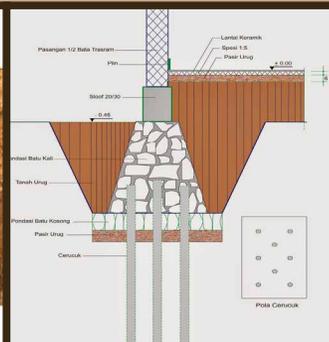
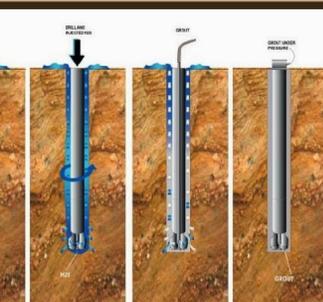




Dr. Ir. Rusdiansyah, ST., MT., IPM, ASEAN Eng.

Peningkatan Tahanan Geser TANAH KOHESIF dengan Menggunakan METODE CERUCUK





Peningkatan Tahanan Geser Tanah Kohesif dengan Menggunakan Metode Cerucuk

Dr. Ir. Rusdiansyah, ST, MT., IPM, ASEAN Eng.

Peningkatan Tahanan Geser Tanah Kohesif dengan Menggunakan Metode Cerucuk

Penyusun: Dr. Ir. Rusdiansyah, ST., MT., IPM, ASEAN Eng.

Penyunting: Aep Syaiful Hamidin
Penata Sampul: Rifqi Zulfiqor
Penata Aksara: Mutiara A.P

Penerbit:

MANGGU MAKMUR TANJUNG LESTARI

(ANGGOTA IKAPI)

Bandung—Indonesia
www.penerbitmanggu.co.id

2020

140 hlm.; 17,5 cm × 25 cm

ISBN 978-623-7715-96-2

Sanksi Pelanggaran Pasal 113 Undang-Undang
Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta

1. Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf i untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000,00 (seratus juta rupiah).
2. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan atau tanpa izin pencipta atau pemegang hak cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan atau huruf h, untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan atau tanpa izin pencipta atau pemegang hak melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan atau huruf g, untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

©Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Diterbitkan oleh Penerbit Manggu Makmur Tanjung Lestari

Bandung, 2020

Pengantar Penerbit

Pergeseran atau gerakan tanah merupakan salah satu bencana yang kerap terjadi di Indonesia terutama di daerah perbukitan dan pegunungan. Jumlah penduduk yang tinggal di (daerah) bahaya sedang sampai tinggi (dari longsor) ini 40,9 juta jiwa. Data BNPB, ada tiga provinsi yang paling sering terjadi tanah longsor, yakni, Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Banten. Ditambah lagi dengan perkembangan penduduk Indonesia yang bertambah sangat cepat. Akibatnya, pemukiman penduduk Indonesia mulai bergeser ke wilayah-wilayah dataran tinggi yang tekstur tanahnya miring. Bencana alam yang terjadi akan semakin meningkat dengan semakin meningkatnya aktivitas pembukaan lahan untuk kegiatan yang tidak sesuai peruntukannya.

Buku yang sedang anda baca ini, membahas mengenai cara penanggulangan atas risiko tersebut. Di dalamnya di bahas mengenai teknik dan metode dalam merancang dan membangun sebuah bangunan dan jalan serta fasilitas-fasilitas umum agar pergeseran tanah bisa dihindari. Dalam buku ini juga dibahas mengenai penilaian dan pemetaan risiko bencana serta jenis-jenis tanah yang ada di Indonesia. Sehingga metode cerucuk yang akan digunakan di sesuaikan dengan jenis tanah, agar penggunaan cerucuk dapat berfungsi secara maksimal. Semua metode tersebut dibahas secara lengkap dan rinci dalam buku ini.

Buku ini sangat cocok bagi anda para akademisi dan praktisi sebagai rujukan dalam pengembangan dan penerapan metode cerucuk. Begitu juga bagi anda para mahasiswa, buku ini sangat cocok menambah wawasan dan memperkuat keahlian. Buku ini membahas secara rinci dan lengkap mengenai metode cerucuk dengan penyajian logis dan sederhana.

Selamat membaca...!!!

Redaksi

Kata Pengantar

Bismilahirrahmanirrahim

Allhamdulillah, atas kehendak dan pertolongan Allah SWT., penulis dapat menyelesaikan penulisan buku tentang “Peningkatan Tahanan Geser Tanah Kohesif dengan Menggunakan Metode Cerucuk”. Shalawat dan salam semoga tetap senantiasa dilimpahkan kepada nabi Muhammad SAW. beserta seluruh keluarga dan sahabatnya.

Buku ini membahas mengenai rawannya terjadi pergeseran tanah yang tersebar di sebagian wilayah Indonesia, mengenalkan kepada pembaca tentang berbagai jenis tanah, dan pengaruh besar metode cerucuk terhadap tahanan geser tanah. Karena Indonesia merupakan negara yang rawan terhadap bencana termasuk bencana geologis. Salah satu bencana geologis yang sering terjadi adalah gerakan atau pergeseran tanah.

Penulis menyadari bahwa penulisan buku ini masih jauh dari kata sempurna, dan masih banyak kekurangan. Untuk itu, semua guna perbaikan kedepan, penulis mengharapkan kritik saran konstruktif dari semua pembaca. Mudah-mudahan penyusunan buku manajemen pendidikan Islam ini mendapat ridha Allah Swt., serta kita semua dapat mengambil manfaat keilmuan yang terdapat di dalamnya.

Wassalamualaikum Wr. Wb

Penyusun

Daftar Isi

Pengantar Penerbit	iii
Kata Pengantar.....	iv
Daftar Isi	v
Bab 1	
Sebagian Besar Wilayah Indonesia Rawan Terjadinya Pergeseran Tanah	1
A. Pengenalan Gerakan Tanah	2
1. Pengertian Tanah Longsor.....	2
2. Proses dan Penyebab Terjadinya Longsor	3
3. Jenis Tanah Longsor	8
B. Letak Geografis Memaksa Dijadikan sebagai Pemukiman dan Fasilitas Umum	10
C. Keruntuhan Dinding Penahan Tanah dan Mitigasi Lereng	12
Bab 2	
Mengenal Jenis-jenis Tanah Di Indonesia.....	14
A. Tanah Aluvial	15
B. Tanah Andosol.....	18
C. Tanah Entisol	20
D. Tanah Grumusol	23
E. Tanah Humus.....	24
F. Tanah Inceptisol	27
G. Tanah Laterit.....	28
H. Tanah Latosol	30
I. Tanah Litosol	31
J. Tanah Kapur	33
K. Tanah Mergel	34
L. Tanah Organosol	35

M. Tanah Oxisol.....	36
N. Tanah Padas	37
O. Tanah Pasir	39
P. Tanah Podsol.....	40
Q. Tanah Podsolik Merah Kuning	41
R. Tanah Liat	43
1. Tanah Liat Primer.....	45
2. Tanah Liat Sekunder.....	45

Bab 3

Metode Cerucuk Sudah Dikenal Masyarakat Indonesia Sejak Lama	47
A. Model Cerucuk yang Berkembang di Masyarakat	47
B. Kelemahan Penggunaan Turap dalam Mengatasi Kelongsoran Lereng.....	52
C. Perlunya Teori Cerucuk yang Relevan untuk Mengatasi Kelongsoran Lereng.....	54

Bab 4

Perkembangan Teori Cerucuk.....	58
A. Gaya Cerucuk Penahan Gaya Geser Longsoran Lereng Teori Mochtar (2000) dan Teori Mochtar dan Arya (2002) Berdasarkan NAVFAC DM-7	58
B. Parameter yang Mempengaruhi Faktor Keamanan (SF) Stabilitas Lereng yang diperkuat dengan Cerucuk.....	63

Bab 5

Desain Pondasi Cerucuk	69
A. Pondasi Cerucuk Cakar Ayam.....	69
B. Pondasi Cerucuk Kayu Galam.....	74
C. Pondasi Cerucuk Bambu.....	78
1. Metode <i>Butt Treatment</i>	78

2. Metode Tangki Terbuka.....	78
3. Metode Kimia Sederhana	79

Bab 6

Tahapan Pengujian Metode Cerucuk yang Digunakan dengan Jenis Tanah	82
A. Modifikasi Alat Uji Geser Langsung	82
B. Pembuatan dan Pengujian Model Cerucuk.....	87
C. Survey Lokasi dan Pengambilan Sampel Tanah	88
D. Hasil Pengujian Laboratorium	90
1. Alat Uji Geser Tanah–Cerucuk.....	90
2. Hasil Pengujian Tanah <i>Undisturbed</i>	92
3. Uji Tarik dan Lentur Model Cerucuk Mini.....	92

Bab 7

Pengaruh Model Cerucuk Yang Digunakan dalam Peningkatan Tahanan Geser Tanah.....	94
A. Pengaruh Panjang Tancapan Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah.....	94
B. Pengaruh Spasi Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah.....	97
C. Pengaruh Jumlah Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah.....	100
D. Pengaruh Diameter Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah.....	102
E. Pengaruh Posisi Tancap Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah.....	104
F. Pengaruh Pola Pemasangan Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah.....	107

G. Pengaruh Jenis Tanah terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah ..
109

Bab 8

Menghitung Tahanan Geser Tanah dengan Adanya Cerucuk.....	111
A. Usulan Model Persamaan Peningkatan Tahanan Geser Tanah Akibat Adanya Cerucuk.....	111
B. Keandalan Model Persamaan Peningkatan Tahanan Geser Tanah Akibat Adanya Cerucuk.....	114
Daftar Pustaka.....	120
Indeks.....	129
Biodata Penulis	130

Bab 1

Sebagian Besar Wilayah Indonesia Rawan Terjadinya Pergeseran Tanah

Indonesia merupakan negara yang rawan terhadap bencana termasuk bencana geologis. Salah satu bencana geologis yang sering terjadi adalah gerakan atau pergeseran tanah. Bencana ini memiliki sebaran lokasi kejadian lebih luas dan frekuensi lebih besar dibandingkan dengan bencana geologi lainnya, seperti: gempa bumi, tsunami, dan letusan gunung berapi. Namun begitu, bencana akibat gerakan tanah ini memiliki dampak yang relatif lebih kecil.

Pergeseran atau gerakan tanah merupakan salah satu bencana yang kerap terjadi di Indonesia terutama di daerah perbukitan dan pegunungan. Sebagaimana dilansir <https://www.voaindonesia.com/> yang dimuat pada 03 Januari 2019, dalam jumpa pers di kantornya, Rabu (2/1), Kepala Pusat Data Informasi dan Hubungan Masyarakat Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) Sutopo Purwo Nugroho menjelaskan, daerah rawan bencana di Indonesia tersebar merata di seluruh Indonesia, terutama di dataran tinggi, perbukitan dan pegunungan. Menurut Sutopo, daerah rawan longsor ini berada di sepanjang Bukit Barisan, Aceh sampai Lampung. Kemudian di Jawa bagian tengah dan selatan, Bali, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, sebagian besar Sulawesi, Kalimantan terutama bagian utara, dan Papua.

Sutopo menuturkan bahwa, jumlah penduduk yang tinggal di (daerah) bahaya sedang sampai tinggi (dari longsor) ini 40,9 juta jiwa. Tidak mungkin 40,9 juta kita pindahkan, mereka sudah terlanjur di sini. Ke depan, jangan sampai nambah jumlah penduduk tinggal di daerah rawan bencana tapi kita

kurangi. Dan, 40,9 juta tadi tugas pemerintah dan pemerintah daerah melindungi mereka agar ketika terjadi bencana tidak timbul korban.

Berdasarkan data BNPB, ada tiga provinsi yang paling sering terjadi tanah longsor, yakni, Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Banten. Di Jawa barat, bahaya longsor tersebar di kabupaten Bogor, Purwakarta, Bandung, Sumedang, Cianjur, Sukabumi. Begitu ada curah hujan cukup deras maka potensi untuk terjadinya tanah longsor cukup tinggi. Sementara di Jawa Tengah daerah rawan longsor terdapat di Kabupaten Purbalingga, Banjarnegara, Kebumen, Tegal, Semarang, dan sebagainya.

Untuk mengantisipasi bencana dan mengurangi jumlah korban ke depan, BNPB telah memberikan sejumlah rekomendasi, yakni implementasi penataan dan pemanfaatan tata ruang, pengurangan risiko bencana harus menjadi pengarusutamaan dalam pembangunan nasional dan pembangunan daerah.

Dari terjadinya bencana tanah longsor, tentunya tidak sedikit mengalami kerugian materi di kalangan masyarakat yang terkena bencana tersebut. Bukan sekedar kerugian materi saja, terkadang kerugian jiwa pun tidak dapat terhindarkan. Banyak terjadinya bencana tanah longsor mengakibatkan korban jiwa. Salah satu yang dilakukan oleh BNPB untuk mengurangi kerugian atas terjadinya bencana tanah longsor adalah dengan melakukan mitigasi bencana. Yaitu, dengan melakukan peringatan dini, dan sosialisasi soal bahaya longsor harus ditingkatkan, konservasi di wilayah perbukitan harus mengutamakan penanaman pohon berkara dalam dan mampu menahan longsor.

A. Pengenalan Gerakan Tanah

1. Pengertian Tanah Longsor

Longsor atau sering disebut gerakan tanah adalah suatu peristiwa geologi yang terjadi karena pergerakan masa batuan atau tanah dengan berbagai tipe dan jenis seperti jatuhnya bebatuan atau gumpalan besar tanah. Dalam kamus besar bahasa Indonesia, longsor adalah gugur dan meluncur ke bawah (tentang tanah). Tanah longsor adalah perpindahan material pembentuk le-

reng berupa batuan, bahan rombakan, tanah, atau material campuran tersebut, bergerak ke bawah atau keluar lereng.

Dari beberapa pengertian di atas, dapat disimpulkan bahwa tanah longsor adalah pergerakan material tanah seperti tanah, air dan batuan yang kemudian menuruni lereng yang terjadi apabila faktor pendorong lebih besar dibandingkan dengan faktor penahannya. Tanah longsor sendiri memiliki beberapa fase, yaitu pelepasan, pengangkutan, dan pengendapan.

2. Proses dan Penyebab Terjadinya Longsor

Ada beberapa proses terjadinya longsor yang sering terjadi di beberapa wilayah di Indonesia, yaitu:

1. Proses meresapnya air ke tanah

Proses resapan air hujan ke dalam tanah merupakan peristiwa meresapnya air hujan yang ada di permukaan tanah yang nantinya akan mempengaruhi beban dalam tanah. Jika air hujan tersebut meresap ke dalam tanah terlalu banyak maka tanah akan berada diambang batas maksimal dalam menampung air.

2. Perubahan tekstur tanah

Apabila air yang secara terus-menerus menerjang tanah sampai suatu ketika dapat menembus ke bagian tanah yang kedap air serta berperan sebagai bidang penggelincir maka tanah akan menjadi licin. Tanah yang licin inilah nantinya akan mengalami pergerakan yang amat cepat menuju ke bawah apabila hujan deras terjadi.

3. Tanah mengalami pelapukan

Tanah yang berada di permukaan akan mengalami pelapukan, begitu juga struktur lapisan tanah yang berada di bawahnya begitu sampai dasar dari tanah. Pada peristiwa pelapukan inilah yang nantinya akan menyebabkan tanah bergerak mengikuti lereng dan kemudian keluar lereng sehingga terjadilah tanah longsor.

Secara umum kejadian longsor disebabkan oleh dua faktor, yaitu faktor pendorong dan faktor pemicu. Faktor pendorong adalah faktor-faktor yang

memengaruhi kondisi material sendiri. Sedangkan faktor pemicu adalah faktor yang menyebabkan bergeraknya material tersebut. Meskipun penyebab utama kejadian ini adalah gravitasi yang memengaruhi suatu lereng yang curam, namun ada pula faktor-faktor lainnya yang turut berpengaruh:

1. Erosi yang disebabkan aliran air permukaan atau air hujan, sungai-sungai atau gelombang laut yang menggerus kaki lereng-lereng bertambah curam.
2. Lereng dari bebatuan dan tanah diperlemah melalui saturasi yang diakibatkan hujan lebat.
3. Gempa bumi menyebabkan getaran, tekanan pada partikel-partikel mineral dan bidang lemah pada massa batuan dan tanah yang mengakibatkan longornya lereng-lereng tersebut.
4. Gunung berapi menciptakan simpanan debu yang lengang, hujan lebat dan aliran debu-debu.
5. Getaran dari mesin, lalu lintas, penggunaan bahan-bahan peledak, dan bahkan petir.
6. Berat yang terlalu berlebihan, misalnya dari berkumpulnya hujan atau salju.

Air yang meresap ke dalam tanah akan menambah bobot tanah. Jika air tersebut menembus sampai tanah kedap air yang berperan sebagai bidang gelincir, maka tanah menjadi licin dan tanah pelapukan di atasnya akan bergerak mengikuti lereng dan keluar lereng. Itu merupakan proses terjadinya tanah longsor.

Pada prinsipnya tanah longsor terjadi bila gaya pendorong pada lereng lebih besar daripada gaya penahan. Gaya penahan umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah. Sedangkan gaya pendorong dipengaruhi oleh besarnya sudut lereng, air, beban serta berat jenis tanah batuan.

Ada beberapa penyebab terjadinya tanah longsor, yaitu:

1. Hujan

Tanah longsor biasanya terjadi pada saat pembagian musim hujan. Pada saat musim kemarau biasanya tanah akan menjadi retak karena mengeluarkan penguapan yang sangat banyak. Sedangkan retakan tadi jika musim hujan akan dengan sangat mudah terisi air sehingga tanah menjadi tidak stabil dan lembek dan pada akhirnya dapat menyebabkan pergerakan tanah atau tanah longsor. Oleh karena itu, sangatlah penting untuk menanami pohon karena akar pohon sendiri mampu menahan tanah dan air yang masuk ke dalam tanah sehingga tanah menjadi lebih kuat dan tidak mudah terjadi longsor serta menghindari terjadinya penyebab pencemaran udara dan sebaliknya pada tanah yang tidak banyak ditanami pohon maka kemungkinan untuk terjadi tanah longsor akan semakin besar pula.

2. Lereng terjal

Tanah longsor yang terjadi juga biasanya disebabkan oleh terjalnya lereng yang memiliki kemiringan hampir 180 derajat. Lereng terjal ini biasanya disebabkan karena adanya erosi baik secara alami maupun disengaja oleh manusia.

3. Tanah yang Kurang Padat dan Tebal

Penyebab lain dari adanya tanah longsor adalah material tanah yang kurang padat dan tebal. Ini biasanya terjadi pada jenis tanah lempung yang memiliki kerapatan yang sangat rapat dan akan langsung mengembang jika terisi oleh air sehingga menyebabkan tanah mudah bergerak.

4. Struktur Batuan yang Kurang Kuat

Batuan sedimen yang merupakan hasil dari endapan letusan gunung berapi yang berupa campuran kerikil biasanya tidak memiliki struktur yang kuat. Ini sangat berbahaya karena bisa mengakibatkan terjadinya tanah longsor. Batuan ini juga akan mudah mengalami pelapukan sehingga sangat mudah terjadi longsor apalagi jika batuan

ini berada pada lereng yang terjal maka kemungkinan terjadi longsor akan dua kali lipat lebih tinggi.

5. Jenis Tata Lahan

Penyebab lainnya dari tanah longsor adalah jenis tata lahan yang tidak sesuai karena ini bisa membuat tanah kurang kuat dan kurang stabil. Biasanya yang rawan terjadi bencana tanah longsor adalah lahan yang digunakan untuk persawahan dimana sangat jarang terdapat tanaman yang besar dan kuat sehingga tanah menjadi lemah dan tidak stabil. Hal ini membuat tanah menjadi sangat mudah longsor. Jika anda sedang dalam usaha sawah sebaiknya untuk menanam juga pohon besar juga untuk menahan tanah supaya tidak beralih fungsi.

6. Getaran

Tanah longsor juga bisa terjadi karena adanya getaran. Getaran ini terjadi bisa karena secara natural dari alam misalnya seperti gempa bumi namun juga sangat mungkin terjadi karena ulah manusia, yaitu karena pengeboran tanah dan lainnya. Jadi bagi anda yang ingin melakukan pengeboran tanah sebaiknya untuk melihat kondisi tanah itu sendiri jangan sampai merugikan banyak pihak.

7. Susut muka air danau atau bendungan

Akibat susutnya muka air yang cepat di danau maka gaya penahan lereng menjadi hilang, dengan sudut kemiringan waduk 220 mudah terjadi longsor dan penurunan tanah yang biasanya diikuti oleh retakan.

8. Adanya beban tambahan

Adanya beban tambahan seperti beban bangunan pada lereng, dan kendaraan akan memperbesar gaya pendorong terjadinya longsor, terutama di sekitar tikungan jalan pada daerah lembah. Akibatnya adalah sering terjadinya penurunan tanah dan retakan yang arahnya ke arah lembah.

9. Pengikisan/erosi

Pengikisan banyak dilakukan oleh air sungai ke arah tebing. Selain itu akibat penggundulan hutan di sekitar tikungan sungai, tebing akan menjadi terjal.

10. Adanya material timbunan pada tebing

Untuk mengembangkan dan memperluas lahan pemukiman umumnya dilakukan pemotongan tebing dan penimbunan lembah. Tanah timbunan pada lembah tersebut belum terpadatkan sempurna seperti tanah asli yang berada di bawahnya. Sehingga apabila hujan akan terjadi penurunan tanah yang kemudian diikuti dengan retakan tanah.

11. Bekas longsoran lama

Longsoran lama umumnya terjadi selama dan setelah terjadi pengendapan material gunung api pada lereng yang relatif terjal atau pada saat atau sesudah terjadi patahan kulit bumi. Bekas longsoran lama memiliki ciri:

- Adanya tebing terjal yang panjang melengkung membentuk tapal kuda.
- Umumnya dijumpai mata air, pepohonan yang relatif tebal karena tanahnya gembur dan subur.
- Daerah badan longsor bagian atas umumnya relatif landai.
- Dijumpai longsoran kecil terutama pada tebing lembah.
- Dijumpai tebing-tebing relatif terjal yang merupakan bekas longsoran kecil pada longsoran lama.
- Dijumpai alur lembah dan pada tebingnya dijumpai retakan dan longsoran kecil.
- Longsoran lama ini cukup luas.

12. Adanya bidang diskontinuitas (bidang tidak sinambung)

Bidang tidak sinambung ini memiliki ciri:

- Bidang perlapisan batuan.
- Bidang kontak antara tanah penutup dengan batuan dasar.

- Bidang kontak antara batuan yang retak-retak dengan batuan yang kuat.
- Bidang kontak antara batuan yang dapat melewatkan air dengan batuan yang tidak melewatkan air (kedap air).
- Bidang kontak antara tanah yang lembek dengan tanah yang padat.
- Bidang-bidang tersebut merupakan bidang lemah dan dapat berfungsi sebagai bidang luncuran tanah longsor.

13. Penggundulan hutan

Tanah longsor umumnya banyak terjadi di daerah yang relatif gundul dimana pengikatan air tanah sangat kurang.

14. Daerah pembuangan sampah

Penggunaan lapisan tanah yang rendah untuk pembuangan sampah dalam jumlah banyak dapat mengakibatkan tanah longsor apalagi ditambah dengan guyuran hujan, seperti yang terjadi di Tempat Pembuangan Akhir Sampah Leuwi Gajah di Cimahi. Bencana ini menyebabkan sekitar 120 orang lebih meninggal.

3. Jenis Tanah Longsor

Ada 6 jenis tanah longsor, yakni: longsor translasi, longsor rotasi, pergerakan blok, runtuh batu, rayapan tanah, dan aliran bahan rombakan. Jenis longsor translasi dan rotasi paling banyak terjadi di Indonesia. Sedangkan longsor yang paling banyak memakan korban jiwa manusia adalah aliran bahan rombakan.

1. Longsor translasi

Longsor translasi adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata atau menggelombang landai.

2. Longsor rotasi

Longsor rotasi adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung.

3. Pergerakan blok

Pergerakan blok adalah perpindahan batuan yang bergerak pada bidang gelincir berbentuk rata. Longsor ini disebut juga longsor translasi blok batu.

4. Runtuhan batu

Runtuhan batu terjadi ketika sejumlah besar batuan atau material lain bergerak ke bawah dengan cara jatuh bebas. Umumnya terjadi pada lereng yang terjal hingga menggantung terutama di daerah pantai. Batu-batu besar yang jatuh dapat menyebabkan kerusakan yang parah.

5. Rayapan tanah

Rayapan tanah adalah jenis tanah longsor yang bergerak lambat. Jenis tanahnya berupa butiran kasar dan halus. Jenis tanah longsor ini hampir tidak dapat dikenali. Setelah waktu yang cukup lama longsor jenis rayapan ini bisa menyebabkan tiang-tiang telepon, pohon, atau rumah miring ke bawah.

6. Aliran bahan rombakan

Jenis tanah longsor ini terjadi ketika massa tanah bergerak didorong oleh air. Kecepatan aliran tergantung pada kemiringan lereng, volume dan tekanan air, dan jenis materialnya. Gerakannya terjadi di sepanjang lembah dan mampu mencapai ratusan meter jauhnya. Di beberapa tempat bisa sampai ribuan meter seperti di daerah aliran sungai di sekitar gunung api. Aliran tanah ini dapat menelan korban cukup banyak.

B. Letak Geografis Memaksa Dijadikan sebagai Pemukiman dan Fasilitas Umum

Sebagian wilayah daratan di Indonesia merupakan wilayah perbukitan dan pegunungan. Ditambah lagi dengan perkembangan penduduk Indonesia yang bertambah sangat cepat. Memaksa pertumbuhan pemukiman semakin cepat. Sementara lahan yang ada tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan masyarakat Indonesia atas pemukiman. Tidak heran jika pemukiman penduduk Indonesia mulai bergeser ke wilayah-wilayah dataran tinggi yang memiliki tekstur tanah yang tidak datar (miring). Sebelumnya pemukiman penduduk cukup berkembang di daerah-daerah datar. Sekarang, daerah-daerah tersebut berubah wujud menjadi perkotaan yang memiliki permasalahan di berbagai bidang, termasuk di bidang pemukiman.

Padat penduduk dan kawasan pemukiman kumuh memaksa sebagian masyarakatnya untuk membuat hunian ke pinggir-pinggir kota yang tidak memiliki tekstur tanah yang datar. Secara otomatis, masyarakat akan menggunakan wilayah lereng tersebut sebagai lahan untuk membangun rumah hunian. Yaitu, dengan cara meratakan tanah yang miring seluas bangunan rumah saja dengan membentuk sengkedan. Dengan bergesernya pemukiman penduduk ke wilayah-wilayah perbukitan maka ini menjadikan fungsi lahan dari yang tadinya lahan tersebut sebagai lahan perkebunan atau pertanian, sekarang menjadi lahan pemukiman.

