.22	5	0.25	5.5	0.0001917	0.0567	0.1134	0.1160	1.16038	0.037
17	2x3,2,5.10D.22	6	0.25	5.5	0.0001917	0.0567	0.1134	0.1160	1.16038	0.037
18	3x2,2,5.10D.22	6	0.25	5.5	0.0001917	0.0567	0.1134	0.1160	1.16038	0.037

No.	Nama Sampel	E	T	L/T	Fm	Mp	Panalitis	ΔPlab 1 cerucuk	Ratio
		kg/cm2	cm			kg.cm	kg	kg	Plab/Pan
1	1x3,2,5.10D.22	298406.08	4.101	1.341	1	4.960	1.209	0.2656	0.220
2	1x3,2,5.10D.22	298406.08	4.384	1.255	1	4.960	1.131	1.9922	1.761
3	1x3,2,5.15D.22	298406.08	4.332	1.270	1	4.960	1.145	1.6734	1.461
4	1x3,2.15D.22	298406.08	3.667	1.500	1	2.489	0.679	1.9922	2.935
5	1x3,2.15D.22	298406.08	3.667	1.500	1	2.489	0.679	1.9922	2.935
6	1x3,2.15D.22	298406.08	3.667	1.500	1	2.489	0.679	1.9922	2.935
7	1x3,2,5.15D.22	298406.08	4.332	1.270	1	4.960	1.145	2.0719	1.809
8	1x3,2,5.10D.22	298406.08	4.101	1.341	1	4.960	1.209	0.2656	0.220
9	1x3,2,5.10D.24	298406.08	4.332	1.385	1	4.960	1.145	2.6297	2.296
10	1x3,2,5.10D.24	298406.08	4.332	1.385	1	4.960	1.145	1.8328	1.601
11	1x3,2,5.10D.28	298406.08	4.332	1.616	1	4.960	1.145	3.2672	2.853
12	1x2,5.10D.22	298406.08	4.341	1.267	1	4.960	1.143	2.5101	2.197
13	1x3,2,5.10D.22	298406.08	4.384	1.255	1	4.960	1.131	1.9922	1.761
14	1x5,2,5.10D.22	298406.08	4.341	1.267	1	4.960	1.143	2.0559	1.799
15	1x5,2,5.10D.22	298406.08	4.341	1.267	1	4.960	1.143	0.5259	0.460
16	1x5,2,5.10D.22	298406.08	4.341	1.267	1	4.960	1.143	1.9125	1.674
17	2x3,2,5.10D.22	298406.08	4.341	1.267	1	4.960	1.143	0.8766	0.767
18	3x2,2,5.10D.22	298406.08	4.341	1.267	1	4.960	1.143	0.3187	0.279



Gambar 4. Perumusan persamaan variasi jarak pemasangan cerucuk

Pembagi masing-masing Plab pada variasi diameter untuk menentukan perumusan persamaan akibat diameter cerucuk adalah Plab pada diameter sama dengan 3 mm. Grafik hasil perhitungan rasio $Plab_{D=3mm} / Plab_{D=3mm}$ ditampilkan pada Gambar 5. Nilai rasio yang semakin menurun dengan D/T yang semakin kecil menunjukkan bahwa semakin kecil diameter maka kekakuan bahan cerucuk juga akan semakin menurun sehingga gaya geser yang mampu diterima juga semakin kecil.

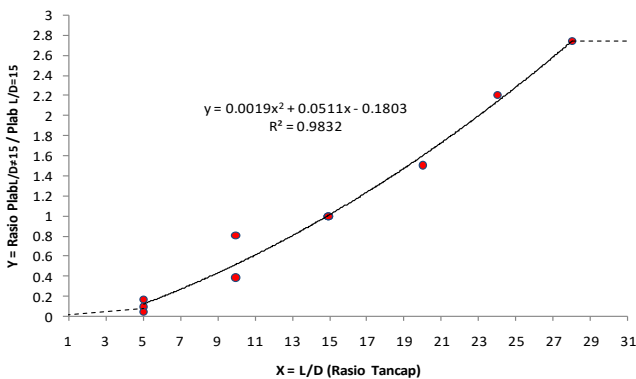


Gambar 5. Perumusan persamaan variasi diameter cerucuk

C. Pengaruh Panjang Tancap Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah

Rasio panjang tancap cerucuk terhadap diameter (L/D) yang digunakan adalah 22, 24, dan 28. Diameter yang digunakan adalah 2.5 mm maka panjang tancap berturut-turut adalah 55mm, 60 mm, dan 70 mm.