Jumlah penduduk yang semakin bertambah membawa konsekuensi pada bertambahnya permasalahan yang akan dihadapi. Salah satu permasalahan yang merupakan akibat secara langsung berkaitan dengan pertumbuhan maupun persebaran penduduk adalah masalah perumahan dan permukiman. Selain itu, dengan semakin bertambahnya penduduk dan berkembangnya ekonomi suatu wilayah juga menjadi penyebab bertambahnya aktivitas permukiman pada wilayah-wilayah tertentu bahkan pada wilayah yang tidak sesuai. Keberadaan kawasan permukiman pada lahan yang tidak sesuai ini semakin menambah risiko bencana alam.

Bencana alam yang terjadi akan semakin meningkat dengan semakin meningkatnya aktivitas pembukaan lahan untuk kegiatan yang tidak sesuai peruntukannya. Permasalahan Perkembangan suatu wilayah yang semakin pesat memberikan dampak pada peningkatan kebutuhan lahan untuk sarana permukiman dan beraktivitas lainnya. Hal ini mendorong berkembangnya aktivitas pada kawasan yang tidak sesuai peruntukannya sebagai kawasan permukiman. Penggunaan lahan yang tidak sesuai dan tingginya intensitas aktivitas manusia dalam mengubah tata guna lahan akan mempertinggi tingkat risiko pada daerah rawan bencana tanah.

Pulau Jawa merupakan daerah yang memiliki banyak daerah rawan longsor karena tingkat kerusakan hutan lindung di Pulau Jawa sendiri tiap tahunnya mencapai 19.000 Ha selama periode 1992–1999. Pemerintah sebenarnya telah menetapkan kawasan-kawasan lindung termasuk kawasan rawan bencana longsor dalam RTRW Nasional dan menjadi pedoman Pemerintah Daerah dalam menyelenggarakan penataan ruang di wilayahnya.

Semakin berkembangnya pemukiman di wilayah-wilayah perbukitan memaksa pemerintah membangun fasilitas pendukung terhadap aktivitas masyarakat tersebut. Maka jalan dan berbagai kantor pelayanan publik di bangun demi menunjang aktivitas masyarakat dalam memenuhi kebutuhan ekonominya. Karena memang wilayah yang ditempuh merupakan wilayah yang berbukit, maka dalam pembangunan jalan dan gedung-gedung fasilitas publik akan menggunakan lahan yang juga tidak datar. Yaitu, dengan membuat sengkedan-sengkedan di tanah-tanah miring. Hal ini membuat jalan dan gedung tersebut rawan terhadap adanya pergeseran tanah yang akan mengakibatkan longsor. Oleh sebab itu, harus dipikirkan cara penanggulangan atas risiko tersebut. Di sini perlunya teknik dan metode dalam merancang dan membangun sebuah bangunan dan jalan serta fasilitas-fasilitas umum agar pergeseran tanah bisa dihidari.

C. Keruntuhan Dinding Penahan Tanah dan Mitigasi Lereng

Pada saat medan atau tanah yang akan dijadikan bangunan rumah atau dilalui jalan memiliki posisi kemiringan (tidak datar), tanah tersebut tentunya akan diratakan dengan cara sebagian badan tanah dikeruk dan sebagian badan tanah diurug. Untuk menahan urugan tanah agar tanah permukaan rata maka menggunakan dinding penahan tanah (DPT).

Konstruksi penahan agar tanah tidak longsor umumnya menggunakan dinding dengan bahan pasangan batu kali atau beton. Konstruksi dinding penahan ini digunakan untuk tebing yang curam atau mendekati tegak.

Penggunaan dinding penahan tanah juga digunakan untuk daerah khusus seperti suatu jalan dibangun berbatasan dengan sungai, danau atau tanah rawa. Bahan yang digunakan di belakang dinding penahan tanah disebut tanah urugan (*backfill*), penggunaan tanah urugan sebaiknya menggunakan tanah berbutir kasar sehingga lolos air seperti; pasir, kerikil atau batu pecah. Penggunaan tanah lempung sangat tidak disarankan untuk digunakan sebagai tanah urugan.

Penggunaan dinding penahan tanah dalam perencanaan di samping mempertimbangkan aspek ekonomi sangat penting adalah pertimbangan teknis dengan mempertimbangkan sifat-sifat tanah asli, kondisi tanah urugan, kondisi lingkungan setempat dan kondisi lapangan.

Terjadinya pergeseran tanah, pergerakan tanah atau tanah longsor-terutama di jalan-jalan dan pemukiman penduduk karena adanya intensitas hujan yang sangat tinggi. Selain itu, hal ini juga bisa karena DPT yang dibangun memang tidak disesuaikan dengan beban yang akan ditopang oleh DPT itu sendiri. Sehingga ketika adanya hujan yang ekstim dengan curah hujan yang tinggi dan tanah tersebut mengalami kejenuhan karena banyaknya air yang masuk ke dalam tanah maka terjadilah pergeseran tanah atau tanah longsor. Bisa saja DPT yang dibangun terlalu ramping. Atau, drainase DPT tidak berfungsi secara maksimal. Atau, bisa juga karena adanya pelapukan DPT dikarenakan usia DPT sudah lama. Atau, tergerusnya pondasi DPT. Kemungkinan-kemungkinan tersebut bisa saja terjadi.

DPT merupakan infrastruktur vital bagi kestabilan kawasan dengan kemiringan tinggi. Oleh karena itu, dinding penahan tanah harus dikelola dengan baik sesuai prinsip dasar Manajemen Aset Infrastruktur. Salah satu hal yang harus diperhatikan dalam Manajemen Aset Infrastruktur adalah faktor Risiko. Salah satu Risiko penting bagi DPT adalah keruntuhan DPT. Hal ini harus bisa dikelola dengan baik.

Penanggulangan risiko bencana diawali dengan penilaian dan pemetaan risiko bencana. Pembelajaran terhadap masyarakat di daerah rawan bencana longsor dilakukan secara intensif agar mampu menilai secara visual ancaman terjadi. Upaya mitigasi lebih efektif lainnya dengan investasi pengurangan risiko bencana berupa penerapan sistem peringatan dini dengan teknologi tepat guna.

Bab 2

Mengenal Jenis-jenis Tanah Di Indonesia

Sebelum membahas mengenai metode cerucuk dalam menahan pergeseran tanah, sebaiknya Anda mengenal terlebih dahulu mengenai jenis-jenis tanah yang ada di Indonesia. Hal ini penting, karena jenis tanah akan mempengaruhi terhadap kondisi tanah. Sehingga ketika menggunakan metode cerucuk dalam menahan terjadinya pergeseran tanah maka akan disesuaikan dengan tekstur dan jenis tanah tersebut. Oleh sebab itu, pada bab ini akan dibahas mengenai jenis-jenis tanah yang ada di Indonesia. Jika Anda sudah mengenal mengenai jenis tanah dan diuji sampel terhadap tanah yang akan digunakan metode cerucuk untuk menahan pergeseran tanah maka Anda akan memiliki perhitungan dalam penerapan metode ini pada saat di lapangan. Sehingga hasil penerapan metode yang Anda gunakan tersebut menghasilkan hasil yang memuaskan. Mari kita masuk ke materi jenis-jenis tanah di Indonesia.

Sebagaimana kita ketahui bahwa lapisan teratas dari bumi adalah tanah. Dalam kehidupan manusia, tanah merupakan salah satu komponen sangat penting bagi manusia. Karena, seluruh kehidupan yang berhubungan dengan manusia pasti berada di atas tanah. Menurut para ilmuwan, tanah terbentuk dari bebatuan yang mengalami pelapukan. Terjadinya proses pelapukan ini dalam waktu yang lama bahkan hingga ratusan tahun. Mikroorganisme merupakan komponen penting dalam membantu proses pelapukan batuan menjadi tanah. Begitu juga dengan perubahan suhu dan air. Komponen ini juga memberikan sumbangsih dalam proses pelapukan batu menjadi tanah.

Pastinya sudah Anda kenal dengan jenis tanah. Di mana tanah dari satu daerah dengan tanah dari daerah lainnya berbeda. Hal ini dikarenakan komponen yang ada dalam tanah di daerah tersebut. Tanah yang baik untuk tanaman adalah tanah yang mengandung beberapa komponen di dalamnya. Komponen penting yang terkandung di dalam tanah yang baik untuk tanaman adalah tanah yang mengandung mineral 50%, bahan organik 5% dan air 25%. Unsur atau komponen yang terkandung di dalam tanah juga dipengaruhi letak astronomis dan geografis. Begitu juga di Indonesia. Pengaruh letak astronomis dan geografis di wilayah Indonesia sangatlah penting dalam membentuk berbagai macam tanah.

Jenis-jenis tanah yang ada di Indonesia tentu akan berbeda dari satu daerah ke daerah lainnya. Tergantung pada lingkungan yang ada di dalam daerah tersebut.

A. Tanah Aluvial

Tanah aluvial adalah salah satu jenis tanah yang terjadi karena endapan lumpur—biasanya yang terbawa karena aliran sungai. Dengan kata lain, tanah aluvial merupakan jenis tanah yang terbentuk karena endapan. Tanah ini akan Anda temui di bagian hilir sungai karena dibawa dari hulu. Atau, daerah-daerah danau, cekungan yang berada di daerah cekungan yang memungkinkan terjadinya endapan. Tanah aluvial tergolong sebagai tanah muda, yang terbentuk dari endapan halus di aliran sungai. Tanah ini biasanya berwarna coklat hingga kelabu.



Gambar 2.1 Tanah Aluvial.
Sumber: *id.wikipedia.org*.

Tanah aluvial dibentuk dari lumpur dan pasir halus yang mengalami erosi tanah. Banyak terdapat di dataran rendah, di sekitar muara sungai, rawa-rawa, lembah-lembah, maupun di kanan kiri aliran sungai besar. Tanah ini banyak mengandung pasir dan liat, tidak banyak mengandung unsur-unsur zat hara. Ciri-cirinya berwarna kelabu dengan struktur yang sedikit lepas-lepas dan peka terhadap erosi. Kadar kesuburannya sedang hingga tinggi tergantung bagian induk dan iklim. Di Indonesia tanah aluvial ini merupakan tanah yang baik dan dimanfaatkan untuk tanaman pangan (sawah dan palawija) musiman hingga tahunan.

Tanah ini sangat cocok untuk pertanian baik pertanian padi maupun palawija seperti jagung, tembakau dan jenis tanaman lainnya karena teksturnya yang lembut dan mudah digarap sehingga tidak perlu membutuhkan kerja yang keras untuk mencangkulnya.

Sifat dari tanah Aluvial ini kebanyakan diturunkan dari bahan-bahan yang diangkut dan diendapkan. Teksturnya berkaitan dengan laju air mendepositkan Aluvium. Tidak heran jika tanah ini cenderung bertekstur kasar yang dekat aliran air dan bertekstur lebih halus di dekat pinggiran luar paparan banjir. Secara mineralogi, jenis tanah ini berkaitan dengan tanah yang bertindak sebagai sumber Aluvium. Endapan-endapan aluvial baik yang diendapkan

oleh sungai maupun diendapkan oleh laut, pada umumnya mempunyai susunan mineral seperti daerah di atasnya tempat bahan-bahan bersangkutan diangkut dan diendapkan.

Ciri dari pembentukan tanah aluvial adalah sebagian bahan kasar akan diendapkan tidak jauh dari sumbernya. Tekstur bahan yang diendapkan pada tempat dan waktu yang sama akan lebih seragam. Makin jauh dari sumbernya semakin halus butir yang diangkut.

Tanah Aluvial mempunyai kelebihan agregat tanah yang di dalamnya terkandung banyak bahan organik sekitar setengah dari kapasitas tukar kation (KTK), berasal dari bahan sumber hara tanaman. Bahan organik merupakan sumber energi dari sebagian besar organisme tanah, dalam memainkan peranannya bahan organik sangat dibutuhkan oleh sumber dan susunannya.

Tanah Aluvial mengalami proses pencucian selama bertahun-tahun. Tanah ini ditandai dengan memiliki kandungan bahan organik yang tinggi. Tumbuhan yang tumbuh pada jenis tanah ini adalah tumbuhan rendah. Tumbuhan akan mengalami kelambatan tumbuh, tetapi suatu lahan yang rendah menghambat dekomposisi bahan organik sehingga menghasilkan tanah yang mengandung bahan organik dan KTK yang tinggi. Tanah Aluvial memiliki sifat fisik jika kering akan keras dan pijal dan lekat jika basah. Kaya akan kandungan fosfor yang mudah larut dalam sitrat 2% mengandung 5% CO_2 dan tepung kapur yang halus dan juga berstruktur pejal yang dalam keadaan kering dapat pecah menjadi fragmen berbetuk persegi sedang sifat kimiawinya sama dengan bahan asalnya.

Kadar fosfor yang ada dalam tanah Aluvial ditentukan oleh banyak atau sedikitnya cadangan mineral yang mengandung fosfor dan tingkat pelapukannya. Permasalahan fosfor ini meliputi beberapa hal, yaitu peredaran fosfor di dalam tanah, bentuk-bentuk fosfor tanah, dan ketersediaan fosfor. Tingkat kesuburan tanah aluvial sangat tergantung dengan bahan induk dan iklim. Suatu kecenderungan memperlihatkan bahwa di daerah beriklim basa P dan K relatif rendah dan pH lebih rendah dari 6,5. daerah-daerah dengan curah hujan rendah di dapat kandungan P dan K lebih tinggi dan netral.

Persebaran jenis tanah aluvial terdapat hampir di seluruh wilayah Indonesia yang memiliki sungai-sungai besar. Sebaran jenis tanah aluvial di Indonesia paling banyak berada di Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Papua, dan Jawa.

B. Tanah Andosol

Tanah andosol adalah salah satu jenis tanah vulkanik dimana terbentuk karena adanya proses vulkanisme pada gunung berapi. Menurut Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian Pengertian, tanah andosol adalah sebuah tanah yang memiliki horizon A molik atau horizon A umbrik yang biasanya berada di atas horizon B kambik yang terdiri atas fraksi tanah halus dan sebagian besar tersusun atas abu vulkanik, bahan piroklastik vitrik lainnya.



Gambar 2.2 Tanah Andosol.
Sumber: IlmuGeografi.com.

Warna dari tanah andosol coklat keabuan. Tanah ini sangat kaya dengan mineral, unsur hara, air dan mineral sehingga sangat baik untuk tanaman. Tanah ini sangat subur dan baik untuk tanaman. Sehingga, tanah ini sangat cocok untuk segala jenis tanaman yang ada di dunia.

Persebaran tanah andosol biasanya terdapat di daerah yang dekat dengan gunung berapi. Di Indonesia sendiri yang merupakan daerah cincin api

yang terdapat banyak gunung berapi aktif. Sehingga tanah andosol banyak ditemui, seperti di daerah Jawa, Bali, Sumatera dan Nusa Tenggara. Tidak heran jika di sebagian besar wilayah Indonesia memiliki tanah yang sangat subur dan cocok untuk dijadikan lahan pertanian dan perkebunan. Jika kita pergi ke daerah pengunungan yang memiliki udara sejuk dan bersih, tentu saja terdapat hamparan tanaman sayur-mayur dan hortikultura yang tumbuh dan berkembang dengan subur. Tanah andosol kaya dengan bahan organik hasil dari aktivitas vulkanis gunung berapi. Abu dan material yang dikeluarkan oleh gunung berapi akan terkumpul dan menyebar di daerah sekitar letusan, dalam waktu yang cukup lama akan menjadi subur. Tanah dengan warna hitam, gembur, ringan dan licin terutama jika digengam.

Tanah andosol memiliki susunan horizon A-Bw-C dan pada beberapa tempat horizon AC. Untuk horizon permukaan berjenis melanik, molik, fulvik dan umbrik yang mana harus memiliki kandungan organik sebesar 6 persen dalam lapisan paling atas dengan ketebalan 30 cm. Secara umum, tanah andosol di Indonesia memiliki susunan horizon A-Bw-C, dan pada beberapa tempat terdapat horizon AC sebagai horizon timbunan dan beberapa horizon timbunan lainnya seperti A-Bw-C 2A-2Bw-2C yang terbentuk akibat erupsi gunung berapi yang terjadi secara berulang-ulang.

Tanah andosol di berbagai tempat memiliki kadar bahan organik yang berbeda-beda dan berkisar antara 3 persen hingga 22 persen tergantung dari warna dan massa jenis. Mengenai tekstur tanah andosol mulai dari lempung berpasir hingga liat berpasir tergantung dari ukuran partikel saat terjadi erupsi dan selama proses pelapukan.

Susunan mineral dalam tanah andosol yaitu mineral primer dan mineral sekunder. Mineral primer atau sering disebut dengan fraksi pasir merupakan mineral utama dengan susunannya sangat tergantung dari material erupsi gunung berapi yang berupa pasir dan abu yang mengalami pelapukan bersama bahan piroklastik, namun masih memiliki sifat fisik maupun kimia yang sama dengan bahan awalnya. Sementara itu, untuk mineral sekunder sering disebut fraksi liat yang mempunyai ukuran sangat kecil yaitu di bawah 2 mikrometer dan terbentuk dari proses kimiawi dari mineral primer.

Tanah andosol sebelumnya berasal dari material gunung berapi yang mengalami pelapukan dan tentu saja melibatkan proses kimiawi di dalamnya. Berdasarkan sifat kimia maka bahan organik tanah bersama unsur yang ada di dalam tanah seperti Al, Fe dan silika aktif merupakan unsur paling dominan dalam mengatur reaksi kimia pada tanah andosol.

Tanah andosol di Indonesia memiliki kandungan unsur Al sangat dominan jika dibandingkan dengan unsur besi dan silika aktif. Penyebab tingginya kadar aluminium tersebut karena berasal dari batuan induk yang bersifat masam (liparit), sedangkan jika berasal dari batuan induk basa maka kadar Al akan rendah. Hal ini menjadi penyebab kenapa tanah andosol sangat resisten dengan unsur fosfor, terutama tanah andosol dengan kadar Al tinggi.

Secara garis besar tanah andosol memiliki sifat fisika seperti memiliki massa jenis yang lebih rendah daripada tanah lain, memiliki kadar air yang lebih tinggi, memiliki batas mencair tinggi dan indeks plastisitas rendah. Tanah andosol akan mengalami perubahan yang sifatnya tidak akan kembali ke bentuk asal jika dikeringkan.

Rendahnya massa jenis tanah andosol disebabkan oleh kandungan alofan yakni mineral yang memiliki sifat bentuk non kristalin. Selain itu, penyebab lainnya adalah kandungan organik yang memiliki bentuk berongga. Struktur fisika tanah andosol terdiri dari dua kategori yaitu makrostruktur dan mikrostruktur, di mana makrostruktur terdapat di horizon A dengan bentuk granular sehingga sangat tahan terhadap daya rusak air hujan.

C. Tanah Entisol

Tanah yang belum mengalami deforensiasi horizon disebut tanah entisol. Secara etimologis, tanah entisol berasal dari kata ent yang berarti “baru”. Tanah entisol merupakan tanah muda yang baru mencapai tahap permulaan perkembangan tanah. Sebagian besar tanah entisol tidak mengalami perubahan seperti mengalami sedimentasi dari bahan induk mereka.



Gambar 2.3 Tanah entisol.
Sumber: IlmuGeografi.com.

Tanah entisol merupakan jenis tanah dengan jumlah paling banyak kedua di dunia (setelah tanah inceptisol), yakni 11—18% dari luas daratan (tanpa tertutup es) di dunia. Tanah ini banyak terdapat di daerah aluvial, endapan sungai, atau endapan rawa-rawa pantai. Tanah ini telah dijadikan lahan pertanian maupun tempat tinggal oleh jutaan orang di seluruh dunia.

Ada beberapa penyebab terbentuknya tanah entisol, yaitu:

1. Adanya pasir, besi oksida, aluminium oksida, dan tanah liat.
2. Erosi.
3. Pengendapan yang diakibatkan oleh banjir.
4. Iklim dingin.
5. Iklim kering.
6. Adanya racun atau bekas bahan tambang.

Tekstur yang dimiliki tanah entisol adalah cenderung kasar dengan kadar bahan organik dan nitrogen yang rendah. Tanah ini mudah teroksidasi dengan udara. Kelembapan dan pH selalu berubah karena tanah ini selalu basah dan terendam. Kadar asamnya juga cukup tinggi.

Ada beberapa jenis tanah entisol, yaitu:

1. *Aquent* adalah tanah basah yang terbentuk di tepi sungai, lumpur pasang surut, dll. Tanah yang berada di tempat seperti ini sulit untuk berkembang.

2. *Arent* adalah tanah antropogenik, yaitu tanah yang tidak dapat berkembang karena telah terjadi pencampuran oleh manusia seperti membajak sawah. Tanah ini juga disebut tanah anthrosol.
3. *Fluvent* adalah tanah aluvial yang pengembangannya dicegah oleh deposisi sedimen berulang-ulang saat terjadi banjir periodik. Tanah ini ditemukan di lembah-lembah dan delta sungai, terutama yang mengalami beban sedimen yang tinggi.
4. *Orthent* adalah tanah dangkal atau “tanah skeletal”. Tanah ini ditemukan pada permukaan yang tergerus erosi atau tempat dimana terdapat mineral yang tidak lapuk.
5. *Psamment* adalah tanah entisol yang berpasir di semua lapisannya. Terbentuk dari pergeseran bukit pasir.

Proses pembentukan tanah entisol terdiri dari tiga tahap, yaitu: *tahap pertama*, permukaan batuan yang terdapat di permukaan akan berinteraksi secara langsung dengan atmosfer yang menyebabkan permukaan batuan menjadi tidak stabil. Terjadi pula proses perubahan lingkungan seperti pendinginan, pemuain, pembekuan, penekanan, dll yang dapat membuat batuan tersebut mengalami perubahan fisik berupa pelapukan. Selain itu, interaksi langsung batuan dengan atmosfer dan hidrosfer mengakibatkan terjadinya pelapukan kimiawi seperti oksidasi, hidrasi, hidrolisis, pelarutan, dll.

Tahap kedua, batuan yang telah lapuk akan menjadi lebih lunak dan lebih berpori-pori. Pori-pori tersebut akan dimasuki oleh air dan udara. Sehingga pelapukan akan semakin meluas dan batu menjadi semakin hancur menjadi tanah.

Tahap ketiga, karena letak tanah tersebut di daerah cekungan atau sekitar sungai, maka batu tersebut akan mengalami perendaman dan erosi. Sehingga horison-horison tanah sulit terbentuk.

Tanah entisol dapat dijadikan lahan pertanian dan perikanan terutama persawahan dan tambak ikan. Saat musim kering, tanah entisol juga dapat digunakan untuk menanam palawija.

D. Tanah Grumusol

Tanah grumusol terbentuk dari pelapukan batuan kapur dan tuffa vulkanik. Kandungan organik di dalamnya rendah karena dari batuan kapur jadi dapat disimpulkan tanah ini tidak subur dan tidak cocok untuk ditanami tanaman.



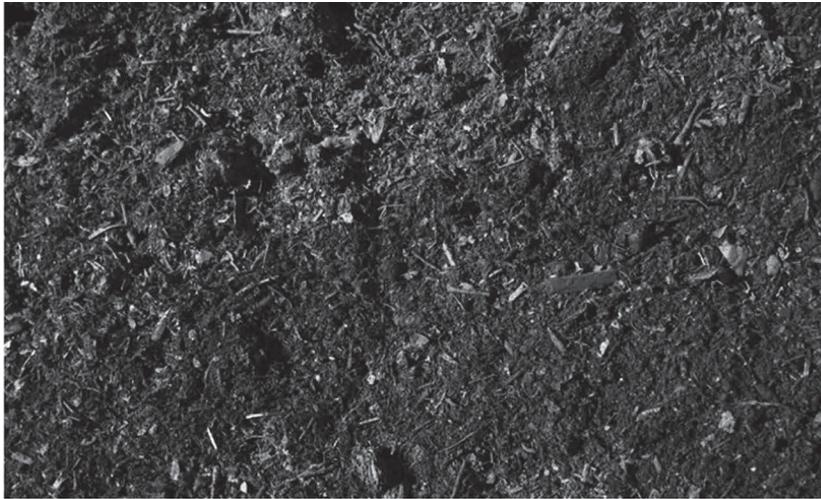
Gambar 2.4 Tanah Grumusol.
Sumber: IlmuGeografi.com.

Tekstur tanahnya kering dan mudah pecah terutama saat musim kemarau dan memiliki warna hitam. Ph yang dimiliki netral hingga alkalis. Tanah ini biasanya berada di permukaan yang tidak lebih dari 300 meter dari permukaan laut dan memiliki bentuk topografi datar hingga bergelombang. Perubahan suhu pada daerah yang terdapat tanah grumusol sangat nyata ketika panas dan hujan.

Persebaran tanah grumusol di Indonesia seperti di Jawa Tengah (Demak, Jepara, Pati, Rembang), Jawa Timur (Ngawi, Madiun) dan Nusa Tenggara Timur. Karena teksturnya yang kering maka akan bagus jika ditanami vegetasi kuat seperti kayu jati.

E. Tanah Humus

Humus merupakan tanah yang dikenal sebagai tanah yang paling subur. Tanah humus adalah tanah yang dikenal sebagai tanah yang gembur dan paling banyak digunakan dalam bidang pertanian.



Gambar 2.5 Tanah Humus.
Sumber: *mediatani.com*.

Tanah humus merupakan tanah yang paling subur untuk tumbuh-tumbuhan karena memiliki komposisi yang mirip dengan pupuk kompos. Hal ini karena tanah humus merupakan tanah yang terbentuk dari pelapukan-pelapukan dedaunan dan juga batang pohon, serta ada percampuran dari kotoran hewan. Humus juga dikenal sebagai sisa-sisa dari tumbuhan dan juga hewan-hewan yang mengalami perombakan oleh organisme yang ada di dalam lapisan tanah.

Tanah humus ini bisa kita temukan di berbagai daerah khususnya daerah yang mempunyai banyak pepohonan, seperti di hutan hujan tropis. Tanah humus ini bila kita lihat maka warnanya tampak gelap, yakni coklat kehitaman dan juga mempunyai tekstur yang gembur. Secara kimiawi, humus sendiri dapat diartikan sebagai satu kompleks organik makromolekular yang banyak mengandung zat-zat seperti fenol, asam karboksilat, hidroksida serta

alifatik. Pada artikel ini kita akan berkenalan dengan tanah humus secara lebih lengkap dan detail.

Tanah humus mempunyai berbagai ciri-ciri khusus yang bisa dibedakan dengan ciri-ciri tanah humus yang lainnya. Ciri-ciri atau karakteristik dari tanah humus adalah:

1. Berwarna gelap, yakni coklat maupun kehitam-hitaman. Tanah humus ini memiliki warna yang gelap antara coklat hingga kehitam-hitaman. Selain mempunyai warna gelap, di tanah humus ini juga terdapat bintik-bintik yang berwarna putih.
2. Memiliki tekstur yang gembur. Tanah humus memiliki tekstur yang sangat gembur dan tidak keras seperti tanah liat ataupun tanah yang lainnya.
3. Biasanya terdapat pada lapisan bagian atas tanah, sehingga bersifat tidak stabil. Sifat tidak stabil ini terutama terlihat ketika ada perubahan suhu, tingkat kelembaban, ataupun aerasi.
4. Tanah humus bersifat kolodial dan amorfous. Sifat kolodial dan amorfous ini artinya bersifat menyerupai tanah liat, namun sifat daya serapnya lebih tinggi daripada tanah liat.
5. Bersifat sangat subur. Tanah humus memiliki sifat yang sangat subur karena terbentuk dari pelapukan-pelapukan dedaunan dan juga bercampur dengan kotoran hewan dan semacamnya.
6. Mempunyai daya serap yang tinggi. Tanah humus ini mempunyai kemampuan daya serap yang tinggi dalam hal menyerap air, dan hal ini merupakan sifat yang baik bagi pertumbuhan tanaman.
7. Mempunyai kemampuan menambah atau meningkatkan kandungan berbagai unsur hara (magnesium, kalsium, dan kalium).
8. Merupakan sumber energi bagi jasad mikro. Tanah humus pembentukannya dari berbagai pelapukan dedaunan dan juga ranting-ranting pohon, sehingga merupakan sumber energi bagi jasad-jasad renik.
9. Banyak dijumpai di daerah tropis. Tanah humus merupakan tanah yang banyak dijumpai di daerah tropis, seperti di Indonesia. Terutama wilayah yang paling sering didapati tanah humus adalah wilayah je-

nis jenis hujan seperti hujan tropis dimana banyak ditemukan pepohonan disana.

Tanah humus dikenal sebagai tanah yang sangat baik. Bahkan tanah humus ini dikenal sebagai tanah yang paling baik. Banyak orang mendambakan tempat tinggalnya memiliki tanah humus agar nantinya bisa ditumbuhi berbagai macam tumbuhan. Kita semua tahu bahwasannya tumbuhan akan sangat bagi kelangsungan hidup manusia.

Ada beberapa manfaat dan kelebihan dari tanah humus, yaitu:

1. Struktur tanah terjaga. Tanah humus merupakan tanah yang mempunyai struktur yang stabil atau terjaga daripada beberapa jenis-jenis tanah yang lainnya.
2. Tanah humus merupakan makanan yang baik bagi tumbuh-tumbuhan yang tumbuh di atas tanah tersebut.
3. Menambah kandungan air tanah. Karena mempunyai sifat menyerap yang baik, maka tanah humus ini dapat menambah kandungan air tanah yang nantinya akan berguna sebagai minuman bagi tumbuhan yang tumbuh di tanah tersebut.
4. Tanah humus mempunyai sifat mengikat toksik ke air dan juga ke dalam tanah.
5. Tanah humus mempunyai sifat dapat membentengi tanah agar tanah tidak terkikis atau tergerus.
6. Pada tanah humus ini aerasi tanah menjadi meningkat.
7. Tanah humus juga bisa digunakan sebagai pupuk sintesis, maka dari itu tanah humus ini merupakan tanah yang sangat baik bagi tanaman.
8. Pemanfaatan tanah humus oleh manusia.

Di samping kelebihan, tanah humus juga ternyata mempunyai beberapa kelemahan atau kekurangan. Kelemahan atau kekurangan yang dimiliki oleh tanah humus, yaitu:

1. Tanah humus ini mudah terbakar. Di Indonesia ini banyak terdapat kasus kebakaran hutan. Hutan yang ada di Indonesia ini adalah jenis hutan hujan tropis atau hutan tropis. Dan tanah humus ini paling banyak ditemui pada hutan tropis. Dari penjelasan tersebut maka dapat dihubungkan dan diambil kesimpulan bahwasannya tanah humus ini merupakan jenis tanah yang mudah terbakar jika terkena api.
2. Tanah humus merupakan tanah yang licin. Karena sifatnya yang licin, maka apabila kita sedang berjalan di atas tanah humus, kita harus berhati-hati.
3. Tanah humus merupakan tanah yang berbau.

Tanah humus ini banyak kita jumpai di hampir seluruh daerah di Indonesia, khususnya di hutan. Beberapa daerah yang ada di Indonesia yang banyak mengandung tanah humus antara lain di Sumatra, Kalimantan, Jawa, Papua, dan sebagian Pulau Sulawesi.

F. Tanah Inceptisol

Tanah inceptisol merupakan tanah yang termasuk dalam kategori tanah aluvial. Tanah inceptisol adalah suatu jenis tanah muda yang juga termasuk ke dalam jenis tanah mineral. Sedangkan yang dimaksud tanah mineral merupakan tanah yang memiliki kandungan bahan organik kurang dari 20% atau memiliki lapisan bahan organik yang ketebalannya kurang dari 30 cm sehingga membuat tekstur tanahnya menjadi ringan.



Gambar 2.6 Tanah inceptisol.
Sumber: IlmuGeografi.com.

Ciri-ciri atau karakteristik tanah inceptisol, yaitu:

1. Memiliki solum tanah yang agak tebal, yakni sekitar 1 hingga 2 meter.
2. Tanahnya berwarna hitam atau kelabu hingga coklat tua.
3. Tekstur tanahnya berdebu, lempung debu, dan bahkan lempung.
4. Memiliki struktur tanah yang remah berkonsistensi gembur, memiliki pH 5,0 hingga 7,0.
5. Memiliki bahan organik sekitar 10% sampai 30%.
6. Mengandung unsur hara yang sedang hingga tinggi.
7. Memiliki produktivitas tanah dari sedang hingga tinggi.

G. Tanah Laterit

Tanah laterit dikenal juga sebagai tanah merah. Tanah laterit atau tanah merah merupakan tanah yang mempunyai warna merah hingga warna kecoklatan yang terbentuk pada lingkungan yang lembab, dingin, dan mungkin juga genangan-genangan air. Tanah laterit biasanya mudah menyerap air, memiliki kandungan bahan organik yang sedang, dan memiliki pH atau tingkat keasaman netral.



Gambar 2.7 Tanah Laterit.
Sumber: IlmuGeografi.com.

Ciri-ciri atau karakteristik tanah laterit adalah:

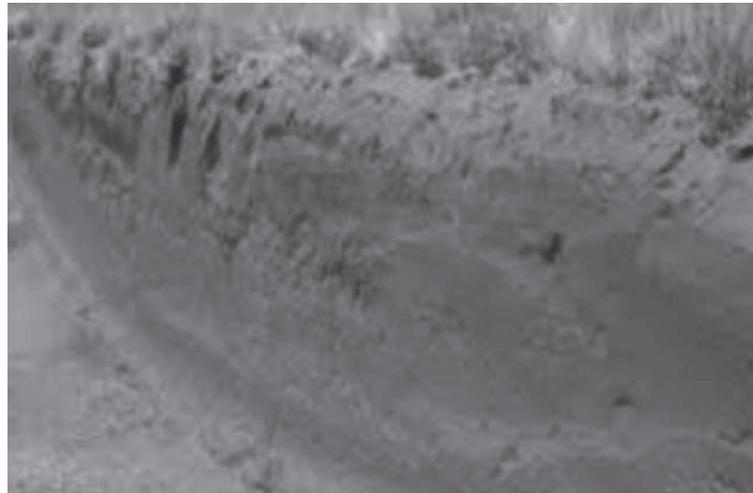
1. Tanah yang sudah berumur tua.
2. Hanya cocok untuk ditumbuhi tanaman-tanaman tertentu saja, seperti: tumbuhan palawija, jagung, kelapa sawit, cengkeh, coklat, dan kopi.
3. Kandungan bahan organiknya sedang.
4. Memiliki pH netral.
5. Terbentuk pada lingkungan yang lembab, dingin atau pada genangan-genangan air.
6. Mudah menyerap air.
7. Tekstur tanah relatif padat dan kokoh.

Kandungan yang dimiliki tanah laterit adalah zat besi dan aluminium.

Sebaran tanah laterit di Indonesia ada di beberapa daerah. Seperti: Pulau Kalimantan, Lampung, Jawa Barat, Jawa Timur, dan sebagian wilayah Jawa Tengah.

H. Tanah Latosol

Tanah laterit dikenal juga sebagai tanah inceptisol. Tanah latosol atau tanah incepticol merupakan tanah yang mempunyai lapisan solum. Lapisan solum yang dimiliki oleh tanah latosol ini cenderung tebal dan bahkan sangat tebal. Lapisan solum tanah ini antara 130 cm hingga 5 meter dan bahkan lebih. Batas horizon dari tanah ini tidaklah begitu terlihat jelas.



Gambar 2.8 Tanah Latosol.
Sumber: IlmuGeografi.com.

Tanah latosol atau tanah inceptisol merupakan tanah yang mempunyai beberapa ciri atau karakteristik tertentu. Adapun ciri-ciri dari tanah latosol atau inceptisol, yaitu:

1. Memiliki solum tanah yang agak tebal hingga tebal, yakni mulai sekitar 130 cm hingga lebih dari 5 meter.
2. Tanahnya berwarna merah, coklat, hingga kekuning-kuningan.
3. Tekstur tanah pada umumnya adalah liat.
4. Struktur tanah pada umumnya adalah remah dengan konsistensi gembur.
5. Memiliki pH 4,5 hingga 6,5, yakni dari asam hingga agak asam.
6. Memiliki bahan organik sekitar 3% hingga 9%, namun pada umumnya hanya 5% saja.

7. Mengandung unsur hara yang sedang hingga tinggi. Unsur hara yang terkandung di dalam tanah bisa dilihat dari warnanya. Semakin merah warna tanah maka unsur hara yang terkandung adalah semakin sedikit.
8. Mempunyai infiltrasi agak cepat hingga agak lambat.
9. Daya tanah air cukup baik.
10. Lumayan tahan terhadap erosi tanah.

Sedangkan kandungan yang dimiliki tanah latosol adalah:

1. Memiliki solum tanah yang tebal
2. Bahan organik rata-rata sebesar 5%.
3. Unsur hara sedang hingga tinggi.

Tanaman yang dapat hidup di tanah latosol adalah tebu, kakao atau coklat, tembakau, panili, dan pala.

I. Tanah Litosol

Tanah litosol merupakan jenis tanah yang terbentuk dari batuan beku yang berasal dari proses meletusnya gunung berapi dan sedimen keras dengan proses pelapukan kimia (dengan menggunakan bantuan organisme hidup) dan fisika (dengan bantuan sinar matahari dan hujan) yang belum sempurna. Tidak heran jika pada tanah litosol ini struktur asal batuan induknya masih terlihat. Hal ini pula yang menyebabkan tanah litosol disebut juga dengan tanah yang paling muda, sehingga bahan induknya dangkal dan sangat sering terlihat di permukaan sebagai batuan padat yang padu. Tanah litosol merupakan jenis tanah yang belum lama mengalami pelapukan dan sama sekali belum mengalami perkembangan.



Gambar 2.9 Tanah litosol.
Sumber: IlmuGeografi.com.

Tanah litosol merupakan jenis tanah yang mempunyai karakteristik tertentu. Berikut beberapa karakteristik atau ciri-ciri yang dimiliki tanah litosol, yaitu:

1. Mempunyai lapisan bumi yang tidak terlalu tebal, yaitu hanya mencapai 45 cm saja.
2. Merupakan jenis tanah baru. Dikatakan sebagai anak baru karena tanah ini terbentuk ketika batuan belum sempurna mengalami pelapukan.
3. Mempunyai penampang yang besar, berbentuk kerikil, pasir, dan batuan kecil.
4. Mengalami perubahan struktur atau profil dari batuan asal.
5. Mempunyai kandungan unsur hara yang sedikit sekali.
6. Terbentuk dari proses meletusnya gunung berapi.
7. Memiliki tekstur tanah yang bervariasi.
8. Memiliki kesuburan tanah yang bervariasi.

Kandungan yang dimiliki tanah litosol adalah unsur hara, namun sedikit. Tidak heran jika pada tanah litosol ini hanya rumput saja yang tumbuh. Karena, tidak banyak tumbuhan yang dapat tumbuh di tanah ini. Rumput-rum-

putan sebagai tumbuhan yang mampu bertahan hidup pada tanah yang kurang subur.

J. Tanah Kapur

Tanah kapur disebut juga dengan tanah mediteran karena terbentuk dari bebatuan kapur yang telah lapuk dan hancur. Tanah kapur memiliki warna tidak hitam atau tidak gelap, tetapi lebih putih atau lebih terang dari tanah yang lainnya.



Gambar 2.10 Tanah Kapur.
Sumber: IlmuGeografi.com.

Tanah kapur sebagai salah satu jenis tanah yang tidak memiliki unsur hara. Jikapun memiliki unsur hara, tanah kapur hanya memiliki unsur hara dalam jumlah yang sangat sedikit sekali.

Ciri-ciri atau karakteristik tanah kapur adalah:

1. Tidak memiliki unsur hara, sehingga tanah jenis ini tidak subur.
2. Sangat mudah untuk dilalui air.
3. Terbentuk dari pelapukan batuan kapur atau batu kapur yang sudah hancur.
4. Tanah ini hanya berkontribusi sedikit dalam bidang pertanian.
5. Merupakan tanah yang sangat cocok untuk pertumbuhan pohon jati.
6. Mengandung kalsium dan magnesium yang tinggi.

K. Tanah Mergel

Tanah mergel juga dikenal sebagai tanah marbalit. Tanah mergel atau marbalit merupakan jenis tanah yang terbentuk oleh campuran batuan kapur pasir, dan juga tanah liat. Pembentukan dari tanah mergel ini sangatlah dipengaruhi oleh keberadaan curah hujan yang tidak merata di sepanjang tahunnya. Keberadaan tanah mergel atau marbalit sering ditemukan di daerah-daerah pegunungan atau di dataran-dataran rendah.



Gambar 2.11 Tanah Mergel.
Sumber: *IlmuGeografi.com*.

Karakteristik atau ciri-ciri yang dimiliki tanah mergel atau tanah marbalit adalah:

1. Terbentuk oleh campuran batuan kapur, pasir dan tanah liat.
2. Mempunyai warna putih
3. Mempunyai tingkat kesuburan yang rendah
4. Pembentukannya dipengaruhi oleh hujan yang turun tidak merata sepanjang tahun.

L. Tanah Organosol

Tanah organosol merupakan tanah yang proses pembentukannya dari hasil pembusukkan bahan-bahan organik. Tanah organosol ini biasanya dapat kita temui di daerah rawa-rawa atau di tempat-tempat yang selalu tergenang oleh air. Kita dapat membayangkan bahwasannya tanah organosol ini merupakan tanah yang sangat lembab bahkan bisa dikatakan becek karena keberadaannya di sekitar lingkungan berair.



Gambar 2.12 Tanah Organosol.
Sumber: *IlmuGeografi.com*.

Tanah organosol memiliki dua jenis, yaitu tanah organosol humus dan gambut. Tanah humus dan tanah gambut ini merupakan tanah yang sangat subur dengan banyak sekali kandungan bahan-bahan organiknya. Kedua jenis tanah tersebut merupakan jenis tanah organosol.

M. Tanah Oxisol

Tanah oxisol merupakan tanah tua yang telah mengalami pelapukan tingkat lanjut sehingga mineral mudah lapuknya tinggal sedikit. Tanah ini memiliki kandungan liat yang tinggi tetapi tidak aktif sehingga kapasitas tukar kation (KTK) nya rendah. Besaran nilai KTK-nya untuk tanah oxisol kurang dari 16 me/100g liat. Tanah oxisol ini didominasi oleh mineral-mineral dengan aktivitas yang rendah, seperti kwarsa, kaolin, unsur hara rendah, mengandung oksida-oksida besi dan oksida Al yang tinggi.



Gambar 2.13 Tanah Oxisol.
Sumber: IlmuGeografi.com.

Tanah ini tidak cukup jelas menunjukkan batas-batas horison. Jika dihubungkan dengan sistem klasifikasi lama, tanah ini termasuk tanah Latosol, Lateritik, atau Podzoik Merah Kuning. Tanah oxisol mengalami perkembangan di daerah tropis dan subtropis dengan lingkungan yang memiliki suhu dan surah hujan tinggi. Tanah oxisol meliputi sekitar 8% dari daratan dunia sedangkan di Indonesia, tanah oxisol banyak ditemukan di Sumatera, Sulawesi, Kalimantan, dan Papua.

Ciri-ciri atau karakteristik tanah oxisol, yaitu:

1. Tanah berwarna merah hingga kuning.

2. Tanah latosol yang memiliki sifat cepat mengeras bila berada di udara terbuka, sering disebut juga sebagai tanah laterit.
3. Memiliki konsistensi gembur dengan stabilitas agregat yang kuat.
4. Kandungan mineral dan unsur hara rendah karena mengalami pencucian dan pelapukan lanjut.
5. Terjadi penumpukan relatif seskwioksida di dalam tanah akibat dari pencucian silikat.
6. Umumnya memiliki epipedon kambrik dan horison kambik dengan kejenuhan basa kurang dari 50%.
7. Kadar liat dalam tanah lebih dari 60% sehingga berbentuk gumpal, gembur, dan warna tanah seragam dengan batas-batas horison yang kabur.

Pada umumnya tanah oxisol tidak memiliki sifat fisik pembatas pada pertumbuhan tanaman. Tanah ini telah mengalami perkembangan lanjut sehingga memiliki tekstur liat. Karena partikelnya yang liat, tanah ini membentuk agregat mikro yang sangat kuat sehingga sifat fisiknya menyerupai pasir. Kandungan besi berfungsi sebagai pengikat dan perekat partikel tanah sehingga tidak mudah hancur oleh erosi atau tetesan air hujan yang mengenai permukaan tanah.

N. Tanah Padas

Tanah padas adalah salah satu jenis tanah yang mempunyai sifat padat, bahkan sangat padat. Kepadatan tanah ini terjadi karena kandungan mineral yang ada di dalamnya dikeluarkan oleh air yang terdapat pada lapisan tanah yang berada di atasnya. Sehingga tanah ini tadi menjadi tanah yang kosong tanpa kandungan yang ada di dalam tanah tersebut dan hanya bersisa lapukan dari batuan induk.



Gambar 2.14 Tanah Padas.
Sumber: IlmuGeografi.com.

Tanah padas merupakan tanah yang menyerupai batuan. Karena teksturnya yang sangat padat ini menjadikan tanah ini keras seperti sebuah batu. Tanah ini juga mempunyai warna yang tidak hitam. Warna dari tanah ini cenderung merah atau bahkan putih.

Ada beberapa ciri sifat fisik tanah atau karakteristik dari tanah padas, yaitu:

1. Mempunyai tekstur atau bentuk tanah yang sangat padat.
2. Mempunyai kandungan organik yang sangat rendah.
3. Tidak mempunyai kandungan mineral.
4. Peka terhadap erosi.
5. Mempunyai sifat sangat sulit menyerap air.
6. Biasanya dimanfaatkan untuk infrastruktur bangunan.
7. Mempunyai suhu yang tinggi.
8. Biasanya terletak di lapisan tanah bagian bawah.

Sedangkan kekurangan tanah padas adalah:

1. Tanah padas bukan merupakan tanah yang subur sehingga tidak cocok untuk ditanami suatu tanaman.

2. Tanah padas sangat peka terhadap erosi sehingga tanahnya mudah terkikis.
3. Tanah padas mempunyai sifat sulit menyerap air sehingga tidak mudah menyimpan cadangan air yang bisa digunakan suatu saat nanti.
4. Persebaran Tanah Padas di Indonesia.

Tanah padas bukanlah merupakan suatu jenis tanah yang terbilang khusus ada di wilayah daerah tertentu. Tanah padas ini dapat dengan mudah kita temui di hampir seluruh wilayah Indonesia. Tanah padas dapat kita jumpai di daerah-daerah dataran tinggi secara merata di Indonesia. Maka dari itu kita akan lebih mudah menjumpai tanah padas ini di wilayah dengan ketinggian tertentu daripada di wilayah yang rendah.

O. Tanah Pasir

Tanah pasir adalah tanah dengan partikel berukuran besar. Tanah pasir terbentuk dari batuan-batuan beku serta batuan sedimen yang memiliki butiran besar dan kasar atau yang sering disebut dengan kerikil. Tanah pasir memiliki kapasitas serap air yang rendah karena sebagian besar tersusun atas partikel berukuran 0,02 sampai 2 mm.



Gambar 2.15 Tanah pasir.
Sumber: IlmuGeografi.com.

Tanah pasir pada umumnya belum membentuk agregat sehingga peka terhadap erosi. Unsur yang terkandung di dalam tanah pasir adalah unsur P dan K yang masih segar dan belum siap untuk diserap oleh tanaman. Selain itu, tanah pasir terdapat unsur N dalam kadar yang sangat sedikit. Tanah pasir merupakan tanah yang tersebar cukup banyak di wilayah Indonesia.

Secara garis besar tanah pasir ini dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Tanah pasir abu vulkanik. Tanah pasir ini berada pada daerah-daerah *vulcanic fan*, yaitu lahar vulkanik yang mengalir ke bawah dengan bentuk melebar seperti kipas.
2. Bukit pasir dan tanah pasir ini biasanya ada pada daerah-daerah pantai.
3. Batuan sedimen dengan topografi bukit lipatan.

Tanah pasir tidak memiliki kandungan air, mineral, dan unsur hara karena tekstur pada tanah pasir yang sangat lemah. Tanah pasir juga memiliki kesuburan yang rendah sehingga sedikit sekali tanaman yang dapat tumbuh di tanah pasir.

Tanah pasir memiliki tekstur yang kasar. Tanah pasir memiliki rongga yang besar sehingga pertukaran udara dapat berjalan dengan lancar. Selain itu, tanah pasir tidak lengket jika basah sehingga menjadikan tanah pasir mudah untuk diolah. Tanah pasir ini memiliki kemampuan yang rendah untuk dapat mengikat air.

P. Tanah Podsol

Tanah podsol merupakan tanah yang banyak mengandung A2 atau abu-abu yang berwarna pucat. Tanah ini adalah tanah yang terbentuk karena adanya pengaruh curah hujan yang tinggi dan juga suhu udara yang rendah. Nama "podsol" sendiri merupakan sebuah nama yang diambil dari bahasa Rusia yakni "pod" yang berarti pucat, dan "zola" yang berarti abu-abu. Nama ini diambil karena semua jenis dari tanah ini mengandung unsur A2 atau abu-abu yang berwarna pucat.



Gambar 2.16 Tanah podsol.
Sumber: IlmuGeografi.com.

Ciri-ciri atau karakteristik tanah podsol, yaitu:

1. Mempunyai warna yang pucat.
2. Mempunyai kandungan pasir kuarsa yang sangat tinggi.
3. Memiliki tingkat keasaman yang tinggi.
4. Sangat peka terhadap erosi.
5. Mempunyai sifat kurang subur.
6. Tidak memiliki perkembangan profil.
7. Mempunyai tekstur yang bersifat lempung hingga berpasir.
8. Mempunyai sifat yang mudah basah, sehingga ketika tanah ini terkena air tanah maka tanah podsol ini akan menjadi subur.

Q. Tanah Podsolik Merah Kuning

Tanah podsolik merah kuning atau sering disingkat PMK adalah tanah yang terbentuk karena curah hujan yang tinggi dan suhu yang sangat rendah dan juga merupakan jenis tanah mineral tua yang memiliki warna kekuningan atau kemerahan. Warna dari tanah podsolik ini menandakan tingkat kesuburan tanah yang relatif rendah karena pencucian. Warna kuning dan merah

ini disebabkan oleh longgokan besi dan aluminum yang teroksidasi. Mineral lempung yang terdapat pada tanah ini penyusunnya didominasi oleh silikat.



Gambar 2.17 Tanah podsolik merah kuning.
Sumber: IlmuGeografi.com.

Tanah podsolik merah kuning ini adalah bagian dari tanah ultisol. Menurut USDA (*United States Department of Agriculture*), ultisol adalah tanah yang sudah mengalami pencucian ketika iklim tropis dan subtropis. Karakter utama tanah ultisol adalah memiliki horizon A yang tipis, terakumulasi lempung pada bagian Bt dan memiliki sifat agak masam. Tanah ultisol sendiri bersifat agak lembab dengan radar lengos tertinggi pada ultisol yang berbentuk bongkah.

Penyebaran tanah podsolik merah kuning di Indonesia tersebar secara merata di setiap wilayahnya, seperti: wilayah pegunungan di Sumatera, Jawa Barat, Maluku, Kalimantan, Papua, dan Nusa Tenggara. Di wilayah tersebut tanah podsolik ini biasanya digunakan sebagai tanah untuk berkebun. Beberapa tanaman yang sering menggunakan tanah podsolik sebagai tanah penopang antara lain adalah kelapa, jambu mete, karet dan kelapa sawit.

Ciri-ciri dari tanah podsolik merah kuning adalah:

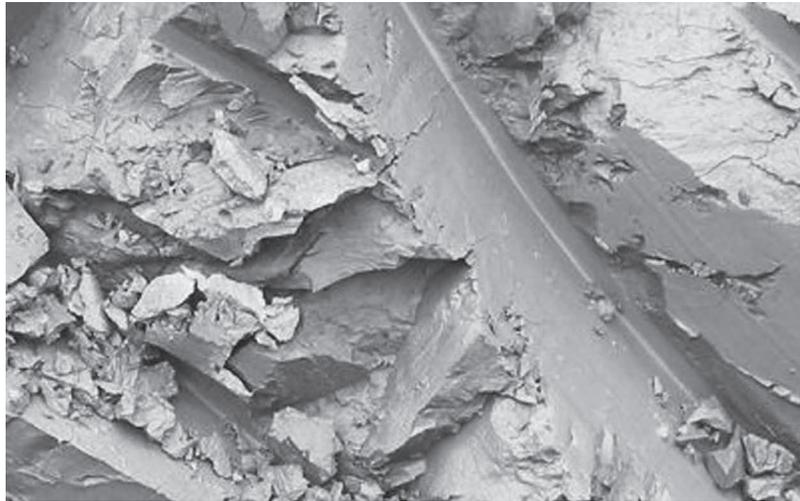
1. Berasal dari bahan induk batuan karsa di zona iklim basah dengan curah hujan di antara 2500–3000 mm/tahun.
2. Memiliki sifat yang mudah basah dan mudah.
3. Mengalami pencucian oleh air hujan.
4. Biasanya dimanfaatkan untuk persawahan dan perkebunan.
5. Tekstur tanahnya berlempung dan berpasir.
6. Memiliki pH yang rendah.
7. Memiliki unsur aluminum dan besi yang tinggi.