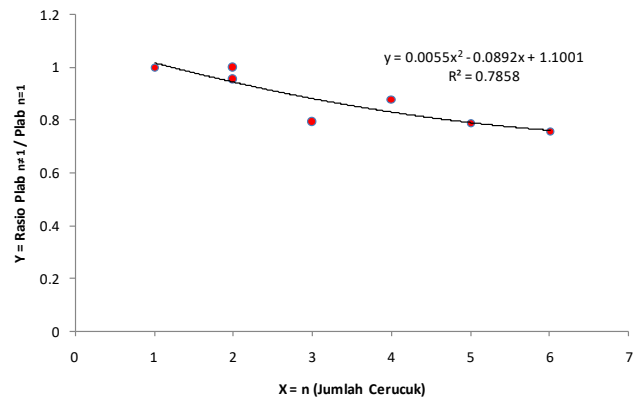
Pada penelitian sebelumnya ditentukan Plab 1 cerucuk pembagi adalah Plab untuk L/D=15. Grafik yang menunjukkan rasio $Plab_{L/D \neq 15} / Plab_{L/D=15}$ ditunjukkan oleh Gambar 6. Grafik mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya nilai L/D. Hal ini menunjukkan bahwa semakin panjang penancapan cerucuk dibawah garis kelongsoran, defleksi yang terjadi semakin kecil sehingga kekuatan cerucuk untuk menerima gaya geser lebih besar.



Gambar 6. Perumusan persamaan variasi rasio panjang tancap cerucuk

D. Pengaruh Jumlah Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah

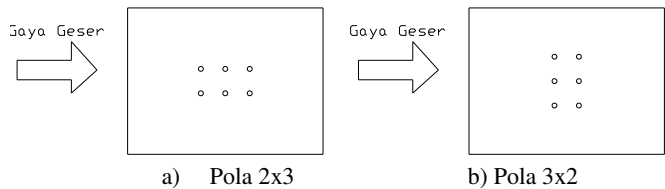
Gambar 7 menunjukkan grafik Rasio Plab untuk jumlah tidak 1 cerucuk dengan Plab pada jumlah sama dengan 1cerucuk. Grafik ini juga bisa disebut sebagai faktor efisiensi tiang. Pola grafik menunjukkan pola menurun. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin banyak tiang yang dipasang, semakin sedikit gaya yang akan ditahan oleh cerucuk tersebut karena gaya yang terjadi akan dibagi rata dengan banyaknya cerucuk yang dipasang.



Gambar 7. Perumusan persamaan variasi jumlah cerucuk

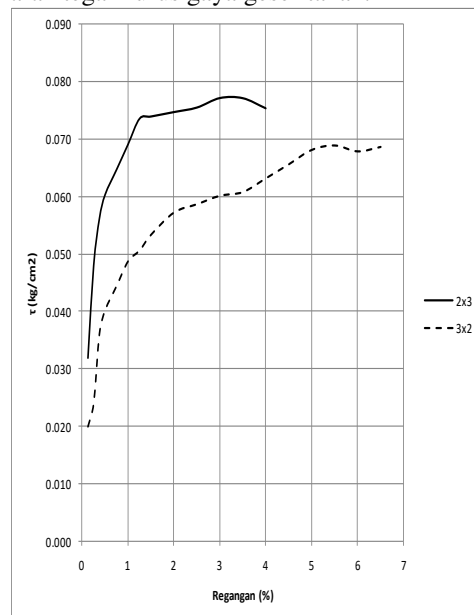
E. Pengaruh Pola Pemasangan Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah

Perlakuan pola pemasangan pada benda uji ditujukan untuk mengetahui pola yang efektif dalam menerima gaya geser tanah. Variasi pola pemasangan penelitian saat ini masih sama Arah gaya geser diilustrasikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Pola Pemasangan terhadap arah gaya geser

Gambar 9 menunjukkan grafik tegangan regangan pola pemasangan 2x3 dan 3x2. Dapat disimpulkan bahwa pada regangan yang sama nilai tegangan geser yang mampu dipikul oleh pola 2x3 lebih besar dibandingkan dengan pola 3x2. Hal ini mengindikasikan bahwa penempatan jumlah cerucuk lebih banyak pada arah sejajar gaya geser akan meningkatkan tahanan tanah lebih maksimal disbanding dengan pemasangan arah tegak lurus gaya geser tanah.



Gambar 9. Grafik tegangan regangan pola pemasangan

F. Usulan Model Persamaan Tambahan pada Rumus Cerucuk 2015

Tabel 7.
Usulan Perumusan

Variasi Cerucuk	Rata-rata Plab / Panalitis	FORMULA REGRESI
Rasio Tancap	2.095	$X_t < 28, Y_t = 0.001(X_t^2) + 0.051(X_t) - 0.180$ $X_t \geq 28, Y_t = 2.745$
Spasi		$X_s < 5, Y_s = 0.220(X_s) - 0.101$ $X_s = 5, Y_s = 1$ $X_s > 5, Y_s = -0.027(X_s) + 1.138$
Jumlah		$Y_n = 0.0055(X_n^2) - 0.0892(X_n) + 1.1001$
Diameter		$X_d < 0.098, Y_d = 1.337(X_d) + 0.869$ $X_d = 0.098, Y_d = 1$ $X_d > 0.098, Y_d = 46.61(X_d) - 3.581$