Secara umum karakteristik tanah podsolik adalah:

1. Memiliki daya simpan unsur hara yang sangat rendah karena sifat lempungnya beraktivitas rendah.
2. Kejenuhan unsur basa seperti Ca, Mg dan K yang rendah sehingga tidak cocok untuk tanaman semusim.
3. Daya simpan air yang sangat rendah sehingga mudah mengalami kekeringan.
4. Kadar bahan organik yang rendah dan hanya terdapat di permukaan tanah.

R. Tanah Liat

Tanah liat disebut juga sebagai tanah lempung. Tanah liat akan dapat kita temukan dengan warna hitam keabu-abuan. Dinamakan tanah liat mungkin dilihat dari teksturnya yang liat, sehingga mudah sekali dibentuk-bentuk. Tanah liat atau lempung ini pada dasarnya merupakan sebuah partikel mineral yang mempunyai kerangka dasar silikat yang mempunyai ukuran sangat kecil, yakni berdiameter kurang dari 4 mikrometer.



Gambar 2.18 Tanah liat.
Sumber: IlmuGeografi.com.

Tanah liat merupakan jenis tanah yang banyak mengandung leburan aluminium atau silika yang sangat halus. Selain itu, tanah liat mengandung beberapa unsur lain, seperti silikon dan juga oksigen.

Tanah liat terbentuk dari proses pelapukan kerak bumi. Kerak bumi tersebut sebagian disusun oleh batuan feldspatik (yakni batuan yang terdiri dari batuan granit dan juga batuan beku). Kerak bumi yang melapuk tersebut terdiri atas berbagai unsur seperti silikon, oksigen dan aluminium sebagai unsur terbanyak. Kemudian aktivitas panas dari bumi membuat kerak bumi tersebut melapuk yang dilakukan oleh asam karbonat. Proses inilah yang menjadikan terbentuknya tanah liat.

Ciri-ciri atau karakteristik tanah liat, yaitu:

1. Mempunyai sifat liat atau lengket;
2. Mempunyai sifat yang sulit menyerap air;
3. Tanah dapat terpecah menjadi butiran-butiran sangat halus saat keadaan kering;
4. Tanahnya berwarna hitam terang atau hitam keabu-abuan;
5. Merupakan bahan baku untuk membuat kerajinan tangan berupa gerabah atau tembikar.

Jenis-jenis tanah liat, yaitu:

1. Tanah Liat Primer

Tanah liat primer (tanah liat residu) merupakan jenis tanah liat yang terbentuk dari pelapukan batuan feldspatik dan dilakukan oleh tenaga endogen yang tidak berpindah dari batuan induk atau batuan asalnya. Proses pembentukan tanah liat primer ini dibantu oleh beberapa komponen, yaitu: tenaga air, dan tenaga uap panas yang keluar dari dalam perut bumi. Ciri-ciri tanah liat primer adalah:

- a. Mempunyai warna putih hingga kusam.
- b. Memiliki butiran yang kasar.
- c. Biasanya berada pada tempat yang lebih tinggi.
- d. Memiliki sifat tidak plastis.
- e. Mempunyai daya lebut yang tinggi.
- f. Mempunyai sifat daya susut yang kecil.
- g. Mempunyai sifat tahan akan panasnya api.

2. Tanah Liat Sekunder

Tanah liat sekunder atau batuan sedimen (endapan) merupakan jenis tanah liat yang terbentuk dari hasil pelapukan batuan feldspatik yang berpindah dengan jarak yang jauh dari batuan induknya. Pelapukan ini terjadi karena disebabkan oleh tenaga eksogen yang menyebabkan butiran-butiran dari tanah liat ini menjadi lepas dan mengendap di daerah yang rendah, seperti sungai, rawa, ataupun tanah danau.

Secara umum, tanah liat sekunder ini mempunyai ciri-ciri:

- a. Mempunyai warna yang muda, yakni krem, coklat, abu-abu, merah jambu, kuning, kuning muda, kuning kecoklatan, kemerah-merahan, hingga kehitam-hitaman.
- b. Mempunyai sifat cenderung berbutir halus.
- c. Mempunyai sifat plastis.
- d. Mempunyai sifat kurang murni bila dibandingkan dengan tanah liat primer.

- e. Mempunyai daya susut yang tinggi.
- f. Mempunyai sifat tahan api yang lebih rendah daripada tanah liat primer.

Tanah liat ini banyak dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan manusia. Salah satu penggunaan tanah liat adalah sebagai bahan baku dalam pembuatan: batu bata, gerabah, genteng, dan bahan-bahan lainnya.

Bab 3

Metode Cerucuk Sudah Dikenal Masyarakat Indonesia Sejak Lama

Tanah longsor, ambrolnya kolam ikan, atau abrasi yang diakibatkan curah hujan yang tinggi dan meluapnya air sungai sudah sering terjadi sejak zaman orang tua kita dulu. Hal itu dikarenakan konstruksi atau tekstur tanah yang labih karena jenis tanah yang memang mudah ambrol atau bergeser. Atau, karena tanah yang bergeser tersebut merupakan tanah urug yang disengaja.

Sudah sejak lama masyarakat Indonesia menggunakan model cerucuk dalam menahan tanah yang ambrol akibat derasnya intensitas hujan dan air hujan yang mengalir. Oleh sebab itu, bagi masyarakat Indonesia (masyarakat petani) sudah tidak asing lagi dalam menggunakan model cerucuk dalam menahan tanah yang ambrol atau longsor atau abrasi.

Model cerucuk yang digunakan oleh masyarakat petani biasanya menggunakan bambu. Tiang-tiang bambu ditancapkan ke dalam tanah untuk menahan tanah baru sebagai tanah diurungan. Model cerucuk memang sangat efektif digunakan dalam menahan terjadinya pergeseran tanah. Hal ini terbukti bahwa sejak zaman dulu masyarakat Indonesia sudah menggunakan model cerucuk ini, walaupun model yang digunakan masih sangat sederhana.

A. Model Cerucuk yang Berkembang di Masyarakat

Daya dukung tanah yang rendah merupakan akibat yang ditimbulkan oleh tanah yang memiliki tahanan geser yang rendah. Hal ini karena tahanan geser merupakan unsur utama daya dukung tanah. Tahanan geser yang rendah selalu dimiliki oleh kondisi tanah dengan konsistensi sangat lunak sampai lunak. Tahanan geser tanah yang rendah sering menimbulkan masalah, antara

lain terjadinya pergerakan tanah yang berlebihan secara horisontal pada jalan berlereng tinggi dan tidak landai. Masalah lainnya adalah terjadinya kelongsoran lereng. Hal-hal tersebut merupakan dampak dari tahanan geser tanah yang tidak cukup memiliki gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan akibat beban yang bekerja.

Upaya 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 yang perlu dijadikan perhatian bahwa suatu metode perkuatan tanah tertentu belum tentu cocok untuk jenis tanah yang lain, apalagi bila ada 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 disebut dengan sistem cerucuk. Sistem cerucuk adalah istilah yang dikenal di Indonesia. Cerucuk merupakan tiang pancang kecil berdiameter 7,5cm–25cm dipasangkan sebagai grup tiang atau tiang satu-satu secara vertikal atau miring.

Penggunaan tiang pancang (cerucuk) sebagai elemen penahan tanah sudah dilakukan di masa lalu, karena cara ini dapat memberikan solusi yang efisien, antara lain karena tiang (cerucuk) dapat diaplikasikan dengan mudah tanpa mengganggu keseimbangan lereng (DeBeer dan Wallays, 1970; Ito, dkk., 1981). Tiang pancang kayu (cerucuk) pernah digunakan sebagai perkuatan stabilitas lereng tanah yang 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).

Menyadur dari suntingan pidato Prof. Dr. Ir. R. Roeseno pada Asian Regional Conferention On Tall Building and Urban Habitat di Kuala Lumpur, 1998, menceritakan pengalamannya pada waktu membangun gedung Labo-

ratorium Unair Surabaya tingkat 4 (empat) dengan cerucuk bambu berdiameter 12 cm dan panjang 4-5 meter. Dari hasil pengalaman bapak Prof. Roeseno tersebut, ada 3 (tiga) hal penting yang perlu dicatat mengenai sistem cerucuk, yaitu:

1. Dengan pemasangan cerucuk bambu ke dalam tanah lunak maka cerucuk bambu tersebut akan memotong bidang longsor (*sliding plane*) sehingga kuat geser tanah secara keseluruhan akan meningkat.
2. Dalam pemasangan cerucuk bambu berdiameter 12 cm, jarak antar cerucuk bambu 40 cm dan panjang 4–5 m, daya dukung tanah yang semula 0,25 kg/cm² dapat meningkat sampai 0,50 kg/cm².
3. Penjelasan secara ilmiah bagaimana sistem cerucuk dapat meningkatkan kapasitas daya dukung tanah lunak perlu dikaji lebih lanjut, akan tetapi dalam praktiknya, jarak cerucuk tertentu nyatanya dapat meningkatkan daya dukung 2 (dua) kali lipat dari aslinya.

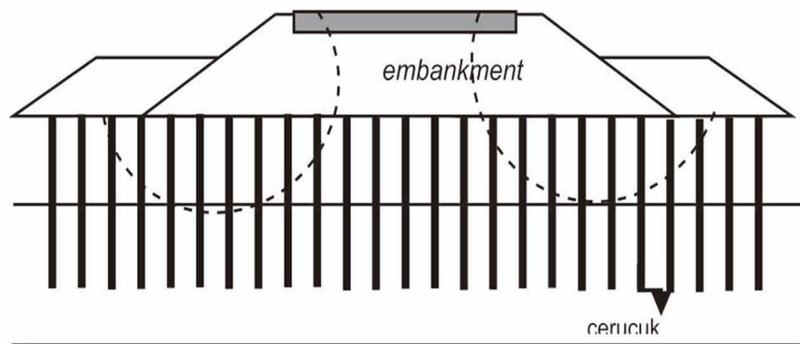
Studi daya dukung tiang cerucuk pada model skala kecil yang telah dilakukan oleh Abdul Hadi, Tesis S-2, 1990 ITB Bandung difokuskan pada daya dukung pondasi telapak bercerucuk dengan ukuran 20 x 20 cm². Dengan konfigurasi jarak cerucuk dapat disimpulkan bahwa jarak tiang cerucuk yang lebih dekat/pendek dan jumlah cerucuk semakin banyak maka akan terjadi peningkatan daya dukung pondasi telapak yang cukup besar.

Studi Daya Dukung Tanah dengan Cerucuk Bambu di pantai utara Kota Semarang dilakukan oleh Tim peneliti Universitas Katolik Sugiyapranata Semarang pada tahun 1995 (Ir. Y Daryanto dkk). Penelitian tersebut merupakan lanjutan dari Abdul Hadi dengan skala penuh yang dilakukan di daerah terboyo Semarang. Dari hasil penelitian tersebut disimpulkan bahwa pondasi cerucuk bambu tidak dapat dikatakan sebagai “Pondasi” tetapi lebih tepat merupakan perbaikan daya dukung tanah pendukung pondasi.

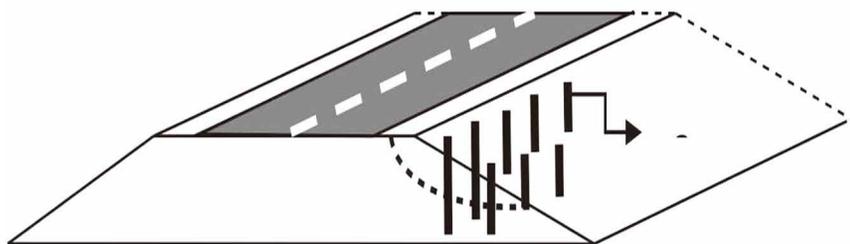
Selama ini pemakaian cerucuk cukup efektif sebagai metode alternatif perkuatan stabilitas lereng maupun perkuatan *embankment* jalan. Pada *embankment* jalan, cerucuk digunakan sebagai bahan yang kaku berfungsi untuk menaikkan stabilitas tanah. Adanya cerucuk di bawah *embankment* jalan

(ilustrasi seperti dalam Gambar 3.1) 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 (ilustrasi seperti dalam Gambar 3.2 dan 3.3). Jadi, cerucuk dapat memberikan tambahan gaya geser pada lereng dan mampu melawan gaya geser longsor yang terjadi. Tambahan gaya geser yang dihasilkan oleh cerucuk tersebut dapat meningkatkan angka keamanan (*safety factor*) stabilitas lereng (Mochtar, 2011).

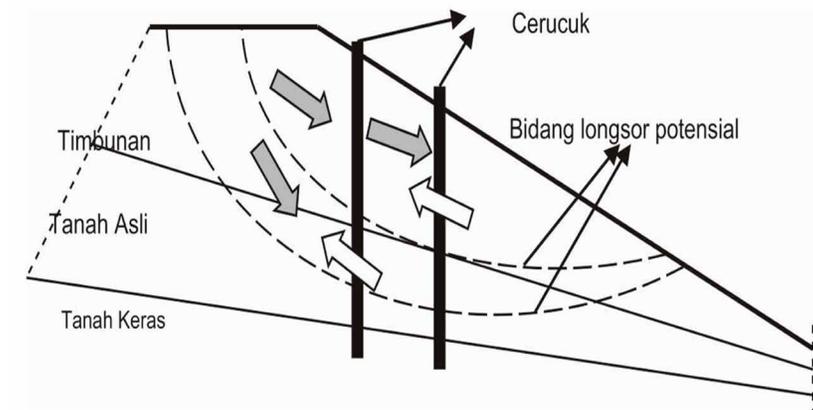
Pada awalnya, penggunaan cerucuk terbuat dari bahan kayu. Pengalaman menunjukkan pemakaian bahan seperti kayu mempunyai keterbatasan terkait umur material, memerlukan pemeliharaan dan penggantian dengan kayu yang baru dalam jangka waktu tertentu. Selain itu juga panjang batang kayu yang utuh (tanpa sambungan) umumnya terbatas.



Gambar 3.1 Ilustrasi Penggunaan Cerucuk untuk *Embankment* Jalan.



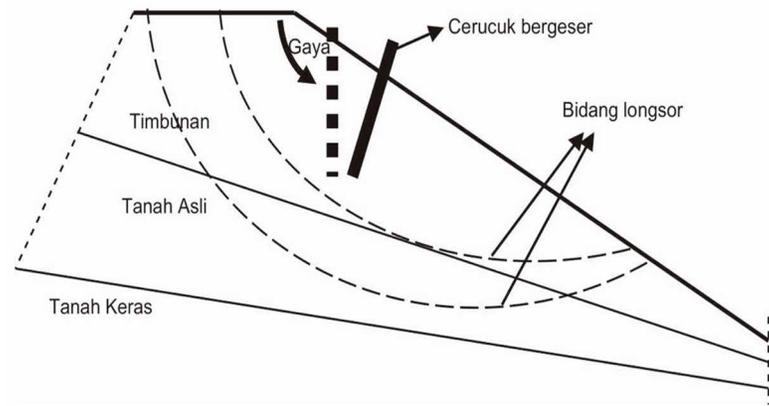
Gambar 3.2 Ilustrasi Penggunaan Cerucuk sebagai Perkuatan Lereng *Embankment* Jalan.



Gambar 3.3 Ilustrasi Penggunaan Cerucuk sebagai Perkuatan Lereng yang Dapat Memotong Lingkaran Kelongsoran Dalam.

Dalam aplikasi selanjutnya di lapangan, penggunaan tiang pancang sebagai cerucuk tidak lagi terbatas hanya pada penggunaan cerucuk kayu saja. Pada kondisi bila tinggi timbunan makin tinggi akan terjadi kemungkinan bidang kelongsoran yang makin dalam. Kondisi seperti ini tidak memungkinkan penggunaan cerucuk kayu karena cerucuk kayu memiliki panjang terbatas ($L = 3\text{m}$ sampai 6m), padahal panjang cerucuk harus melampaui bidang gesernya. Hal ini dapat mengakibatkan cerucuk kayu bergeser/longsor bersama dengan bidang tanah yang longsor (Gambar 3.4). Tiang cerucuk dapat diganti dengan tiang pancang mini (*minipiles*) dari beton atau pipa baja dengan panjang 6m sampai 12m dan dapat disambung, karena panjang cerucuk harus melebihi bidang kelongsoran yang terdalam. Di sini cerucuk merupakan tiang pondasi yang berfungsi sebagai perkuatan stabilitas lereng.

Beberapa kajian penanganan kelongsoran jalan dan stabilitas talud di lapangan menunjukkan bahwa cerucuk telah terbukti dapat meningkatkan tahanan geser tanah (Mochtar, 2011).



Gambar 3.4 Ilustrasi Penggunaan Cerucuk sebagai Perkuatan Lereng yang Tidak Memotong Lingkaran Kelongsoran Dalam.

B. Kelemahan Penggunaan Turap dalam Mengatasi Kelongsoran Lereng

Dijelaskan oleh Mochtar (2011) bahwa pada banyak kasus, penggunaan turap sebagai dinding penguat di dalam tanah yang lunak ternyata *overall stability*-nya lebih menentukan bagi stabilitas turap. Walaupun perhitungan secara turap sudah memenuhi syarat tetapi pada kenyataannya turap tersebut mengalami keruntuhan dengan bidang keruntuhan diperkirakan melewati bawah kaki turap. Pada kondisi seperti ini asumsi yang lebih mendekati kondisi sebenarnya di lapangan adalah asumsi konstruksi cerucuk.

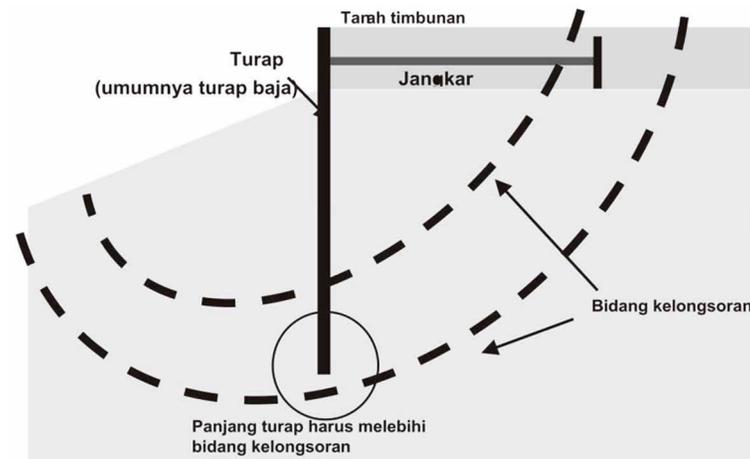
Dikatakan oleh Mochtar (2011) bahwa cerucuk memiliki kemampuan yang lebih dibandingkan turap dalam mengatasi *overall stability*. Alasannya berdasarkan pada kemampuan cerucuk yang dapat menghambat pergeseran tanah pada bidang longsonya. Cerucuk dapat dipancang sampai melewati asumsi bidang keruntuhan sirkuler yang terdalam. Pada perencanaan turap, bidang keruntuhan sirkuler yang terdalam tersebut tidak diperlukan.

Mochtar (2011) telah melakukan observasi di lapangan dan menjumpai bahwa penanganan kelongsoran lereng dengan tanah sangat lunak cukup tebal yang telah di atasi dengan pemasangan turap, peristiwa kelongsoran ataupun pergerakan tanah yang berlebihan secara horisontal masih tetap saja terjadi. Menurut Mochtar (2011) ada beberapa hal yang menjelaskan hal

tersebut, yaitu:

1. Perhitungan turap pada daerah yang memiliki lapisan tanah-tanah yang sangat lunak yang cukup tebal umumnya yang lebih menentukan adalah *overall stability* dari sistem konstruksi tanah dan turap. Jadi, perencanaan turapnya sendiri seringkali telah memenuhi syarat, tetapi *overall stability*-nya yang tidak memenuhi syarat, sebagaimana yang terlihat pada Gambar 3.5
2. Bila *overall stability* lebih menentukan dalam perhitungan stabilitas turap dan penjangkarnya, maka asumsi perhitungan yang lebih mendekati kondisi sebenarnya di lapangan adalah asumsi konstruksi cerucuk. Asumsi cerucuk didasarkan pada kemampuan turap atau tiang berfungsi serupa cerucuk, yang dapat memberikan perlawanan tambahan terhadap geser pada saat akan terjadinya pergeseran keruntuhan menurut asumsi kelongsoran berbentuk lingkaran (*circular sliding plane*). Hal ini apabila panjang turap melebihi asumsi bidang kelongsorannya.
3. Dengan kondisi *overall stability* lebih menentukan, apabila salah satu bidang kelongsoran (dengan $SF < 1,0$) ternyata melampaui ujung terdalam dari turap, jelas turap tidak akan berfungsi sebagai penahan geser sama sekali. Jadi asumsi turap tidak dapat digunakan.

Semua uraian di atas menunjukkan bahwa masih perlu adanya pemahaman yang cukup dan memadai tentang metode perkuatan tanah yang tersedia dan kesesuaiannya dalam mengatasi permasalahan di lapangan.

Gambar 3.5 Persyaratan *Overall Stability* untuk Turap.

C. Perlunya Teori Cerucuk yang Relevan untuk Mengatasi Kelongsoran Lereng

Untuk menunjang perhitungan konstruksi cerucuk yang mendekati kondisi yang ada di lapangan sangat dibutuhkan teori yang relevan mengenai cerucuk. Teori tentang cerucuk dalam perhitungan perkuatan tanah lunak untuk menambah kekuatan geser relatif sangat sedikit dan kurang memadai. Padahal, pengetahuan mendalam mengenai mekanisme peningkatan tahanan geser tanah lunak akibat adanya cerucuk sangat diperlukan agar perancangan perkuatan tanah dengan cerucuk lebih akurat.

Cukup banyak penelitian di laboratorium maupun di lapangan yang menunjukkan bahwa pengaruh gaya lateral tanah pada tiang adalah berbeda-beda pada beberapa kasus, dan belum ada teori secara menyeluruh yang dapat mengembangkan teori untuk penggunaan secara praktis (Chen, 1994). Beberapa hasil penelitian mengenai tiang lateral berupa analisis teori maupun metode empiris telah dikembangkan oleh para peneliti selama ini. Namun, hal itu berlaku hanya untuk kasus dan permasalahan tertentu saja, sebagai contoh: Poulus (1995), Poulus dan Chen (1996, 1997), dan Chen dan Poulus (1996).

Teori-teori tentang cerucuk yang ada saat ini masih sangat sedikit dan masih belum relevan untuk diaplikasikan di lapangan. Teori penambahan ta-

hanan geser dari tanah akibat adanya cerucuk oleh Mochtar (2000) masih didasarkan pada teori tiang pancang penahan gaya horisontal oleh NAVFAC DM-7 (1971). Kemudian juga hasil koreksi dan pengembangan teori Mochtar (2000) oleh Mochtar dan Arya (2002) juga masih belum memuaskan dan belum mendekati kejadian sebenarnya di lapangan.

Dalam Persamaan 1.1 ditunjukkan gaya horisontal (P_{max}) yang mampu ditahan oleh 1 (satu) cerucuk (menurut Mochtar, 2000). Sedangkan pada Persamaan 1.2 Mochtar dan Arya (2002) mengusulkan pengembangan dan koreksi terhadap Persamaan 1.1. Persamaan 1.2 tersebut dihasilkan berdasarkan hanya pengaruh diameter cerucuk, pengaruh panjang tancapan, dan pengaruh kekuatan tanah.

$$P_{max(1\ cerucuk)} = \frac{MP_{max(1\ cerucuk)}}{fm.T} \quad (1.2)$$

$$P_{max(1\ cerucuk)} = \frac{MP_{max(1\ cerucuk)}}{fm.T}, \text{ Menurut Mochtar 2011} \quad (1.1)$$

Di mana F_k (Mochtar dan Arya, 2002):

$$F_k = 2,643 \cdot \left[\frac{0,89 + 0,12L/D}{fm.T} \right] \left[\frac{0,855Cu^{-0.392}}{2,865} \right]$$

Keterangan:

P_{max} = gaya horisontal yang bekerja pada cerucuk (kg).

T = Faktor kekakuan relatif (cm).

Mp = momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat P

fm = koefisien momen akibat gaya lateral P .

L = Panjang tancap cerucuk.

D = diameter cerucuk.

Cu = kuat geser tanah *undrained*.

Dari Persamaan 3.2, menurut Mochtar dan Arya (2002) dihasilkan penambahan gaya geser yang lebih besar dibandingkan hasil perhitungan menurut Mochtar (2000). Nilai ratio antara P_{lab} dan P_{max} analitis selalu lebih

besar dari satu. Kemudian Mochtar (2011) juga berpendapat bahwa teori cerucuk yang dikembangkan oleh Mochtar (2000) dan dikoreksi oleh Mochtar dan Arya (2002) belum cukup akurat. Diduga masih ada faktor lain yang berpengaruh di lapangan yang belum terwakili dalam asumsi persamaan menurut Mochtar (2000) maupun Mochtar dan Arya (2002) tersebut. Jadi masih diperlukan lagi penyelidikan lebih lanjut.

Ditinjau dalam pelaksanaan penelitian yang telah dilakukan oleh Mochtar dan Arya (2002), ilmu pendekatan untuk cerucuk dirasa belum mendekati kondisi sebenarnya seperti yang ada di lapangan. Perlakuan benda uji pada model skala laboratorium (alat maupun bahan) belum representatif dapat mewakili seperti kondisi di lapangan. Ukuran kotak geser yang digunakan pada rangkaian alat geser langsung berukuran relatif sangat kecil, sehingga sebaran gaya yang bekerja pada interaksi tanah-cerucuk menjadi tidak optimal. Dalam penelitian oleh Mochtar dan Arya (2002) juga digunakan jumlah benda uji yang relatif sedikit. Selain itu benda uji yang ditancapi cerucuk kelompok tanpa mempertimbangkan jarak (spasi) antar cerucuk dan pengaruh posisi cerucuk dalam menerima gaya geser penyebab longsor. Jadi, dapat dinyatakan sampai saat ini belum diperoleh cukup keyakinan bagi para praktisi geoteknik bahwa perhitungan cerucuk secara empiris yang ada telah mendekati kejadian sebenarnya di lapangan.

Dalam analisis perkuatan lereng dengan menggunakan cerucuk diperlukan gaya yang bekerja pada cerucuk akibat massa tanah yang menekan cerucuk (tahanan geser tanah) dan hasil reaksi cerucuk di dalam lereng. Gaya akibat tekanan massa tanah (tahanan geser tanah) pada barisan cerucuk dapat diwakili oleh kekuatan tanah, diameter cerucuk, panjang tancap cerucuk, jumlah cerucuk, dan jarak antar cerucuk (Ito dkk, 1981; Yang dkk, 2011).

Untuk mengetahui secara mendalam mengenai mekanisme peningkatan tahanan geser tanah lunak akibat adanya cerucuk tersebut, masih diperlukan penelitian lebih lanjut. Penelitian yang dilakukan dalam buku 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 yang terdapat dalam kotak geser hasil modifikasi yang berukuran relatif besar dengan alat geser langsung. Cerucuk yang akan digunakan berupa cerucuk mini dan ditanamkan pada contoh tanah tadi. Ada beberapa variabel pengujian yang akan dilakukan, yaitu variasi konsistensi tanah kohesif lunak sampai medium, variasi rasio tancap (L/D) dan spasi cerucuk, variasi diameter dan kekakuan cerucuk, variasi pola pemasangan cerucuk, variasi posisi cerucuk (sudut bidang geser), serta variasi arah pemberian gaya geser terhadap konfigurasi cerucuk kelompok. Variasi ini sudah sesuai dengan yang diberikan pada Mochtar (2000) dan Mochtar dan Arya (2002). Diharapkan dari perilaku skala kecil tersebut dihasilkan teori mengenai cerucuk dan perumusan cerucuk yang mendekati kondisi sebenarnya di lapangan.

Penelitian ini sangat penting dilakukan untuk pemutakhiran teori perancangan konstruksi tanah-cerucuk. Formula empiris cerucuk yang akan dihasilkan dapat mendekati kondisi sebenarnya yang ada di lapangan. Kebutuhan teori dan perumusan empiris cerucuk saat ini adalah sangat mendesak. Hal ini didasarkan adanya keterbatasan lahan dan perkembangan penduduk yang terus berkembang sangat pesat di suatu wilayah. Kondisi ini menyebabkan orang terpaksa membangun pada lahan yang kurang memenuhi syarat antara lain adanya tanah lunak yang tebal dan kurang stabil di mana konstruksi tanah-cerucuk sangat diperlukan.

Bab 4

Perkembangan Teori Cerucuk

A. Gaya Cerucuk Penahan Gaya Geser Longsoran Lereng Teori Mochtar (2000) dan Teori Mochtar dan Arya (2002) Berdasarkan NAVFAC DM-7

NAVFAC DM-7 merupakan pedoman yang berasal dari Amerika untuk dapat digunakan dalam mendesain pada bidang geoteknik, seperti mendesain pondasi dalam, dinding penahan tanah, dan lain-lain. Dalam pedoman tersebut, pada sub bahasan tiang pondasi yang menerima gaya lateral terdapat 3 kasus kondisi tiang lateral (lihat Gambar 2.1), yaitu:

1. Kasus 1

Kondisi di mana tiang pondasi dengan *flexible cap* atau perletakan engsel. Di mana gaya horisontal dan momen yang bekerja terletak pada bagian kepala tiang dan dalam kondisi bebas berotasi.

2. Kasus 2

Kondisi di mana tiang pondasi dengan *rigid cap* dapat melawan gaya yang berotasi dipermukaan. Gaya horisontal bekerja pada kepala tiang.

3. Kasus 3

Kondisi di mana tiang pondasi dengan *rigid cap* yang memiliki ketinggian di atas permukaan tanah. Gaya yang berotasi dari tiang tergantung dengan pengaruh dari struktur atas dan kemampuan di bawah permukaan tanah.

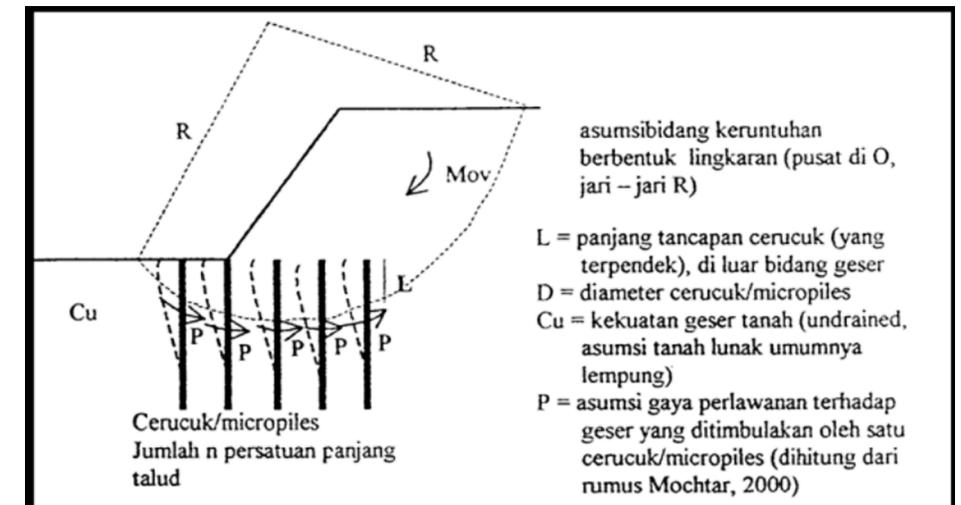
Mochtar (2000) telah mengembangkan teori penambahan tahanan geser dari tanah akibat adanya cerucuk. Teori ini berdasarkan pada teori tiang pancang penahan gaya horisontal oleh NAVFAC DM-7 (1971) khusus pada kondisi kasus 2 di atas. Pada teori tersebut, daya dukung geser tiang pancang terhadap gaya lateral 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 4.2 dan Gambar 4.3 ditunjukkan asumsi-asumsi yang digunakan dalam teori penambahan tahanan geser dari tanah akibat adanya cerucuk oleh Mochtar (2000) adalah sebagai berikut:

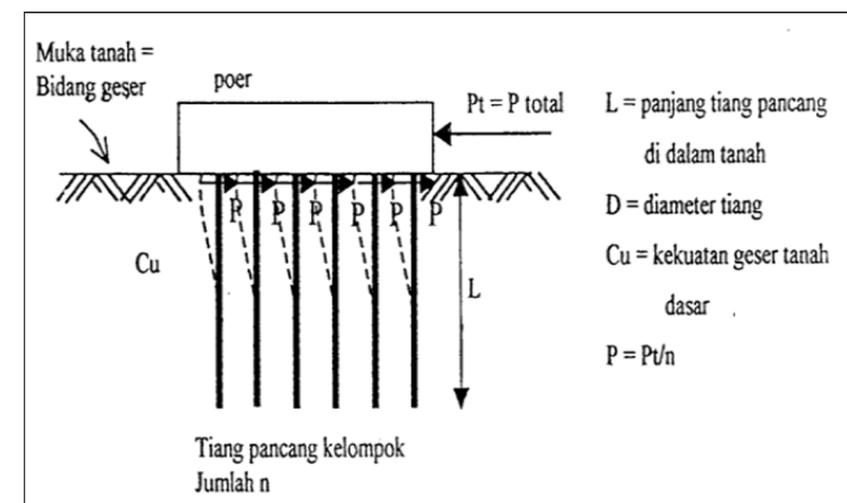
1. Kelompok cerucuk dianggap sebagai kelompok tiang dengan *rigid cap* di muka tanah yang menerima gaya horisontal.
2. Gaya horisontal tersebut merupakan tegangan geser yang terjadi di sepanjang bidang gelincir.

CASE I. FLEXIBLE CAP, ELEVATED POSITION		
CONDITION	LOAD AT GROUND LINE	DESIGN PROCEDURE
<p>$n = \text{NUMBER OF PILES}$</p>	<p>FOR EACH PILE:</p> $P = \frac{P_T}{n}$ $M = PH$ <p>DEFLECTED POSITION</p>	<p>FOR DEFINITION OF PARAMETERS SEE FIGURE 12</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. COMPUTE RELATIVE STIFFNESS FACTOR. $T = (\frac{EI}{k})^{1/5}$ 2. SELECT CURVE FOR PROPER $\frac{L}{T}$ IN FIGURE 11. 3. OBTAIN COEFFICIENTS F_B, F_M, F_V AT DEPTHS DESIRED. 4. COMPUTE DEFLECTION, MOMENT AND SHEAR AT DESIRED DEPTHS USING FORMULAS OF FIGURE 11. <p>NOTE: "f" VALUES FROM FIGURE 9 AND CONVERT TO LB/IN³.</p>
CASE II. PILES WITH RIGID CAP AT GROUND SURFACE		
		<ol style="list-style-type: none"> 1. PROCEED AS IN STEP 1, CASE I. 2. COMPUTE DEFLECTION AND MOMENT AT DESIRED DEPTHS USING COEFFICIENTS F_B, F_M AND FORMULAS OF FIGURE 12. 3. MAXIMUM SHEAR OCCURS AT TOP OF PILE AND EQUALS $P = \frac{P_T}{n}$ IN EACH PILE.
CASE III. RIGID CAP, ELEVATED POSITION		
	<p>DEFLECTED POSITION</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. ASSUME A HINGE AT POINT A WITH A BALANCING MOMENT M APPLIED AT POINT A. 2. COMPUTE SLOPE θ_2 ABOVE GROUND AS A FUNCTION OF M FROM CHARACTERISTICS OF SUPERSTRUCTURE. 3. COMPUTE SLOPE θ_1 FROM SLOPE COEFFICIENTS OF FIGURE 13 AS FOLLOWS: $\theta_1 = F_{\theta} \left(\frac{P_T^2}{EI} \right) + F_{\theta} \left(\frac{MT}{EI} \right)$ 4. EQUATE $\theta_1 = \theta_2$ AND SOLVE FOR VALUE OF M. 5. KNOWING VALUES OF P AND M, SOLVE FOR DEFLECTION, SHEAR, AND MOMENT AS IN CASE I. <p>NOTE: IF GROUND SURFACE AT PILE LOCATION IS INCLINED, LOAD P TAKEN BY EACH PILE IS PROPORTIONAL TO I/H_0^3.</p>

Gambar 4.1 Prosedur Desain untuk Tiang yang Menerima Beban Lateral.

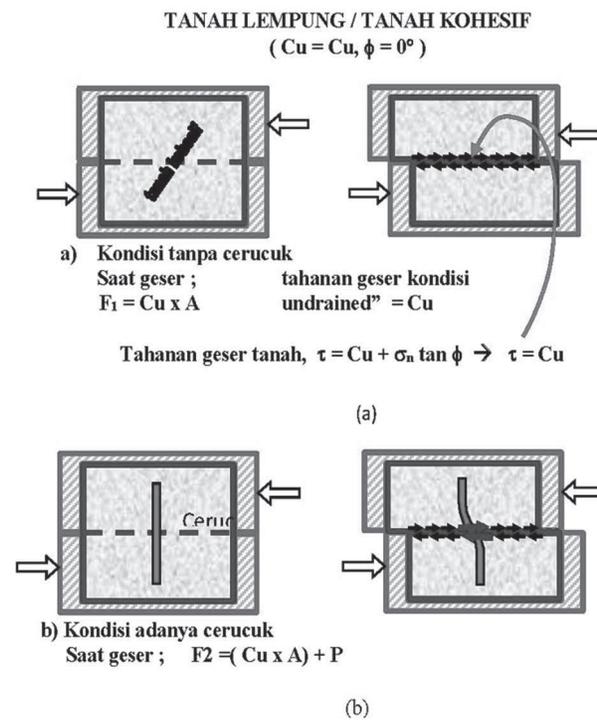


Gambar 4.2. Asumsi Kedudukan Cerucuk/Micropiles sebagai Penahan terhadap Keruntuhan Geser di Lapangan.



Gambar 4.3. Asumsi Tiang Pancang Kelompok Menahan Gaya Lateral yang Digunakan sebagai Dasar Mencari Tahanan Geser Cerucuk (Mochtar 2000, dari NAVFAC DM-7, 1971).

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. Dalam Gambar 4.4 dijelaskan bahwa dengan adanya cerucuk pada tanah, maka kekuatan geser tanah menjadi meningkat dibandingkan pada kondisi tanpa cerucuk.



Gambar 4.4 Sketsa Peningkatan Kekuatan Geser Tanah Akibat Pemasangan Cerucuk (Mochtar, 2000).

(a) Kondisi tanpa Cerucuk (b) Kondisi adanya Cerucuk.

Dalam teori Mochtar (2000) untuk menghitung kebutuhan cerucuk per meter, terlebih dahulu ditentukan kekuatan 1 (satu) cerucuk untuk menahan gaya horisontal. Pada Persamaan 2.1 menunjukkan gaya horisontal (P) yang mampu ditahan oleh 1 (satu) tiang. Dalam persamaan tersebut, gaya horisontal (P) merupakan fungsi perbandingan dari momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat beban P (M_p) dengan koefisien momen akibat gaya lateral P (F_m) dan faktor kekakuan relatif (T).

$$P = \frac{MP}{F_m \times T} \quad (2.1)$$

dengan:

M_p = momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat beban P-kgcm

F_M = koefisien momen akibat gaya lateral P

P = gaya horisontal yang diterima cerucuk, kg

T = faktor kekakuan relatif, cm

Persamaan 2.2 di atas adalah untuk menentukan kekuatan 1 (satu) buah cerucuk untuk menahan gaya horisontal oleh Mochtar (2000). Persamaan tersebut kemudian dikembangkan oleh Mochtar dan Arya (2002). Mochtar dan Arya (2002) telah menambahkan faktor koreksi yang mempertimbangkan pengaruh jenis tanah, kedalaman tancap cerucuk, diameter cerucuk, dan jumlah cerucuk. Sehingga Persamaan 2.1 menjadi:

$$P_{\max (1 \text{ cerucuk})} = \frac{MP_{\max (1 \text{ cerucuk})}}{f_m.T} \quad (2.2)$$

Di mana:

$$F_k = 2,643 \cdot \left[\frac{0,89 + 0,12L/D}{f_m.T} \right] \left[\frac{0,855C_u^{-0.392}}{2,865} \right]$$

B. 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.
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*, dan lain-lain), dan metode analisis keseimbangan batas. Berikut diuraikan hasil kajian para peneliti mengenai hal itu, di antaranya 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 di bawah permukaan bidang gelincir. Hal ini karena dapat memperkecil deformasi yang terjadi pada cerucuk. Apabila jenis tanah yang berada di atas 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 di atas 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 di tengah lereng (di antara 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 di bawah 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.

Lee, dkk. (1995) telah menunjukkan identifikasi dan optimalisasi beberapa faktor penting yang dapat mengontrol kemampuan tiang (dalam hal ini dapat disebut dengan istilah cerucuk) yang digunakan untuk memperkuat stabilitas lereng. Faktor-faktor penting tersebut berdasarkan hasil analisis menggunakan metode elemen batas yang disederhanakan. Dalam hal mendapatkan lingkaran kelongsoran lereng digunakan metode konvensional cara Bishop yang disederhanakan. Parameter tanah yang digunakan pada model lereng merupakan data asumsi jenis tanah lempung dengan tingkat konsistensi medium sampai kaku.

Hasil analisis menunjukkan bahwa diameter cerucuk, spasi cerucuk, dan tekanan batas sistem tanah-cerucuk merupakan faktor yang mempengaruhi kemampuan stabilitas lereng-cerucuk. Faktor keamanan (SF) stabilitas lereng menjadi meningkat dengan meningkatnya diameter cerucuk yang digunakan. Apabila spasi cerucuk yang diterapkan semakin besar maka kontribusi kemampuan cerucuk terhadap momen penahan menjadi semakin kecil. Faktor keamanan stabilitas lereng yang maksimal dapat dihasilkan oleh cerucuk yang diposisikan pada lokasi dekat kaki lereng maupun kepala (atas) lereng dibandingkan tepat di tengah lereng. Di mana posisi cerucuk yang lebih mendekati dengan kaki lereng akan menghasilkan faktor keamanan (SF) yang paling efektif.

Yang, dkk. (2011) telah melakukan studi mengenai pengaruh panjang tancap tiang pada lereng yang diperkuat dengan 1 (satu) baris tiang (dalam hal ini dapat disebut sebagai cerucuk). Parameter-parameter yang telah distudi adalah panjang tancap cerucuk, jarak antar cerucuk, kekakuan cerucuk, sifat tanah sepanjang cerucuk, dan perilaku cerucuk.

Dalam analisis studinya menggunakan pemodelan matematis dengan simulasi numerik dan *finite element* dengan bantuan bahasa pemrograman FLAC-3D. Metode reduksi tegangan geser elastoplastis-3D juga digunakan untuk menganalisa panjang tancap cerucuk penahan kelongsoran.

Hasil studinya menunjukkan bahwa kondisi jarak cerucuk dan kondisi kepala cerucuk dapat memberikan pengaruh terhadap panjang tancapan kritis cerucuk. Semakin meningkatnya panjang tancap cerucuk akan meningkatkan faktor keamanan (SF) stabilitas lereng. Panjang tancap cerucuk akan menjadi kecil pada lereng dengan jenis tanah lempung dibandingkan daripada jenis tanah pasir. Selain itu juga dijelaskan bahwa spasi cerucuk yang kecil (rapat) dan modulus Young cerucuk yang besar dapat meningkatkan kemampuan stabilitas lereng yang menghasilkan faktor keamanan lereng yang semakin besar. Sedangkan momen lentur cerucuk dapat meningkat seiring dengan semakin panjangnya cerucuk.

Ito, dkk (1981) telah menunjukkan sebagian parameter-parameter yang mempengaruhi stabilitas lereng dengan tiang (cerucuk). Metode analisis yang digunakan yaitu metode keseimbangan batas dan pemodelan matematis (pengembangan teori Ito dan Matsui: 1975, 1979). Dalam hasil analisisnya menyimpulkan bahwa spasi (jarak) antar cerucuk dapat memberikan pengaruh yang besar terhadap stabilitas kelongsoran. Faktor keamanan (SF) stabilitas lereng-cerucuk akan meningkat seiring dengan meningkatnya rasio $D2/D1$ ($D2$ adalah jarak antar cerucuk diukur dari sisi terluar cerucuk yang saling berdekatan, $D1$ adalah jarak antar titik pusat penampang cerucuk). Pada penggunaan diameter dan kekakuan cerucuk yang semakin besar akan dapat meningkatkan faktor keamanan stabilitas lereng tersebut.

Hasil penelitian tersebut juga telah menyimpulkan bahwa faktor keamanan stabilitas lereng akan semakin menurun apabila panjang cerucuk di atas permukaan bidang longsor semakin besar. Hal ini disebabkan karena reaksi lateral yang terjadi pada cerucuk akan meningkat seiring dengan meningkatnya panjang cerucuk di atas bidang longsor.

Jeong, dkk (2003) telah melakukan kajian sistem lereng-tiang (cerucuk) untuk menahan gaya lateral berdasarkan studi analitis dan studi numerik. Penentuan parameter-parameter yang mempengaruhi permasalahan stabilitas lereng cerucuk menggunakan pendekatan numerik yang disederhanakan dengan *finite element non-linier* 3D dan bantuan bahasa pemrograman.

Hasil studi menyimpulkan bahwa apabila posisi cerucuk diletakkan di antara sisi tengah lereng dan sisi kaki lereng akan menghasilkan faktor keamanan stabilitas lereng yang efektif. Namun faktor keamanan stabilitas lereng akan menurun bila posisi cerucuk terletak di antara sisi tengah lereng dan sisi atas lereng (kepala lereng). Selain itu juga disimpulkan bahwa semakin besar spasi cerucuk yang diberikan, maka semakin kecil faktor keamanan stabilitas lereng yang dihasilkan.

Won, dkk (2005) telah melakukan studi analisis sistem tiang (cerucuk) dan lereng pada model stabilitas lereng tanah lempung. Studi analisis menggunakan analisa keseimbangan batas dan metode *finite element* dan bantuan bahasa pemrograman FLAC-3D. Hasil studi menunjukkan bahwa kekakuan cerucuk dapat mempengaruhi perpindahan cerucuk di dalam lereng, di mana semakin kaku cerucuk maka semakin kecil perpindahan cerucuk yang akan terjadi. Posisi cerucuk yang berada tepat di bagian tengah lereng akan menghasilkan faktor keamanan stabilitas lereng yang terbesar (hal ini bertolak belakang dengan hasil studi Lee, dkk: 1995). Di samping itu apabila spasi cerucuk yang digunakan adalah besar, maka akan menurunkan faktor keamanan stabilitas lereng.

Wei dan Cheng (2009) telah melakukan studi analisis reduksi tegangan pada lereng yang diperkuat oleh 1 (satu) baris cerucuk. Pemodelan *finite element* dan metode SRM (reduksi tegangan geser) digunakan dalam studi analisisnya. Dalam analisisnya bentuk lereng dimodelkan memiliki ketinggian 10m dan ditancapi dengan cerucuk sampai kedalaman tanah keras dengan 1 baris cerucuk (3 batang) yang berdiameter 0,8m. Hasil studi menunjukkan bahwa faktor keamanan (SF) stabilitas lereng akan menjadi kecil apabila spasi cerucuk semakin besar. Pada cerucuk dengan spasi yang rapat akan menghasilkan letak permukaan longsor kritis yang dangkal. Selain itu da-

lam analisisnya juga menjelaskan bahwa posisi cerucuk tepat di bagian tengah lereng akan menghasilkan SF yang terbesar, namun hal ini masih tergantung dengan rasio S/D (S adalah spasi cerucuk, D adalah diameter cerucuk).

Bab 5

Desain Pondasi Cerucuk

Banyak daerah di Indonesia yang terdiri dari daerah lembek dan gambut. Oleh karena sifatnya yang lunak maka diperlukan teknik yang sesuai untuk membangun konstruksi yang kuat di atasnya. Pembangunan konstruksi di atas tanah lunak akan menyebabkan terjadinya penurunan (*settlement*). Hal ini umumnya disebabkan oleh berat beban yang dipikul oleh tanah lunak tersebut. Salah satu teknik untuk mengatasi yaitu dengan pemasangan pondasi cerucuk.

Pondasi cerucuk, yaitu salah satu jenis pondasi yang biasanya digunakan pada di daerah dengan kondisi tanah yang kurang stabil seperti jenis tanah lembek ataupun tanah gambut dengan elevasi muka air yang cukup tinggi. Ketinggian pondasi cerucuk dapat dipengaruhi oleh muka air pasang surut. Untuk perencanaan kedalaman dan jarak antara tiang pancang harus dilakukan berdasarkan pemeriksaan tanah.

A. Pondasi Cerucuk Cakar Ayam

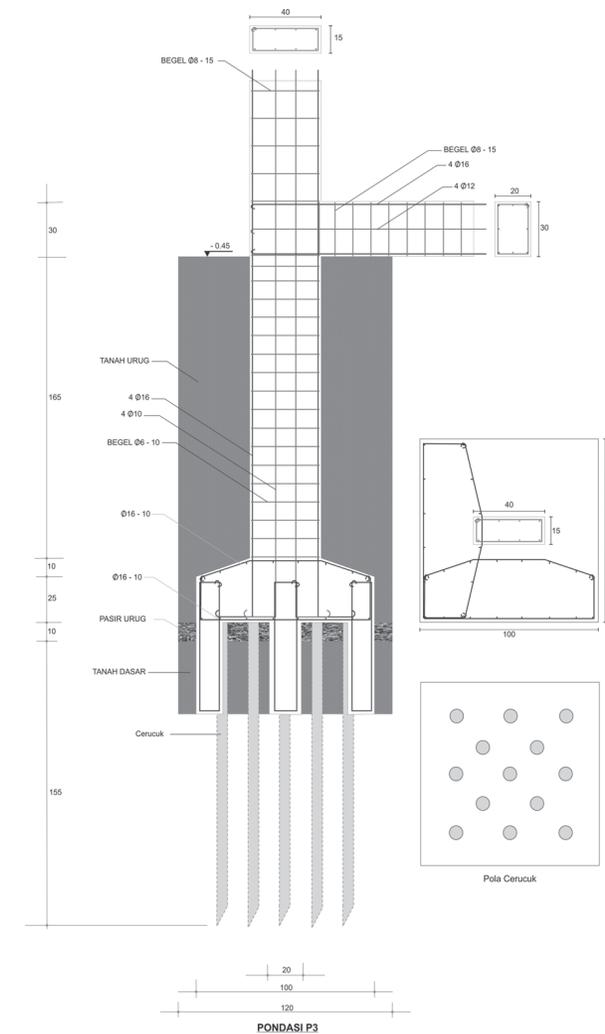
Cerucuk cakar ayam ini biasanya digunakan untuk membangun bangunan di lahan yang memiliki tanah labih atau mudah bergeser, seperti di pinggir danau, di rawa, lahan urugan, atau di daerah-daerah yang memiliki kemiringan tanah dan tanahnya mudah bergerak. Cerucuk cakar ayam ini sangat penting untuk digunakan dalam membangun gedung atau rumah pada lahan-lahan tanah tersebut. Cerucuk difungsikan untuk memperkuat tanah agar pada saat hujan deras tidak mudah bergeser atau bergerak. Jika kita perhatikan pada saat sekarang ini, dalam pengerjaan bangunan tanpa mem-

pertimbangkan/menghitung tingkat kepadatan tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan bisa berakibat fatal, dan tidak jarang efek buruk dari kecerobohan tersebut terjadi ketika bangunan sudah selesai & ditempati.

Banyak faktor yang harus diperhatikan dalam membangun pondasi agar bangunan bisa berdiri tanpa bergeser maupun ambles, antara lain kita harus memperhatikan faktor struktur lahan, tingkat kepadatan tanah, & daya serap air. Perlakuan pada lahan bakal bangunan, jenis pondasi yang akan dipakai & tingkat kedalamannya pun akan berbeda menyesuaikan jenis tanahnya.

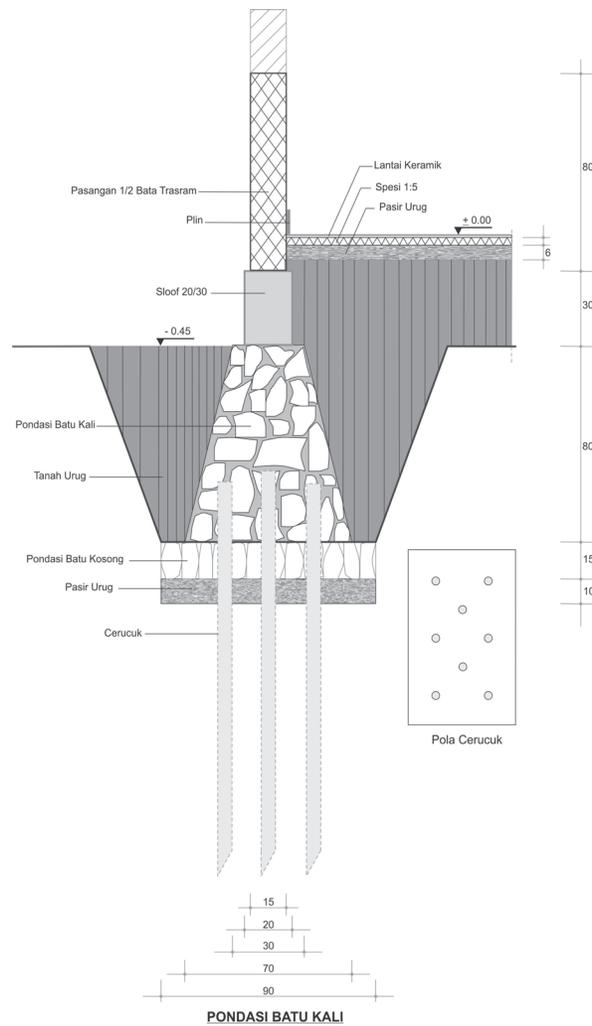
Bangunan yang berdiri di atas lahan bekas tambak dan jenis tanahnya adalah endapan lumpur hitam kasar yang mongering tentu akan rawan terjadinya amblesan pada tanah. Tanah endapan lumpur hitam adalah jenis tanah yang sangat labil karena sifatnya yang tidak begitu melekat antar butiran tanah & mudah sekali diencerkan dengan air. Pada lahan bekas endapan yang biasanya berupa tanah bekas rawa, pendangkalan sungai, bekas tambak, sawah, dll. tidak bisa asal pasang pondasi.