Tabel 7 merupakan perumusan faktor koreksi gabungan. Sehingga rumus cerucuk Mochtar (2000) dapat ditulis sebagai:

$$P_{\max(1\text{cerucuk})} = \frac{M_{p\max(1\text{cerucuk})}}{I_m \times T} \times F_{kg}$$

Dimana:

$$F_{kg} = 2.095 \times Y_t \times Y_d \times Y_s \times Y_n$$

Fkg = faktor koreksi gabungan

$P_{\max 1\text{cerucuk}}$ = gaya horizontal maksimum yang diterima cerucuk (kg)

$M_{p\max}$ = momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat P (kg.cm)

F_m = koefisien momen akibat gaya lateral P (dari kurva NAVFAC DM-7)

T = Faktor kekakuan relative (cm) dari kurva NAVFAC DM-7

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Uji lentur pada cerucuk menghasilkan nilai modulus elastisitas
2. sebesar 29243.8 N/mm² dengan standar deviasi sebesar 11%. Uji sifat fisik dari tanah menunjukkan tanah yang berjenis lempung dengan nilai berat volume 1.345 t/m³ dan kadar air 100%
3. Hasil pengujian geser cerucuk dengan variasi perlakuan spasi mengindikasikan bahwa semakin renggang pemasangan cerucuk, maka semakin kecil pula kemampuan cerucuk untuk menahan gaya geser. Persamaan yang diperoleh $X_s < 5, Y_s = 0.220(X_s) - 0.101, X_s = 5, Y_s = 1, X_s > 5, Y_s = -0.027(X_s) + 1.138$.
4. Hasil pengujian geser cerucuk dengan variasi perlakuan diameter cerucuk mengindikasikan bahwa semakin besar rasio diameter dengan kekakuan bahan, maka semakin besar pula kemampuan cerucuk untuk menahan gaya geser. Persamaan yang diperoleh $X_d < 0.098, Y_d = 1.337(X_d) + 0.869, X_d = 0.098, Y_d = 1, X_d > 0.098, Y_d = 46.616(X_d) - 3.581$.
5. Hasil pengujian geser cerucuk dengan variasi perlakuan rasio tancap cerucuk mengindikasikan bahwa semakin besar rasio tancap terhadap diameter, maka semakin besar pula kemampuan cerucuk untuk menahan gaya geser. Persamaan yang diperoleh $X_t < 28, Y_t = 0.001(X_t^2) + 0.051(X_t) - 0.180$, dan untuk $X_t \geq 28, Y_t = 2.745$

6. Hasil pengujian geser cerucuk dengan variasi perlakuan jumlah cerucuk mengindikasikan bahwa semakin banyak cerucuk yang dipasang, maka semakin kuat perkuatan pada lereng tersebut. Persamaan yang diperoleh $Y_n = 0.0055(X_n^2) - 0.0892(X_n) + 1.1001$
7. Pola pemasangan yang lebih efisien adalah jumlah cerucuk arah sejajar gaya geser. Karena pada pola tersebut, tahanan tanah yang diirikan oleh cerucuk akan lebih maksimal dibandingkan dengan pola tegak lurus terhadap gaya geser.
8. Koefisien pengali yang dihasilkan adalah 2.095.

B. Saran

Setelah dilakukan analisis penelitian, penulis memberikan saran yaitu:

1. Perlu diadakan penelitian lanjut dengan jumlah benda uji yang lebih banyak pada setiap variasi perlakuan agar bisa lebih valid dalam perumusan persamaan statistic.
2. Perbandingan perumusan perlu diperluas dengan metode yang lebih beragam, untuk mengetahui tingkat ketidaksamaan hasil perhitungan.
3. Perlu dilakukan perbaikan dalam analisa perumusan menggunakan program bantu yang lebih beragam. Agar antara hasil penelitian di Laboratorium bisa mendekati hasil perumusan menggunakan program bantu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Firat, Seyhan. 2009. **Review Stability Analysis of Pile-Slope System**. Turkey: Sakarya University
- [2] Mochtar, I. B dan Arya I.W., 2002, **Pengaruh penambahan cerucuk terhadap peningkatan kuat geser tanah lunak pada permodelan di Laboratorium**, Tesis Bidang Geoteknik, Program Studi teknik Sipil, Program Pascasarjana ITS Surabaya
- [3] NAVFAC DM-7, 1971, **Design Manual, Soil Mechanics, Foundation and Earth Structures**, Dept. Of the Naval Facilities Engineering Command, Virginia, USA
- [4] Rusdiansyah. 2015. **Mekanisme Peningkatan Tahanan Geser Tanah Lunak Akibat Adanya Cerucuk Berdasarkan Permodelan Empiris di Laboratorium**. Jurusan Teknik Sipil ITS