Untuk memasang pondasi bangunan pada lahan seperti ini tentu harus menggunakan teknik yang dapat memperkuat tanah agar tidak mudah bergerak. Jika tanah di bawah bangunan tidak mudah bergerak, tentu bangunan yang ada di atasnya pun akan berdiri kokoh. Salah satu teknik yang dapat Anda gunakan adalah menggunakan teknik pondasi cerucuk cakar ayam. Penanaman cerucuk ini pada tanah labil adalah kebutuhan yang sangat vital karena cerucuk akan berfungsi sebagai “akar” yang akan mengikat & mempertahankan kepadatan tanah dasarnya atas tekanan beban bangunan. Setelah itu, baru di atasnya bisa dipasang struktur pondasi cakar ayam. Penanaman cerucuk minimal 125 cm, dan semakin dalam maka semakin bagus.



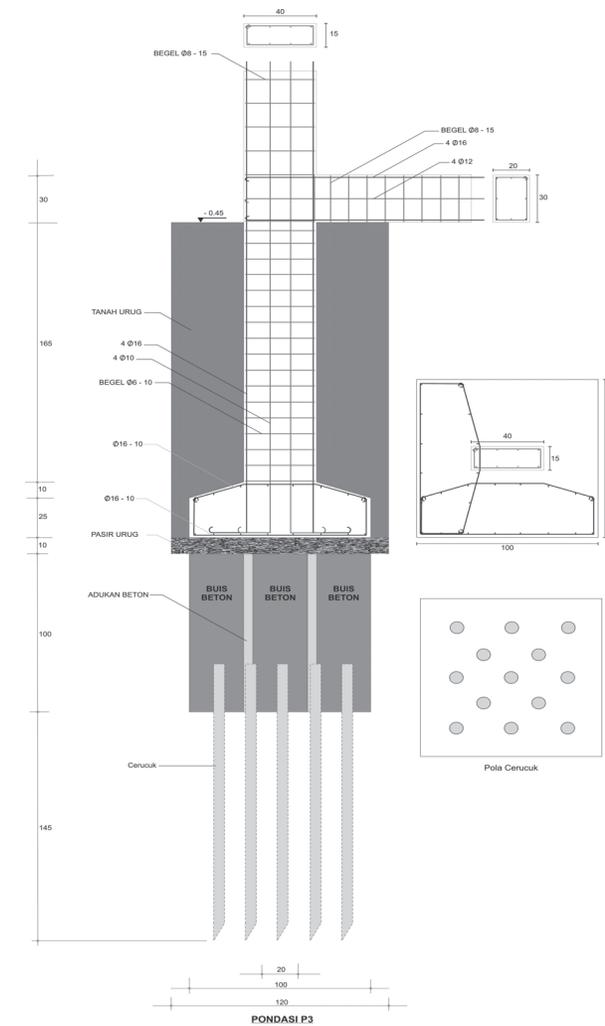
Gambar 5.1 Pondasi Cakar Ayam dengan Cerucuk.
Sumber: <https://cahwedung.wordpress.com/>.

Penanaman cerucuk pada dasar pondasi batu kali juga harus, agar pondasi batu kali tidak mudah ambles oleh beban bangunan.



Gambar 5.2 Pondasi Batu Kali dengan Cerucuk.
Sumber: <https://cahwedung.wordpress.com/>.

Pada lahan bertanah labil seperti di atas bisa saja memakai pondasi jenis *footplat* jika dinilai membuat pondasi cakar ayam terlalu ribet bagi tukang yang kurang ahli, tapi sebelumnya tetap harus ditanamkan cerucuk sebagai “akar”, lalu di atasnya dikasih buis beton yang di dalamnya dan di selaselanya diisi adukan cor hingga padat, ini berfungsi sebagai landasan untuk peletakan pondasi *footplat*.



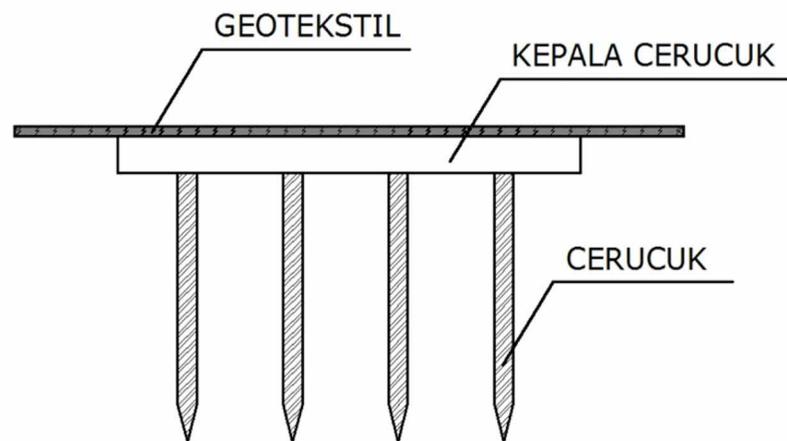
Gambar 5.3 Pondasi *Footplat* dengan Cerucuk.
Sumber: <https://cahwedung.wordpress.com/>.

Perlu diketahui bahwa pemasangan cerucuk sebagai “akar” untuk mempertahankan kepadatan tanah ini sangat banyak membantu, tidak hanya berlaku untuk bangunan rumah saja, pemasangan cerucuk juga seringkali menjadi antisipasi dan solusi bagi proyek pembangunan jalan skala kecil pada tanah yang strukturnya labil agar jalannya tidak mudah ambyar ataupun ambles ketika mendapat tekanan beban kendaraan terutama kendaraan truk yang seringkali muatannya melebihi batas tonase beban jalan.

B. Pondasi Cerucuk Kayu Galam

Pada umumnya tanah lembek dan tanah gambut banyak terdapat di daerah rawa dengan muka air cukup tinggi, sehingga sangat berpengaruh terhadap pelaksanaan konstruksi. Umumnya dipengaruhi pasang surut, yang sangat berpengaruh terhadap elevasi rencana kepala tiang. Pada permukaan lahan sering dijumpai tunggul-tunggul kayu, yang umumnya tidak perlu dicabut.

Cerucuk Kayu adalah susunan tiang kayu dengan diameter atau ukuran sisi antara 8 dan 15 cm yang dimasukkan ke dalam tanah sehingga berfungsi sebagai pondasi.



Gambar 5.4 Desain Pemasangan Pondasi Cerucuk Kayu.
Sumber: <https://www.konsultan-teknik.biz.id/>.

Untuk memasang pondasi cerucuk kayu, diperlukan material yang digunakan dalam pemasangan cerucuk, yaitu:

1. Cerucuk

Cerucuk merupakan material utama yang akan ditancapkan ke dalam tanah sebagai material penahan tanah agar tidak terjadi adanya geser tanah. Cerucuk yang digunakan adalah cerucuk berbahan kayu.

Agar cerucuk kayu bisa bekerja dengan maksimal dalam menahan geser tanah, tentu harus diperhatikan beberapa hal berikut:

- Kulit kayu untuk bahan cerucuk tidak perlu dikupas.

- Cerucuk kayu yang digunakan dapat berupa batang kayu atau hasil olahan dengan spesifikasi seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel Persyaratan Cerucuk Kayu.

Uraian	Persyaratan
Diameter	Minimum 8 Cm,, maksimum 15 cm
Panjang	Minimum 3,5m, maksimum 6 in
Kelurusan	Cukup lurus, tidak belok dan bercabang
Kekuatan	Minimum kelas kuat II I PKKI 1973
Tegangan	Minimum Was kuat III untuk mutu A PKKI 1973

2. Lantai kerja

Berupa bahan lokal setempat yaitu tanah lempung, tanah organik, pasir kuarsa, dengan cara PLTB (Penyiapan Lahan Tanpa Bakar).

3. Bahan timbunan

4. Kepala Tiang

- Papan kayu.
- Tiang kayu dengan dimensi dan kekuatan yang sama dengan cerucuk.
- Paku panjang minimum 1,5 diameter kayu yang akan dipaku.
- Tanah yang telah distabilisasi sehingga berfungsi untuk menyatukan kelompok tiang dalam menerima beban dan penyeragaman penurunan.
- Kawat untuk mengikat tiang-tiang satu sama lain.
- Pelat besi penutup tiang.

Dalam pemasangan cerucuk kayu, tentu menggunakan alat. Adapun peralatan yang digunakan dalam memasang cerucuk kayu adalah:

- Gergaji kayu.
- Kapak.
- Palu 5 kg.
- Linggis.

- 5) Cangkul.
- 6) Alat pengangkut tanah.
- 7) Alat pancang cerucuk.
- 8) Alas pemukul tiang.
- 9) Perancah atau platform dari susunan drum-drum dan papan kayu.
- 10) Back Hoe.
- 11) Mesin Las.

Setelah materi dan peralatan yang akan digunakan dalam pemasangan cerucuk kayu, selanjutnya melaksanakan pemasangan cerucuk kayu. Adapun teknis pelaksanaan cerucuk kayu adalah:

1. Pemasangan cerucuk kayu dapat menggunakan tenaga manusia, alat pancang cerucuk atau dengan Back Hoe.
2. Lantai kerja, dengan muka air cukup tinggi, maka lokasi pemasangan cerucuk dapat diurug terlebih dahulu dengan material setempat. Bila menggunakan alat pancang cerucuk harus diberi landasan dari balok atau papan kayu.
3. Di atas pondasi cerucuk kayu yang diberi kepala tiang yang selanjutnya dibentuk timbunan badan jalan sesuai dengan spesifikasi bahan timbunan yang diuraikan pada lampiran B (diambil dari seksi 3.2, Spesifikasi Umum).
4. Pelaksanaan cerucuk kayu harus sesuai dengan pedoman yang diuraikan dalam "Tata Cara Perencanaan Pondasi di Atas Tanah Lempung, Organik dan Tanah Gambut".

Berikut cara pemasangan kepala tiang cerucuk, yaitu:

1. Kepala tiang dari balok kayu atau papan
 - a. Sistem paku

Hubungkan kepala tiang dengan cerucuk menggunakan paku, yang dipakukan dari atas kepala tiang sampai masuk ke dalam tiang cerucuk pada barisan arah melintang jalan.

Agar tiang cerucuk menjadi satu kesatuan maka pada arah memanjang jalan dapat dipasang balok kayu atau papan dengan jarak dari sumbu ke sumbu 1,00 meter yang menumpu pada kepala tiang arah melintang jalan dan diperkuat dengan paku.

b. Sistem gapit

Hubungan kepala tiang dengan cerucuk dibuat Sistem gapit. Diperlukan 2 (dua) balok kayu arah melintang jalan untuk menggapit 1 (satu baris) cerucuk arah melintang jalan dengan cara dipaku. Arah sejajar memanjang jalan juga diberi kepala tiang dengan jarak sumbu ke sumbu 1,00 meter.

2. Kepala tiang dari matras

- a. Buat lantai kerja untuk hamparan matras, dari bahan timbunan lokal yang berfungsi untuk meratakan tempat dudukan matras.
- b. Hampar matras, yang terdiri atas stabilisasi tanah dengan semen atau beton kurus. Usahakan agar bagian ujung atas cerucuk menyatu dengan matras pada ketebalan rencana.

Setelah pemasangan cerucuk dan kepala cerucuk kayu dilakukan, selanjutnya adalah pemasangan lapis pemisah. Lapis pemisah dipasang untuk mencegah lolosnya bahan timbunan yang melewati celah-celah kepala tiang. Bahan pemisah menggunakan geotekstil lokal atau dari bilik bambu. Pasang bahan lapis pemisah selebar permukaan kepala tiang yang telah dipasang, dengan diberi tambahan lebar satu meter pada bagian kiri dan kanannya.

Selanjutnya adalah penimbunan material. Berikut cara penimbunan material tanah pada lahan atau lokasi yang sudah dipasang cerucuk kayu, yaitu:

- a. Tebal timbunan jalan minimum satu meter.
- b. Bila lapis pemisah merupakan bahan hasil pabrikasi, timbunan lapisan pertama setebal 1/2 m padat harus berupa tanah berbutir.
- c. Bila digunakan lapis pemisah anyaman bambu (bilik) maka timbunan lapis pertama 1/2 m padat tidak perlu digunakan tanah berbutir, te-

tapi tidak disarankan menggunakan bahan dari tanah organik atau tanah gambut.

- d. Lapis timbunan berikutnya menggunakan bahan timbunan sesuai dengan persyaratan atau spesifikasi yang terdapat pada Seksi 3.1, Spesifikasi Umum, Bina Marga.

C. Pondasi Cerucuk Bambu

Persyaratan dari cerucuk bambu yang di pancang adalah bahan bambu yang dipergunakan harus cukup tua, berkualitas baik, dan tidak cacat. Sebelum bambu digunakan, harus diawetkan terlebih dahulu.

Pengawetan bambu bertujuan untuk menaikkan umur pakai dan nilai ekonomis bambu. Apapun spesies bambunya. Suatu metode pengawetan dikatakan ekonomis apabila umur pakai bambu dapat mencapai waktu 10–15 tahun; untuk bambu dalam keadaan terbuka, dan 15–25 tahun untuk bambu yang diberi perlindungan tertentu. Beberapa metode pengawetan bambu yang dapat diterapkan adalah:

1. Metode *Butt Treatment*

Bagian bawah batang bambu yang baru dipotong diletakkan di dalam tangki yang berisi larutan pengawet Cabang dan daun pada batang tetap disisakan. Larutan pengawet tersebut akan mengalir ke dalam pembuluh batang karena proses transpirasi daun masih berlangsung. Karena prosesnya memakan waktu yang lama, metode ini hanya tepat diterapkan pada batang bambu yang pendek dan berkadar air tinggi.

2. Metode *Tangki Terbuka*

Metode ini termasuk metode yang ekonomis, sederhana serta memberi efek perlindungan yang baik. Metode ini tidak memerlukan teknik instalasi yang rumit. Batang dengan ukuran tertentu, direndam selama beberapa hari dalam campuran yang terdiri dari air dan larutan bahan pengawet. Penggunaan bambu yang telah dibelah dapat mengurangi lama perendaman sebanyak satu setengah kali. Konsentrasi larutan pengawet yang digunakan

untuk bambu yang baru dipotong harus lebih tinggi dibanding bambu yang telah dikeringkan dengan penganginan. Lama perendaman tergantung pada jenis bahan pengawet, spesies bambu dan kondisi batang. Penggarukan kulit bagian luar dapat mempercepat penetrasi larutan pengawet.

3. Metode *Kimia Sederhana*

Bambu segar yang baru ditebang, didirikan terbalik. Pada ujung bambu bagian atas, dimasukkan tabung yang berisi minyak solar. Karena gaya gravitasi, minyak solar ini akan mendesak keluar cairan yang terkandung dalam batang bambu. Proses ini memakan waktu satu minggu.

Setelah bambu sudah dipersiapkan dari hasil pengawetan, selanjutnya adalah persiapan pengukuran. Persiapan pengukuran sangat perlu untuk dilakukan karena dibutuhkan untuk mengetahui posisi titik dari pemanca-

ngan. Alat yang digunakan yaitu:

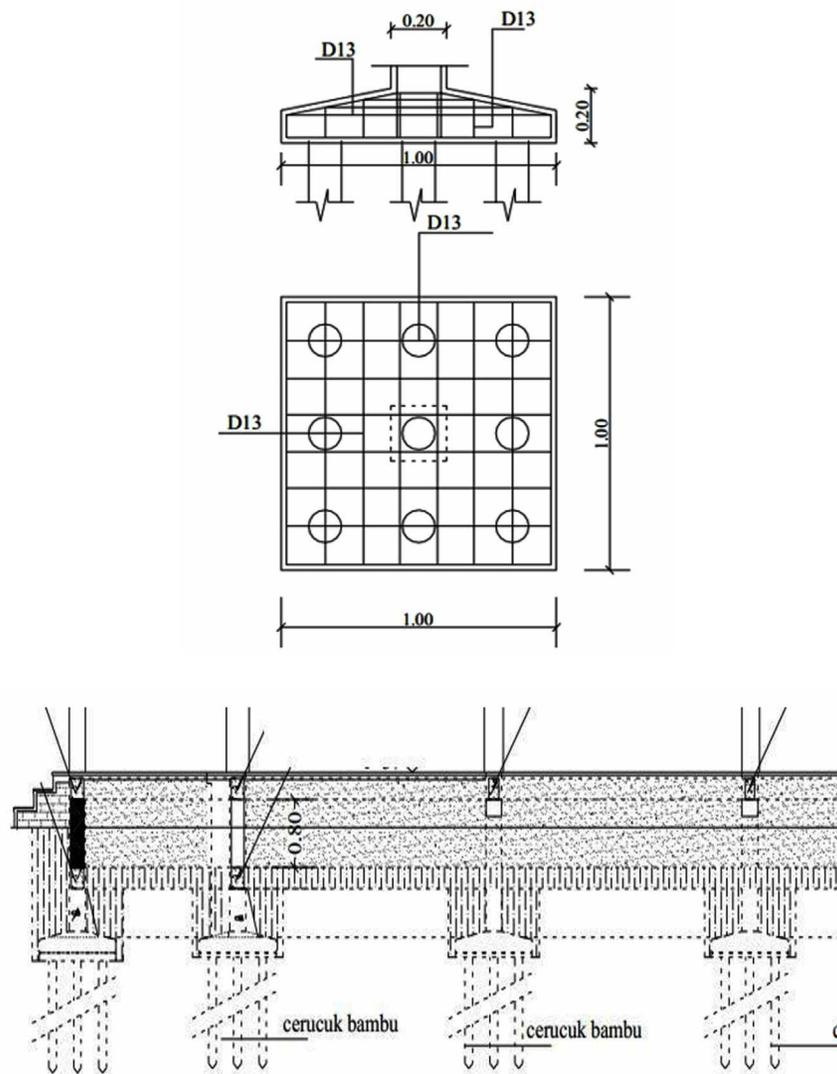
1. Theodolit: 1 buah.
2. Kayu/tongkat tanda.
3. Meteran.
4. Persiapan tenaga.

Adapun tenaga yang diperlukan meliputi:

- o Pelaksana: 1 orang
- o Pelaksana Pengukuran: 1 orang
- o Asisten Pengukuran: 2 orang
- o Pekerja Kasar: 5 orang

Peralatan yang harus disiapkan meliputi:

- o Cek kesiapan alat-alat yang digunakan.
- o Cek kualitas bahan cerucuk bambu.
- o Diadakan kontrol sebelum pelaksanaan di mulai.



Gambar 5.5 Model Pondasi Cerucuk Bambu.
Sumber: <https://samsyr.files.wordpress.com/>.

Berikut tahap pemasangan cerucuk bambu, yaitu:

1. Sebelum digunakan bambu harus diperiksa terlebih dahulu sebelum dipancang untuk memastikan bahwa bambu tersebut memenuhi ketentuan dari bahan dan toleransi yang diizinkan.
2. Sebelum pemancangan, tindakan pencegahan kerusakan pada cerucuk bambu harus diambil. Pencegahan ini dapat dilakukan dengan memasang cincin baja atau besi yang kuat.

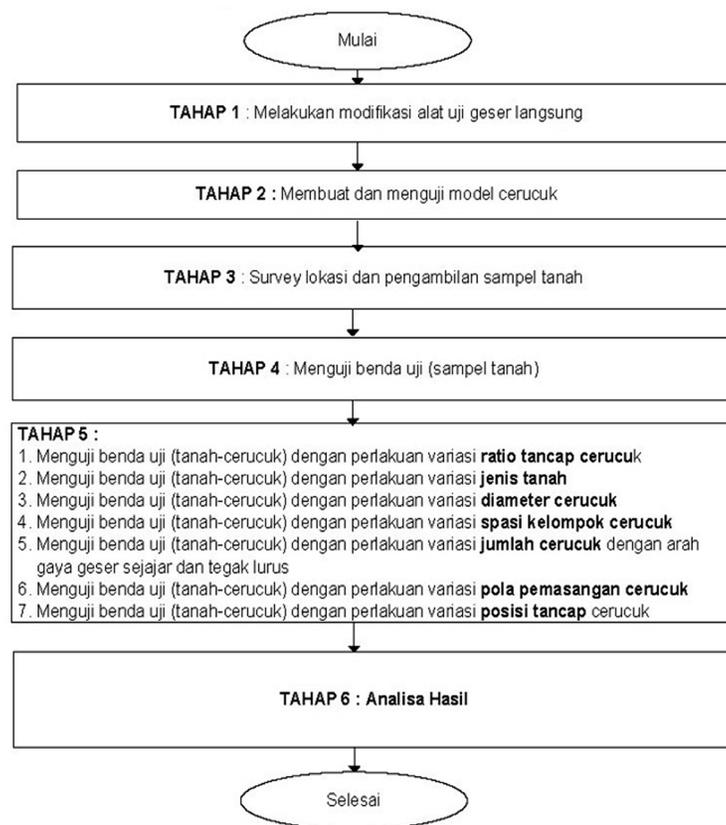
3. Kepala tiang dipotong tegak lurus terhadap panjangnya sampai bagian kayu yang keras dan diberi bahan pengawet sebelum pur (*pile cap*) dipasang.
4. Kepala tiang (serucuk bambu) harus tertanam dalam pur dengan kedalaman yang cukup sehingga dapat memindahkan gaya.

Bab 6

Tahapan Pengujian Metode Cerucuk yang Digunakan dengan Jenis Tanah

A. Modifikasi Alat Uji Geser Langsung

Tahapan penelitian mekanisme peningkatan tahanan geser tanah lunak akibat adanya cerucuk berdasarkan pemodelan empiris di laboratorium ditunjukkan pada Gambar 6.1 di bawah ini.



Gambar 6.1 Bagan Alir Tahapan Rancangan Penelitian.

Kegiatan penelitian dalam buku ini dilaksanakan di laboratorium Mekanika Tanah. Kegiatan penelitian tersebut melalui beberapa tahapan kegiatan (Gambar 6.1), yaitu:

1. Tahap modifikasi alat uji geser langsung (*direct shear*).
2. Tahap pembuatan dan pengujian model cerucuk.
3. Tahap survey dan pengambilan sampel tanah.
4. Tahap pengujian karakteristik sampel tanah.
5. Tahap pengujian geser tanah-cerucuk dengan variasi perlakuan benda uji.
6. Analisis hasil.

Kegiatan modifikasi alat uji geser langsung (*direct shear*) adalah melakukan modifikasi pada bagian-bagian tertentu dari alat uji geser langsung yang biasa digunakan di laboratorium sehingga alat tersebut dapat memodelkan kondisi yang mendekati kondisi sebenarnya yang terjadi di lapangan.

Modifikasi alat uji geser langsung dilakukan di salah satu bengkel pembuatan alat yang ada di wilayah Sidoarjo (Jawa Timur). Durasi waktu kegiatan modifikasi alat dibutuhkan selama 7 (tujuh) bulan. Pada tahap pembuatan dan pengujian model cerucuk yaitu batang kayu dengan bahan penyusun yang bersifat homogen diraut dengan alat bantu peraut (mesin serut mekanis) sehingga menghasilkan cerucuk kayu yang berdiameter 3mm, 4,5mm, dan 6mm. Kebutuhan panjang cerucuknya telah disesuaikan dengan kebutuhan variasi perlakuan benda uji. Cerucuk kayu tersebut diuji tarik untuk mendapatkan kuat tarik dan modulus elastisitas untuk masing-masing ukuran diameter dengan tetap menjamin sifat homogenitas bahan cerucuknya.

Pada tahap survey lokasi dan pengambilan sampel tanah adalah kegiatan identifikasi sifat fisik tanah langsung di lapangan. Pengambilan sampel tanah langsung di lapangan dilakukan dengan cara tes *Pits*. Sampel tanah yang didapat dari lapangan diuji karakteristiknya agar memenuhi rentang konsistensi tanah benda uji yang diinginkan dari penelitian ini.

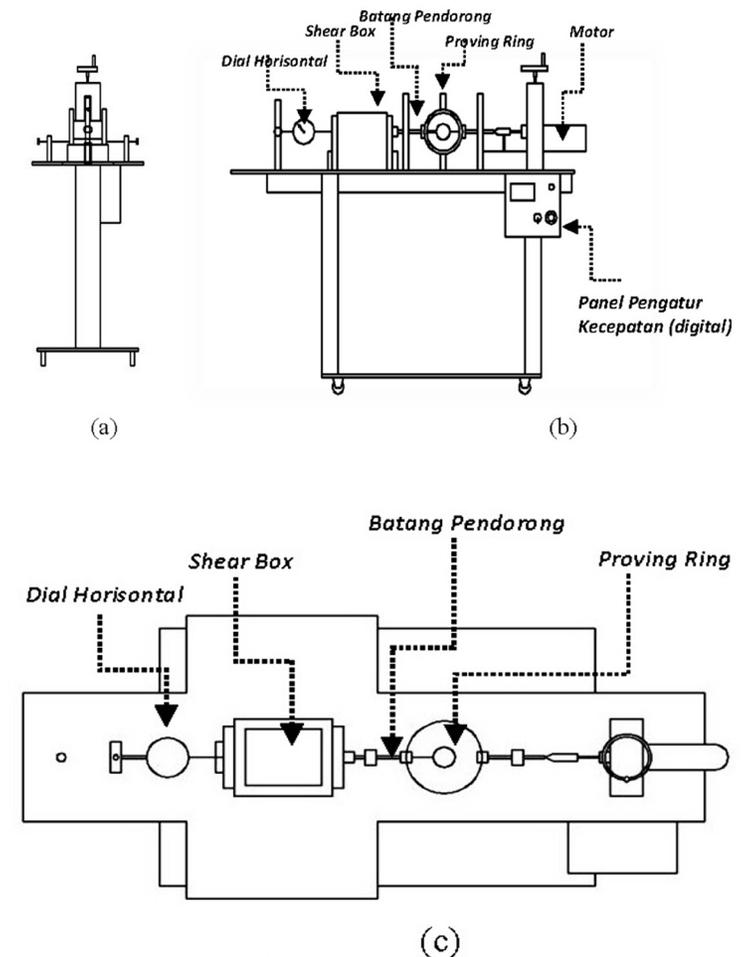
Pada tahap selanjutnya dilakukan pengujian kuat geser tanah-cerucuk dengan variasi perlakuan benda uji. Pada tahap ini pengujiannya menggunakan

alat uji geser langsung yang telah dimodifikasi. Variasi perlakuan benda uji yang akan dilaksanakan adalah variasi rasio tancap cerucuk (L/D), variasi spasi kelompok cerucuk, variasi jumlah cerucuk (konfigurasi cerucuk) dengan pemberian arah gaya geser sejajar dan tegak-lurus, variasi diameter cerucuk, variasi posisi cerucuk (sudut tancap cerucuk terhadap bidang geser), variasi pola pemasangan cerucuk, dan variasi jenis tanah. Langkah terakhir adalah menganalisis kekuatan geser tanah sebelum dan sesudah adanya cerucuk dengan berbagai variasi perlakuannya. Pada langkah ini akan dihasilkan model empiris cerucuk yang memperkuat stabilitas lereng.

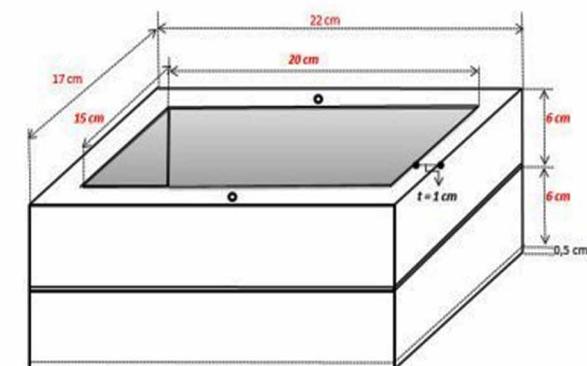
Alat uji geser langsung (*direct shear*) konvensional yang biasa digunakan di laboratorium dimodifikasi pada bagian tertentu dari sistem alat tersebut. Model alat geser langsung hasil modifikasi sebagian besar bentuknya menyerupai alat uji geser langsung konvensional. Perbedaannya terdapat pada bentuk kotak geser (*shear box*) yang digunakan. Model alat geser langsung hasil modifikasi memiliki kotak geser (*shear box*) yang berukuran relatif besar dan berbentuk segi empat sedangkan pada alat uji geser langsung konvensional memiliki kotak geser berukuran kecil dan berbentuk silinder. 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. Ilustrasi model alat uji geser langsung yang dimodifikasi dapat dilihat dalam Gambar 6.2.

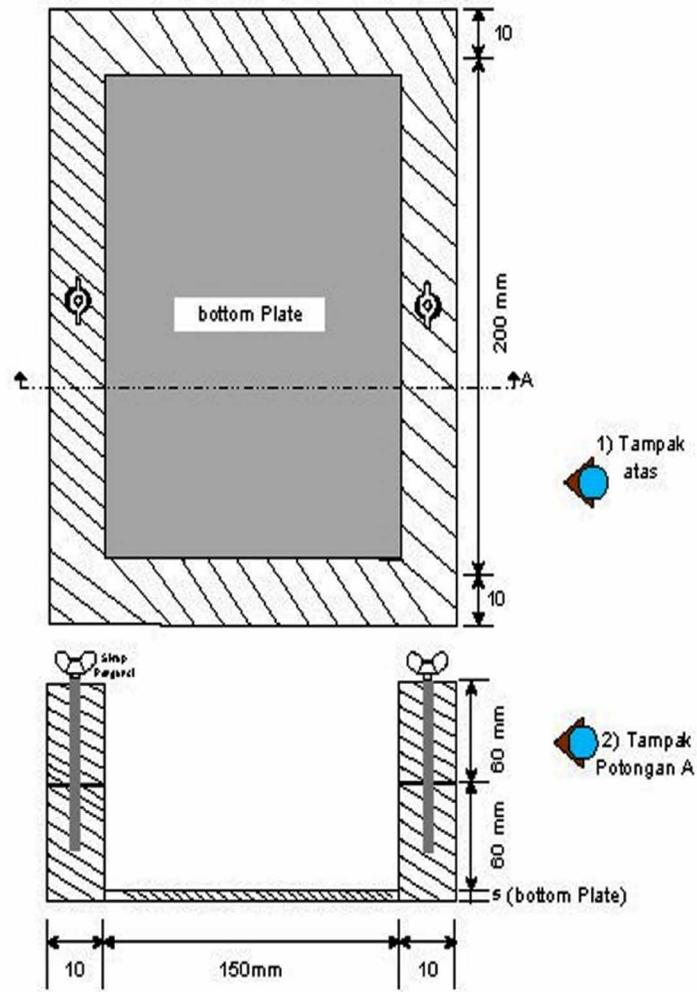
Ada beberapa komponen yang terdapat dalam alat uji geser langsung yang dimodifikasi, yaitu *proving ring* gaya geser horisontal dan batang pendorong, motor penggerak (dengan kecepatan penggeseran berkisar 0,1 mm/menit sampai 2 mm/menit disesuaikan dengan jenis tanah yang dites), dial horisontal, dan kotak geser (*shear box*). Semua komponen tersebut ditopang oleh rangka penopang dan berada di atas plat dasar berbentuk oval. *Proving ring* gaya geser horisontal dan batang pendorong merupakan rangkaian sistem menyalurkan gaya horisontal pada benda uji yang dihasilkan dari motor penggerak. Dial horisontal digunakan untuk mencatat perpindahan horisontal dari benda uji. Benda uji (cerucuk-tanah) yang akan mengalami gaya geser

diletakkan ke dalam kotak geser (*shear box*) yang telah dimodifikasi. Ilustrasi kotak geser modifikasi dapat dilihat dalam Gambar 6.3 dan Gambar 6.4.

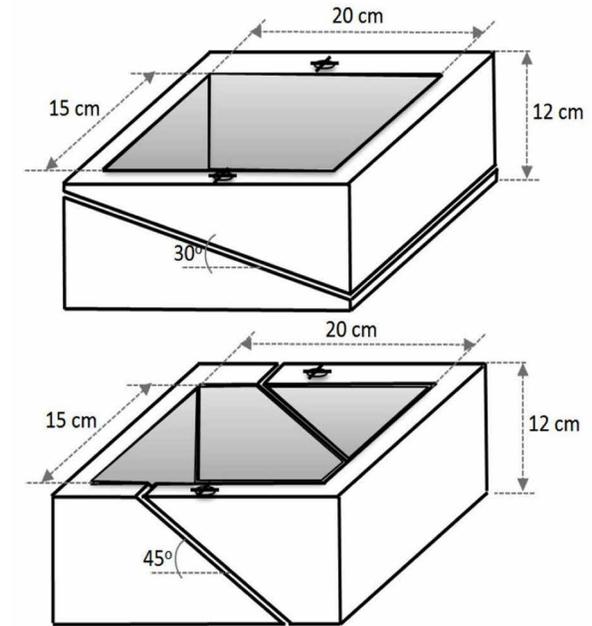
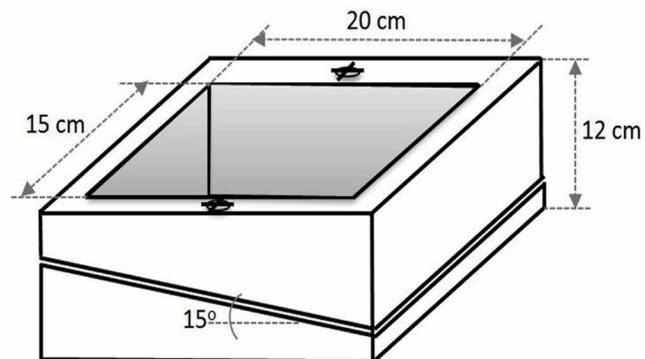


Gambar 6.2 Alat Uji Geser Langsung Modifikasi. (a) Tampak Muka, (b) Tampak Samping, (c) Tampak Atas





Gambar 6.3 Shear Box Tipe 1 untuk Arah Gaya Geser Bersudut 0°.



Gambar 6.4 Shear Box Tipe 2 untuk Arah Gaya Geser Miring (bersudut 15°, 30°, dan 45°).

Dalam Gambar 6.3 dan 6.4 ditunjukkan bahwa *shear box* yang akan digunakan sebanyak 2 (dua) tipe dengan ukuran yang disesuaikan panjang, jumlah, dan diameter cerucuk yang akan digunakan. Secara umum *shear box* terdiri atas kotak geser belahan atas dan kotak geser belahan bawah (dengan alas penutup/*bottom plate*). Pada *shear box* dilengkapi dengan skrup pengunci yang berfungsi menyatukan kotak geser belahan atas dan bawah yang bersifat sementara sebelum gaya geser diberikan. Ukuran atau dimensi kotak geser ditetapkan 20cm x 15cm berdasarkan pertimbangan untuk menyediakan ruang bebas (*space*) dari zona pengaruh reaksi cerucuk saat menerima gaya horisontal.

B. Pembuatan dan Pengujian Model Cerucuk

Dalam penelitian ini model cerucuk yang digunakan berbahan kayu dengan alasan: kemudahan dalam pembuatannya, kemampuan kotak geser, dan juga mempertimbangkan kemampuan motor penggerak alat uji geser langsung dalam menghasilkan gaya geser terhadap tanah-cerucuk kelompok. Model cerucuk tersebut berukuran mini dengan diameter dan panjang yang

digunakan seperti yang dijelaskan dalam Tabel 3.1. Model cerucuk mini berbahan kayu tersebut dibuat dengan cara meraut batang kayu yang memiliki sifat bahan yang homogen dengan bantuan alat peraut (mesin serut mekanis).

Untuk mendapatkan kekuatan 1 (satu) batang cerucuk dalam hal menahan gaya lateral, terlebih dahulu diketahui tegangan tarik/lentur maksimum dan modulus elastisitas bahan cerucuk. Tegangan tarik maksimum ditentukan dengan cara melakukan tes tarik untuk masing-masing variasi bahan dan diameter cerucuk di laboratorium. Modulus elastisitas bahan ditentukan berdasarkan gradien garis lurus dari kurva tegangan-regangan yang dihasilkan dari pengujian tarik di laboratorium. Pada tes lentur dilakukan untuk menghasilkan σ_{max} untuk masing-masing cerucuk.

Pada saat penelitian, pemasangan model cerucuk ke dalam 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.

C. Survey Lokasi dan Pengambilan Sampel Tanah

Sampel tanah yang diinginkan berupa jenis tanah lempung dalam kondisi *undisturbed* dan memiliki tingkat konsistensi, yaitu: lunak (*soft*) dan sedang (*medium*). Sebelum melakukan pengambilan sampel tanah terlebih dahulu melakukan survey lapangan untuk mendapatkan informasi lokasi lahan yang memiliki tanah dengan tingkat konsistensi yang diinginkan.

Metode pengambilan sampel tanah di lapangan dilakukan dengan cara tes *Pits*. Sebelum melakukan tes *Pits*, terlebih dahulu menyiapkan kotak sampel tanah dan peralatan penunjang lainnya. Kotak sampel tanah yang akan digunakan berukuran relatif besar, yaitu: 20cm x 15cm (tinggi 18cm) dan 20cm x 15cm (tinggi 12cm). Pada salah satu sisi kotak tersebut terdapat penutup (*bottom plate*) yang bersifat sementara.

Adapun prosedur pengambilan sampel tanah dengan cara tes *Pits* adalah sebagai berikut:

- a. Lahan yang telah dipilih dibersihkan dan dikupas (digali) pada bagian permukaannya sampai kedalaman lebih kurang 50cm–100cm (tergantung kondisi lahan).
- b. Pada bagian sisi dalam dari kotak sampel tanah diolesi dengan gel pelumas. Kemudian kotak sampel tanah tersebut (bagian yang terdapat penutup/*bottom plate* berada di atas) dimasukkan ke dalam tanah dengan cara ditekan atau dipukul secara hati-hati sampai seluruh kotak sampel tanah masuk dan tanah terisi penuh di dalam kotak.
- c. Kemudian melakukan penggalian (pengupasan) tanah yang terdapat pada sisi luar sekeliling kotak sampel tanah dengan tetap mempertahankan bagian tengah (kotak contoh tanah) dalam keadaan utuh dan dalam kondisi *undisturbed*.
- d. Melakukan pemotongan sisi bawah contoh tanah dengan menggunakan pisau pemotong.
- e. Untuk menghindari adanya penguapan air yang terkandung di dalam contoh tanah tersebut, pada bagian permukaan contoh tanah yang terbuka ditutup dengan penutup kotak tes *Pits* dan kemudian diisolatip dengan rapat.
- f. Semua kotak benda uji yang telah terisi dengan tanah hasil tes *Pits* kemudian dipindah ke Laboratorium Mekanika Tanah FTSP ITS dengan menggunakan mobil pengangkut. Selama perjalanan yang membutuhkan waktu kurang dari 30 menit, dan dalam rentang waktu relatif singkat tersebut benda uji tidak banyak mengalami gangguan/goyangan yang berarti.
- g. Di Laboratorium Mekanika Tanah FTSP ITS, benda uji dalam kotak tes *Pits* selanjutnya dipindahkan langsung ke dalam kotak geser yang telah diberi gel pelumas dengan bantuan alat pendorong tanah vertikal (benda uji tidak didiamkan dalam rentang waktu lebih dari 1 hari). Area kelebihan tanah pada permukaan bagian atas kotak geser selanjutnya dipotong dan diratakan dengan spatula.

- h. Selanjutnya benda uji siap dites. Selama pengetesan untuk 1 (satu) benda uji membutuhkan durasi waktu kurang lebih 20 sampai 30 menit.
- i. Semua benda uji hasil sampling tes *Pits* dites pada hari yang sama, sehingga perubahan sifat benda uji (kadar air dan kepadatan) dapat dihindari.

D. Hasil Pengujian Laboratorium

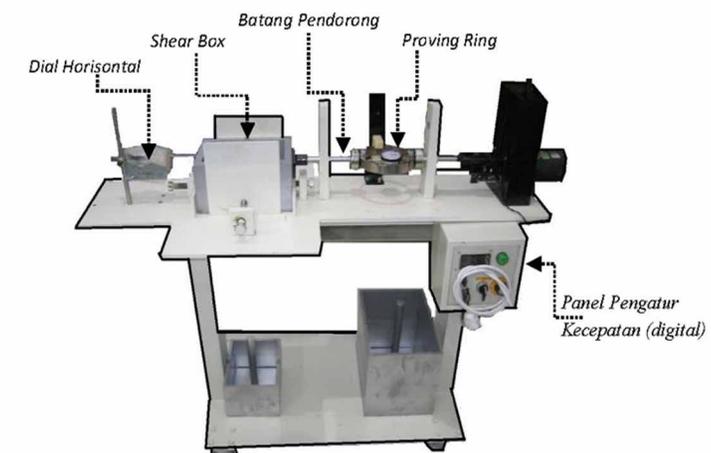
1. Alat Uji Geser Tanah–Cerucuk

Dalam pelaksanaan kegiatan penelitian utama, diawali dengan melakukan kegiatan pembuatan alat uji geser langsung tanah–cerucuk. Pembuatan alat uji geser langsung tanah–cerucuk dilakukan di bengkel las dan mesin UD. Surya Buana, Sidoarjo.

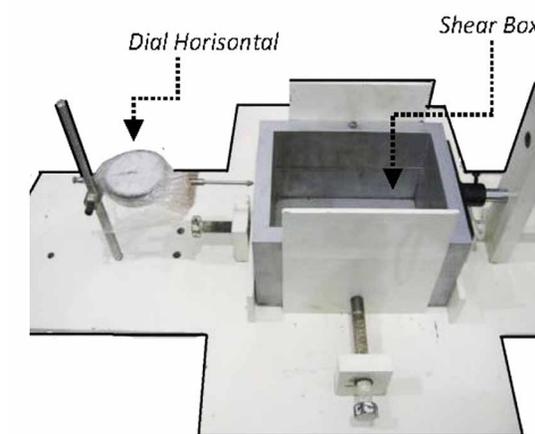
Gambar 6.5 dan Gambar 6.6 menunjukkan konstruksi alat uji geser langsung tanah–cerucuk yang digunakan dalam melaksanakan penelitian ini. Beberapa komponen penting yang terdapat dalam alat uji geser langsung tanah–cerucuk tersebut, yaitu: 1 (satu) set *proving ring* dengan kapasitas 500kgf (dial merek TOKI) dalam kondisi telah dikalibrasi oleh MBT Bandung, 1 (satu) set batang pendorong, 1 (satu) buah dial horisontal dengan kapasitas 50mm merk Mitutoyo Japan, 1 (satu) unit motor penggerak kecepatan otomatis kapasitas 60Hz merk Tung Lee Electrical buatan Korea dilengkapi dengan panel pengatur kecepatan secara digital, dan kotak geser (*shear box*) yang berukuran relatif besar, yaitu 20cm x 15cm x 12cm. Berdasarkan hasil kalibrasi *proving ring* oleh perusahaan MBT Bandung menyatakan bahwa persamaan kalibrasi yang digunakan untuk alat tersebut adalah: $Plab = (3.416 * Div) + 2.0383$ (di mana Div adalah satuan garis dalam alat ukur dial *proving ring*).

Gaya geser horisontal diberikan pada benda uji (kotak geser) setelah motor penggerak yang telah diatur kecepatannya menyalurkan gaya horisontal melalui batang pendorong. Besaran gaya geser horisontal terbaca melalui dial pada *proving ring* tersebut. Bersamaan dengan itu pula besaran de-

formasi horisontal dari benda uji terbaca pada dial horisontal yang terdapat pada alat uji geser langsung tanah–cerucuk tersebut. Sebelum melakukan pengujian geser terlebih dahulu pada bagian kedua sisi belahan atas dan bawah kotak geser yang saling bersentuhan diolesi dengan gel pelumas. Sehingga selama gaya geser diberikan, kedua sisi belahan atas dan bawah dari kotak geser (untuk belahan kotak geser bersudut 0°, 15°, 30°, dan 45°) tidak terjadi gesekan. Hal ini terbukti saat diberikan gaya geser terhadap kotak geser tanpa terisi benda uji (tanah) maka jarum penunjuk *dial gauge* pada *proving ring* tidak bergerak (bernilai nol). Tidak terjadinya gesekan juga karena luasan area gesekan pada kotak geser adalah sangat kecil (ketebalan dinding kotak geser relatif tipis).



Gambar 6.5 Alat Uji Geser Tanah–Cerucuk.



Gambar 6.6 Posisi Shear Box pada Alat Uji Geser Tanah–Cerucuk.

2. Hasil Pengujian Tanah *Undisturbed*

Dalam penelitian ini jenis tanah lempung yang digunakan ada 2 (dua) jenis, yaitu tanah lempung dengan tingkat konsistensi lunak (*soft clay*, $C_u=0,190\text{kg/cm}^2$ dan $C_u=0,127\text{kg/cm}^2$), dan tanah lempung dengan tingkat konsistensi sedang (*medium clay*, $C_u=0,366\text{kg/cm}^2$). Untuk jenis lempung lunak diambil dari daerah lingkungan kampus ITS, yaitu tanah yang terdapat pada lahan belakang Gedung Robotica ITS Surabaya. Sedangkan untuk jenis tanah lempung sedang diambil dari Desa Kedamean, daerah Gresik, Jawa Timur.

Berdasarkan hasil pengujian 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). Demikian pula untuk jenis tanah lempung dengan tingkat konsistensi sedang (*medium clay*) tergolong kedalam A-7 (tanah berlempung) menurut metode AASHTO.

3. Uji Tarik dan Lentur Model Cerucuk Mini

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. Untuk menjamin sifat homogenitas bahan kayu dari batang model cerucuk mini tersebut maka pemilihan kayu Meranti yang akan digunakan dalam penelitian ini telah memperhatikan karakteristik kayu sebagai berikut:

- a. Batang kayu yang dipilih memiliki jenis yang sama serta pengelompokan masing-masing batang cerucuk kayu mini.
- b. Batang kayu dipilih tidak memiliki cacat/lubang/mata kayu.
- c. Batang kayu memiliki fisik yang lurus dan tidak bengkok maupun patah.
- d. Secara visual batang kayu memiliki serat kayu yang sejajar dan simetris.

- e. Batang kayu memiliki kadar air yang relatif rendah dan kering homogen, serta memiliki warna visual yang relatif sama. Dalam hal ini 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 $0,55\text{gr/cm}^3$.

Untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas dari model cerucuk mini berbahan kayu tersebut, maka dilakukan pengujian tarik pada model cerucuk mini. Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan alat *universal tensile strength*.

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan didapatkan nilai modulus elastisitas rata-rata sebesar 21812.390 kg/cm^2 dan nilai tegangan lentur maksimum rata-rata sebesar 780.518 kg/cm^2 .

Bab 7

Pengaruh Model Cerucuk Yang Digunakan dalam Peningkatan Tahanan Geser Tanah

A. Pengaruh Panjang Tancapan Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah

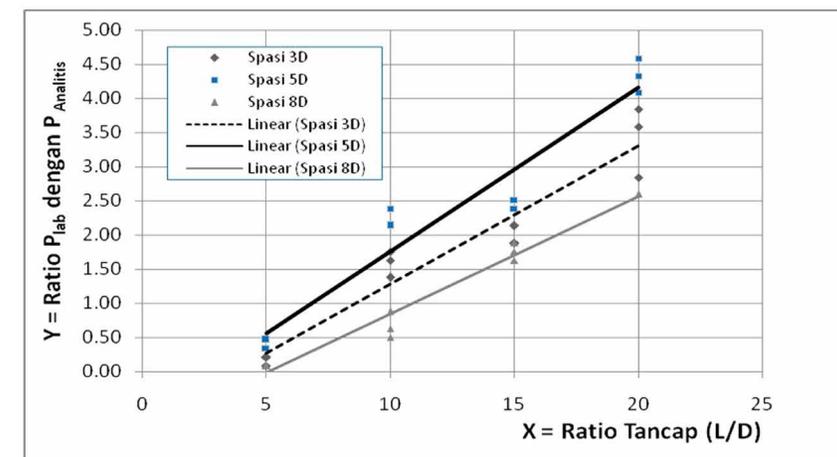
Dalam Gambar 7.1 ditunjukkan hubungan rasio tancap (panjang tancapan) dan rasio Plab/Panalitis. Dalam hal ini rasio Plab/Panalitis merupakan representasi dari tahanan geser tanah. Di mana Plab merupakan gaya geser horisontal yang dapat ditahan oleh 1 (satu) tiang cerucuk berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium. Sedangkan Panalitis merupakan gaya geser horisontal yang dapat ditahan oleh 1 (satu) tiang cerucuk berdasarkan perhitungan analitis menggunakan Persamaan NAVFAC DM.7.

Berdasarkan kurva hubungan yang dijelaskan dalam Gambar 7.1 menunjukkan bahwa rasio Plab/Panalitis (dalam hal ini dinyatakan sebagai tahanan geser tanah lunak) mengalami peningkatan seiring dengan semakin meningkatnya nilai rasio tancap (L/D) yang digunakan. Hal ini disebabkan karena dengan semakin besarnya nilai rasio tancap berarti semakin panjang tiang cerucuk yang menancap (tertanam) di bawah bidang geser (bidang longsor). Dengan semakin panjang tiang cerucuk yang tertanam maka semakin besar pula daerah kerja (daerah perlawanan) atau reaksi lateral yang dimiliki cerucuk untuk menghambat pergeseran tanah. Sehingga penambahan tahanan geser yang dihasilkan oleh cerucuk menjadi semakin besar.

Dalam kurva tersebut ditunjukkan juga bahwa pada nilai rasio tancap yang sama, cerucuk-cerucuk yang menggunakan spasi 5D menghasilkan ra-

sio Plab/Panalitis yang lebih besar dibandingkan dengan spasi cerucuk sebesar 3D dan 8D.

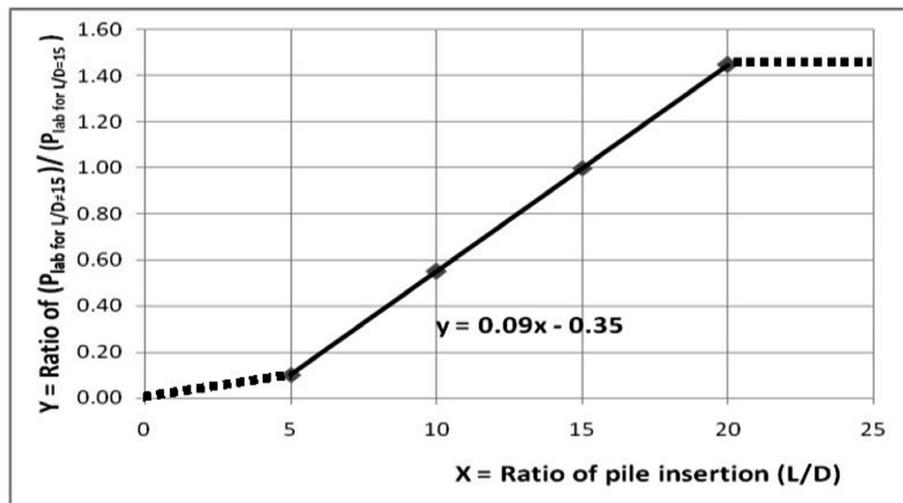
Besaran rasio $Plab(L/D \neq 15)/Plab(L/D=15)$ dan rasio Plab/Panalitis untuk masing-masing rasio tancap ditunjukkan dalam Gambar 4.1. Parameter Plab ($L/D \neq 15$) adalah besaran gaya geser yang dapat ditahan oleh benda uji untuk nilai rasio tancap tidak sama dengan 15, sedangkan $Plab(L/D=15)$ adalah besaran gaya geser yang dapat ditahan oleh benda uji hanya untuk cerucuk dengan nilai rasio tancap sama dengan 15. Dalam hal ini rasio $Plab(L/D \neq 15)/Plab(L/D=15)$ dapat dinyatakan juga sebagai representasi dari tahanan geser tanah.



Gambar 7.1. Kurva Hubungan Variasi Rasio Tancap Dan Rasio Plab/Panalitis.

Berdasarkan analisis perhitungan menunjukkan bahwa nilai rasio Plab/Panalitis untuk rasio tancap $L/D=15$ adalah sebesar 2,063. Hal ini menjelaskan bahwa tahanan geser yang diperoleh dari hasil pengujian laboratorium (Plab) sebesar 2,063 kali lebih besar daripada yang diperoleh melalui perhitungan analitis (Panalitis) menurut Persamaan NAVFAC DM.7.

Pada Gambar 4.2 ditunjukkan hubungan rasio $Plab(L/D \neq 15)/Plab(L/D=15)$ (dalam hal ini berperan sebagai tahanan geser tanah) dan rasio tancap (L/D). Berdasarkan gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai rasio tancap yang digunakan maka semakin besar pula tahanan geser tanah yang dihasilkan.



Gambar 7.2 Kurva Hubungan Rasio $P_{lab}(L/D \neq 15)/P_{lab}(L/D = 15)$ dan Rasio Tancap (L/D).

Hasil yang sama juga telah ditunjukkan dalam penelitian Ashour dan Ardalan (2012), serta Kourkoulis, et.al (2011). Ashour dan Ardalan (2012) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa kedalaman cerucuk pada sistem lereng yang diperkuat cerucuk harus tertanam pada tanah yang stabil di bawah permukaan bidang gelincir. Hal ini karena dapat memperkecil deformasi yang terjadi pada cerucuk. Selain itu juga menurut Kourkoulis, et.al (2011) menyatakan bahwa semakin dalam cerucuk yang ditancapkan di bawah permukaan bidang kelongsoran maka semakin kecil deformasi yang akan terjadi pada bagian kepala cerucuk.

Berdasarkan uraian-uraian di atas maka dapat dinyatakan bahwa Persamaan NAVFAC DM.7 perlu dikoreksi akibat pengaruh panjang tancapan cerucuk. Menurut hasil perhitungan statistik dan uji model (terlampir) menunjukkan adanya hubungan yang saling mempengaruhi pada kedua variabel (variabel tahanan geser tanah dan variabel rasio tancap). Hubungan tersebut diwakilkan dalam bentuk garis regresi dari semua titik plot dalam kurva pada Gambar 7.2 yang menghasilkan persamaan regresi linier. Persamaan regresi linier tersebut dipakai sebagai persamaan koreksi (Y_c) atas pengaruh rasio tancap terhadap perhitungan analitis menurut persamaan NAVFAC DM.7. Adapun persamaan koreksi (Y_c) yang dimaksud yaitu: $Y_c = 0.09(X_c) - 0.35$ (telah dikali dengan koefisien sebesar 0.8905), di mana X_c adalah rasio tancap (L/D).

Untuk nilai $L/D < 5$ maka digunakan persamaan $Y_c = 0.1(X_c)$. Sedangkan untuk nilai $L/D > 20$ maka digunakan nilai $Y_c \leq 1.45$. Berdasarkan hasil uji statistik menunjukkan bahwa model persamaan yang dihasilkan tersebut dinyatakan dapat diterima dan signifikan karena memiliki nilai $R^2 = 0,931$, nilai $R = 0,965$ dan nilai $Sig = 0.08$ (kurang dari 5%).

B. Pengaruh Spasi Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah

Dalam Gambar 4.3 disajikan data hasil pengujian dan hasil perhitungan variasi spasi cerucuk dan rasio $P_{lab}/P_{analitis}$ untuk masing-masing rasio tancap cerucuk sebesar $L/D = 5$, $L/D = 10$, $L/D = 15$, dan $L/D = 20$.

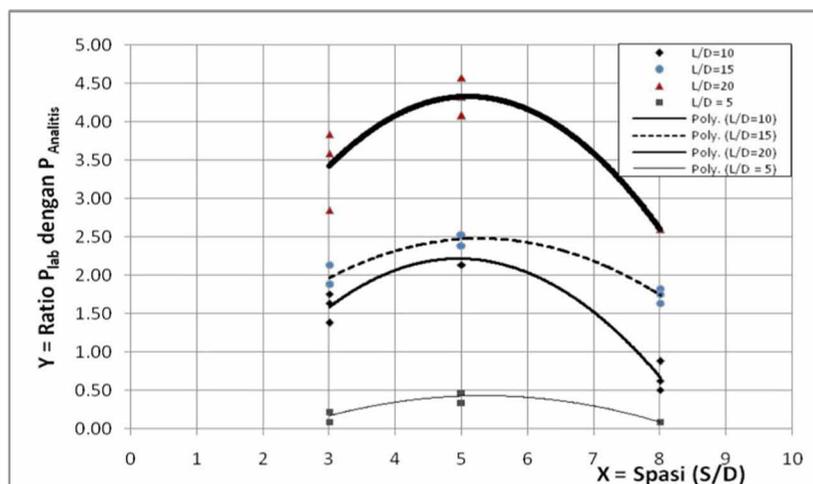
Berdasarkan kurva hubungan yang ditunjukkan dalam Gambar 7.3 maka dapat disimpulkan bahwa untuk rentang spasi cerucuk sebesar 3D sampai 5D, nilai rasio $P_{lab}/P_{analitis}$ (tahanan geser tanah) mengalami peningkatan. Namun apabila cerucuk menggunakan spasi dalam rentang 5D sampai 8D maka rasio $P_{lab}/P_{analitis}$ cenderung mengalami penurunan. Selain itu juga dapat disimpulkan bahwa cerucuk dengan spasi 5D dapat menghasilkan tahanan geser tanah yang optimum.

Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa apabila cerucuk menggunakan spasi antara 3D sampai 5D, kekuatan geser tanah menjadi meningkat. Hal ini disebabkan karena pada rentang spasi tersebut kinerja kelompok cerucuk lebih maksimal memberikan efek pasak pada perkuatan tanah. Kondisi ini juga menunjukkan bahwa pada jarak (spasi) tersebut dapat menghasilkan tahanan yang optimal antara tiang-tiang cerucuk terhadap dorongan (gaya geser) yang terjadi. Selain itu juga bahwa spasi yang rapat (3D sampai 5D) dapat memperkecil deformasi yang terjadi pada tanah. Kondisi ini disebabkan karena spasi yang rapat dapat meningkatkan gaya penahan geser. Hal ini berhubungan erat dengan hasil penelitian dari Kourkoulis, et.al (2011), Yang, et.al (2011), dan Ito, et.al (1981). Di mana menurut Kourkoulis, et.al (2011) bahwa spasi cerucuk yang kecil (rapat) dapat meningkatkan gaya penahan geser, memperkecil momen lentur, dan memperkecil deformasi pada bagian kepala cerucuk. Seperti juga Yang et.al (2011) telah menyatakan bahwa spa-

si cerucuk yang kecil (rapat) dan modulus Young cerucuk yang besar dapat meningkatkan kemampuan stabilitas lereng yang menghasilkan faktor keamanan lereng yang semakin besar.

Ito, et.al (1981) juga telah menyatakan bahwa spasi (jarak) antar cerucuk dapat memberikan pengaruh yang besar terhadap stabilitas kelongsoran. Faktor keamanan (SF) stabilitas lereng-cerucuk akan meningkat seiring dengan meningkatnya rasio D_2/D_1 (D_2 adalah jarak antar cerucuk diukur dari sisi terluar cerucuk yang saling berdekatan, D_1 adalah jarak antar titik pusat penampang cerucuk).

Berdasarkan kurva hubungan yang ditunjukkan dalam Gambar 7.3 juga dapat disimpulkan bahwa cerucuk dengan spasi dalam rentang 5D sampai 8D, rasio $P_{lab}/P_{analitis}$ mengalami penurunan karena pada spasi tersebut jarak antar cerucuk relatif tergolong besar (tidak rapat), sehingga tiang-tiang cerucuk berperilaku hampir seperti tiang cerucuk tunggal (individu) yang tidak terikat oleh sesamanya. Kondisi ini mengakibatkan dorongan dari tanah (gaya geser) tidak ditahan secara maksimal oleh cerucuk kelompok itu sendiri dan sebagian dari mobilisasi gaya geser yang akan terjadi akan mudah melalui ruang di antara tiang-tiang cerucuk. Selain itu menurut Ashour dan Ardalan (2012), Jeong, et.al (2003) dan Won, et.al (2005) telah menyatakan bahwa spasi cerucuk yang meningkat (tidak rapat) akan menurunkan faktor keamanan (SF) stabilitas lereng.

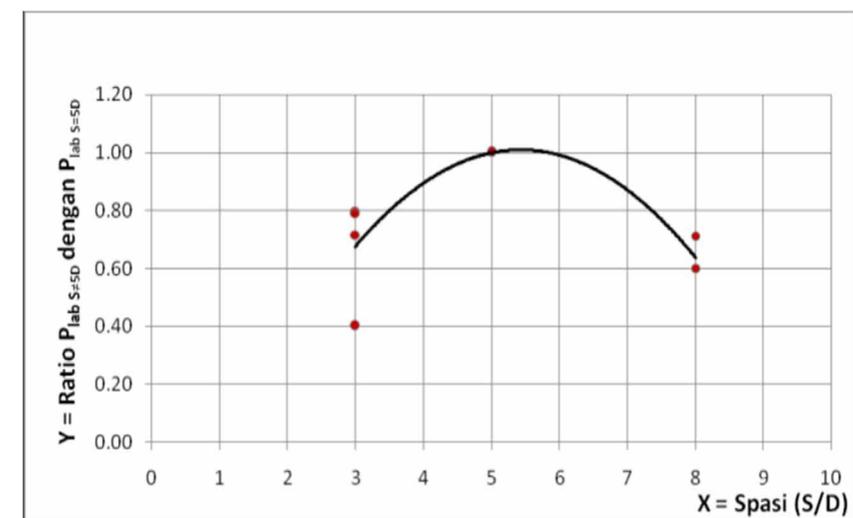


Gambar 7.3 Kurva Hubungan Variasi Spasi Cerucuk dan Rasio $P_{lab}/P_{analitis}$.

Kurva hubungan $P_{lab}(S \neq 5D)/P_{lab}(S=5D)$ dan rasio $P_{lab}/P_{analitis}$ berdasarkan hasil pengujian variasi spasi cerucuk (S/D) ditunjukkan dalam Gambar 7.5. Parameter $P_{lab}(S \neq 5D)$ adalah besaran gaya geser yang dapat ditahan oleh benda uji untuk spasi cerucuk tidak sama dengan 5D, sedangkan $P_{lab}(S=5D)$ adalah besaran gaya geser yang dapat ditahan oleh benda uji hanya untuk cerucuk dengan spasi cerucuk sama dengan 5D. Dalam hal ini rasio $P_{lab}(S \neq 5D)/P_{lab}(S=5D)$ dapat dinyatakan juga sebagai representasi dari tahanan geser tanah.

Berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai $P_{lab}/P_{analitis}$ untuk spasi 5D mengalami peningkatan nilai tahanan geser akibat adanya spasi cerucuk. Di mana nilai $P_{lab}/P_{analitis}$ yang dihasilkan dari percobaan di laboratorium adalah 2,360 kali lebih tinggi daripada yang dihasilkan melalui perhitungan analitis menurut NAVFAC DM.7.

Berdasarkan bentuk kurva yang ditunjukkan dalam Gambar 7.4 dapat dijelaskan bahwa peningkatan rasio $P_{lab}(S \neq 5D)/P_{lab}(S=5D)$ (atau tahanan geser tanah) terjadi pada penggunaan spasi cerucuk rentang $3D \leq \text{spasi} \leq 5,5D$. Namun pada penggunaan spasi pada rentang $5,5D < \text{spasi} \leq 8D$ maka rasio $P_{lab}(S \neq 5D)/P_{lab}(S=5D)$ (atau tahanan geser tanah) cenderung mengalami penurunan.



Gambar 7.4 Hubungan Rasio $P_{lab}(S/D \neq 5)/P_{lab}(S/D=5)$ dan Spasi Cerucuk.

Berdasarkan uraian-uraian di atas maka Persamaan Mochtar (2000) juga perlu dikoreksi akibat adanya pengaruh spasi cerucuk. Faktor koreksi terhadap Persamaan NAVFAC DM.7 didapatkan dari persamaan regresi kuadratik melalui bentuk kurva yang dihasilkan dari plot data dalam Gambar 7.4. Persamaan regresi yang diperoleh berdasarkan hasil analisis statistik dan uji model (terlampir). Adapun bentuk persamaan koreksi yang dimaksud yaitu: $Y_s = -0,057(X_s)^2 + 0,614(X_s) - 0,658$; di mana $X_s = \text{spasi (S/D)}$. Model persamaan tersebut secara uji statistik memiliki nilai $R^2 = 0,725$, nilai $R = 0,852$, dan nilai $\text{Sig} = 0,006$ (kurang dari 5%) yang berarti model persamaan tersebut masih tergolong dapat diterima dan signifikan.

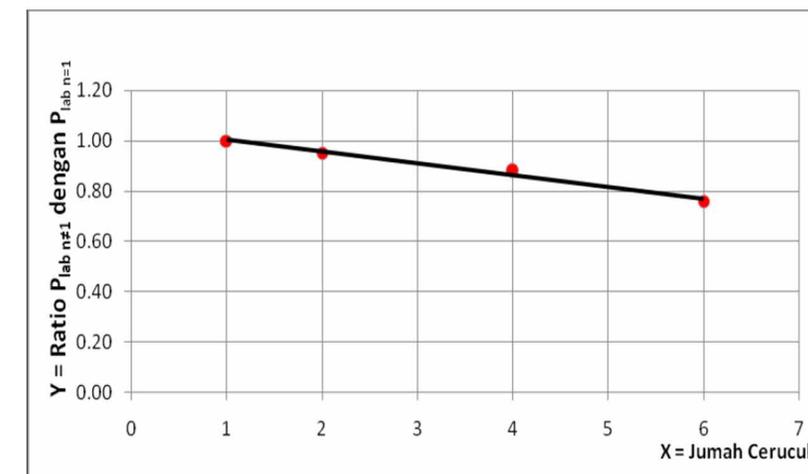
C. Pengaruh Jumlah Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah

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 di mana pola baris x kolom yang digunakan yaitu 1x1, 1x2, 1x3, 1x4, 1x5, dan 1x6 batang cerucuk, dan 2) arah gaya geser diberikan tegak lurus terhadap baris kelompok cerucuk di mana pola baris x kolom yang digunakan yaitu 1x1, 2x1, 3x1, 4x1, 5x1, dan 6x1 batang cerucuk. Untuk masing-masing benda ujinya dengan perlakuan yang diseragamkan yaitu: diameter cerucuk sebesar 3mm, spasi (jarak antar) cerucuk kelompok sebesar 5D (5x diameter), dan rasio tancap cerucuk $(L/D) = 15$.

Berdasarkan analisis hasil perhitungan nilai rasio $P_{lab}/P_{analitis}$ (dalam hal ini disebut juga sebagai tahanan geser tanah) bahwa apabila ditinjau menurut arah gaya geser yang diberikan terhadap baris kelompok cerucuk, besaran tahanan geser tanah-cerucuk yang menerima gaya geser arah sejajar menghasilkan nilai 1,17 kali lebih besar daripada menerima gaya geser arah tegak lurus. Perbedaan nilai tahanan geser tanah akibat pengaruh arah gaya geser tersebut relatif kecil dan tidak signifikan.

Hubungan rasio $P_{lab \neq 1}/P_{lab = 1}$ dan jumlah cerucuk (masing-masing jumlah cerucuknya telah direduksi menjadi cerucuk tunggal yang memperhatikan efek grup/kelompok) ditunjukkan dalam Gambar 7.5. Parameter $P_{lab \neq 1}$ adalah besaran gaya geser yang dapat ditahan oleh benda uji untuk jumlah cerucuk tidak sama dengan 1 batang, sedangkan $P_{lab = 1}$ adalah besaran gaya geser yang dapat ditahan oleh benda uji hanya untuk penggunaan cerucuk berjumlah 1 batang. Dalam hal ini rasio $P_{lab \neq 1}/P_{lab = 1}$ dapat dinyatakan pula sebagai representasi dari tahanan geser tanah.

Berdasarkan hasil analisis perhitungan nilai rasio $P_{lab}/P_{analitis}$ untuk jumlah cerucuk 1 batang maka dapat dinyatakan bahwa tahanan geser tanah akibat adanya pengaruh jumlah cerucuk yang dihasilkan melalui pengujian di laboratorium memiliki nilai 2,590 kali lebih tinggi daripada yang dihasilkan melalui perhitungan analitis menurut Persamaan NAVFAC DM.7.



Gambar 7.5 Hubungan Rasio $P_{lab(n \neq 1)}/P_{lab(n=1)}$ dan Jumlah Cerucuk (Cerucuk Tunggal dengan Pengaruh Grup/Kelompok).

Berdasarkan Gambar 7.5 dapat dinyatakan bahwa semakin banyak jumlah cerucuk dalam kelompok cerucuk maka semakin mengecil nilai efisiensi kelompok cerucuk tersebut. Hal ini bersesuaian dengan hasil penelitian Ilyas, et.al (2001) di mana untuk grup tiang dengan jarak antar tiang 3D grup efisiensi menurun dengan bertambahnya jumlah tiang dalam grup. Hal ini dapat berarti bahwa kemampuan kelompok cerucuk dalam menahan geseran

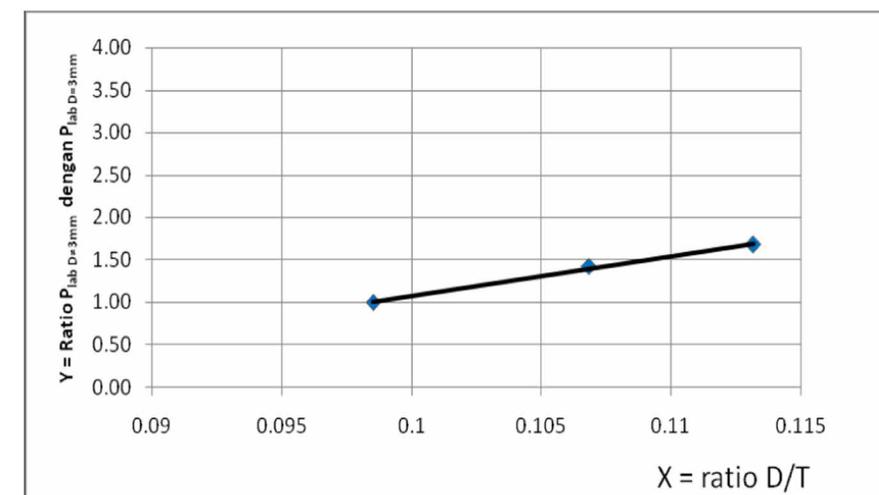
tidak akan sama dengan kemampuan masing-masing cerucuk dikalikan dengan jumlah cerucuk dalam kelompok yang bersangkutan. Kondisi ini menunjukkan bahwa jumlah cerucuk dalam kelompok di dalam tanah untuk menahan gaya geser horisontal ternyata menghasilkan kondisi yang disebut dengan fenomena *shadowing effect*. Berdasarkan hasil penelitian Ilyas, et.al (2003) dinyatakan bahwa fenomena *shadowing effect* terjadi karena adanya kecenderungan tiang *rear/trail* menahan lateral yang lebih kecil dibandingkan dengan tiang yang berada dimukanya (tiang *lead/front*). Hal ini akibat dari adanya variasi tegangan yang berbeda pada *soil-piles interactions* pada setiap tiang di dalam *pile group*.

Berdasarkan uraian di atas maka dapat dinyatakan pula bahwa rumus NAVFAC DM.7 perlu dilakukan koreksi akibat pengaruh jumlah cerucuk. Koreksi yang dimaksud dalam bentuk persamaan yang diperoleh dari garis regresi hubungan kedua variabel kurva dalam Gambar 7.4 berdasarkan analisis statistik dan uji model (terlampir). Persamaan koreksi (Y_n) tersebut dalam bentuk: $Y_n = 1,051 - 0,047(X_n)$, di mana X_n = jumlah cerucuk. Persamaan koreksi tersebut juga dapat disebut sebagai persamaan efisiensi jumlah cerucuk. Model persamaan koreksi tersebut dinyatakan dapat diterima dan signifikan berdasarkan uji statistik. Hal ini karena model persamaan tersebut memiliki nilai $R^2 = 0,987$, nilai $R = 0,993$, dan nilai $Sig = 0,007$ (kurang dari 5%).

D. Pengaruh Diameter Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah

Pengaruh diameter cerucuk (dalam hal ini diwakili rasio D/T) terhadap rasio $P_{lab D \neq 3mm} / P_{lab D = 3mm}$ ditunjukkan pada Gambar 4.6. Parameter D adalah diameter cerucuk (dalam cm), sedangkan parameter T adalah faktor kekakuan relatif (dalam cm) yang merupakan fungsi dari modulus elastisitas cerucuk (E), momen inersia cerucuk (I), dan koefisien variasi modulus tanah ($f(Cu)$). Parameter $P_{lab D \neq 3mm}$ adalah besaran gaya geser yang dapat ditahan oleh benda uji untuk diameter cerucuk tidak sama dengan 3mm. Parameter $P_{lab D = 3mm}$ adalah besaran gaya geser yang dapat ditahan oleh benda uji hanya untuk penggunaan cerucuk berdiameter 3mm.

Berdasarkan Gambar 7.6 tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar rasio D/T maka semakin besar pula rasio $P_{lab D \neq 3mm} / P_{lab D = 3mm}$. Hal ini berarti bahwa semakin besar diameter maka semakin besar pula tahanan geser tanah yang menghasilkan kontribusi cerucuk untuk memberikan perlawanan terhadap gaya geser horisontal yang terjadi. Kondisi ini terjadi disebabkan karena semakin besar diameter tiang cerucuk yang digunakan berarti kekakuan yang dimiliki oleh tiang cerucuk tersebut semakin meningkat, sehingga memperbesar kemampuan tiang cerucuk tersebut untuk menghasilkan penahan momen dan geser dari cerucuk untuk melawan geseran yang terjadi. Dalam hasil penelitian lain telah disampaikan oleh Ito, et.al (1981), dan Won, et.al (2005). Menurut Ito, et.al (1981) menyatakan bahwa pada penggunaan diameter dan kekakuan cerucuk yang semakin besar akan dapat meningkatkan faktor keamanan stabilitas lereng tersebut. Sedangkan menurut Won, et.al (2005) telah menyimpulkan bahwa kekakuan cerucuk dapat mempengaruhi perpindahan cerucuk di dalam lereng, di mana semakin kaku cerucuk maka semakin kecil perpindahan cerucuk yang akan terjadi.



Gambar 7.6 Hubungan Rasio $P_{lab(D \neq 3mm)} / P_{lab(D = 3mm)}$ dan Rasio D/T.

Berdasarkan perbandingan nilai P_{lab} dan nilai $P_{analitis}$ yang diperoleh menurut Persamaan NAVFAC DM.7 maka perlu dikoreksi persamaan NAVFAC DM.7 tersebut akibat adanya pengaruh diameter cerucuk. Tambahan faktor

koreksi terhadap Persamaan NAVFAC DM.7 didapatkan dari persamaan regresi linier melalui bentuk kurva yang dihasilkan dari plot data dalam Gambar 7.6.

Persamaan regresi yang diperoleh berdasarkan hasil analisis statistik dan uji model (terlampir). Adapun bentuk persamaan koreksi yang dimaksud, yaitu: $Y_D = 46.616(X_D) - 3,582$; di mana X_D = rasio (D/T). Model persamaan tersebut secara uji statistik memiliki nilai $R^2=0,996$, nilai $R=0.998$, dan nilai $Sig=0,041$ (kurang dari 5%). Hal mengindikasikan bahwa model persamaan koreksi tersebut dapat diterima dan signifikan berdasarkan analisis uji statistik.

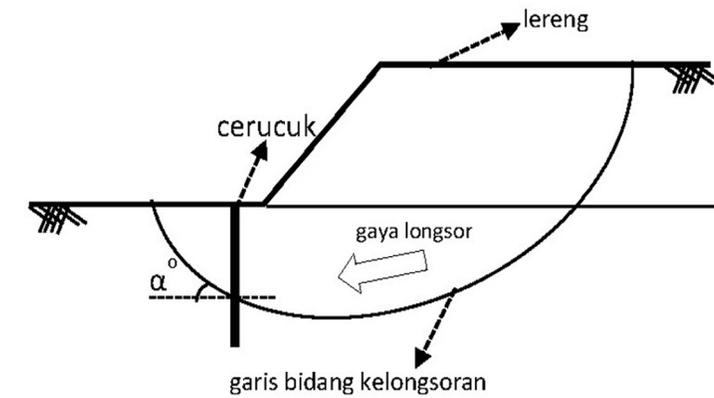
E. Pengaruh Posisi Tancap Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah

Untuk mengetahui pengaruh posisi atau lokasi tancap cerucuk terhadap peningkatan tahanan geser tanah pada stabilitas lereng yang akan mengalami kelongsoran, maka tiang cerucuk ditancap tepat pada posisi memotong garis bidang longsor yang membentuk sudut (α) yang bervariasi. Variasi sudut garis kelongsoran (α) yang diterapkan adalah 0° , 15° , 30° , dan 45° terhadap garis horisontal. Pada Gambar 7.7 ditunjukkan ilustrasi posisi tiang cerucuk memotong garis kelongsoran yang memiliki kemiringan sudut α di lapangan.

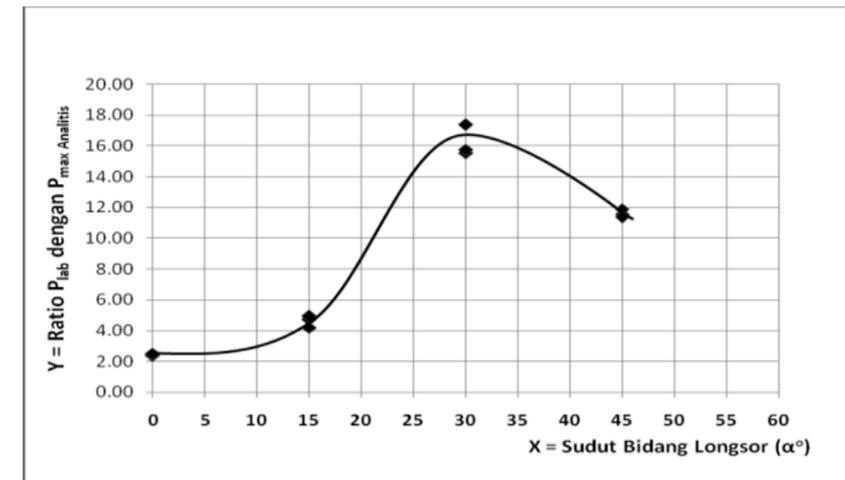
Dalam pengujian di laboratorium, masing-masing benda uji dengan perlakuan variasi sudut garis kelongsoran (α) menggunakan parameter pengujian yang sama, yaitu: batang cerucuk berdiameter 3mm, jumlah tiang cerucuk sebanyak 2 batang (pola pemasangan baris x kolom: 1x2), rasio tancap sebesar $(L/D)=15$, spasi antar sebesar 5D, dan arah gaya geser yang diberikan sejajar kelompok baris cerucuk.

Kurva hubungan rasio Plab/Panalitis dan sudut garis bidang kelongsoran ditunjukkan dalam Gambar 7.8. Berdasarkan kurva hubungan tersebut dapat dijelaskan dalam bahwa nilai rasio Plab/Panalitis mengalami peningkatan bila tiang cerucuk dipancang tepat memotong garis bidang kelongsoran pada sudut 15° , 30° , dan 45° dibandingkan pada sudut 0° . Cerucuk yang dipancang memotong garis kelongsoran yang membentuk sudut sebesar 45° , nilai rasio

Plab/Panalitis sedikit mengalami penurunan dibandingkan yang dihasilkan oleh sudut 30° .



Gambar 7.7 Ilustrasi Posisi Tiang Cerucuk pada Garis Kelongsoran dengan Sudut α di Lapangan.

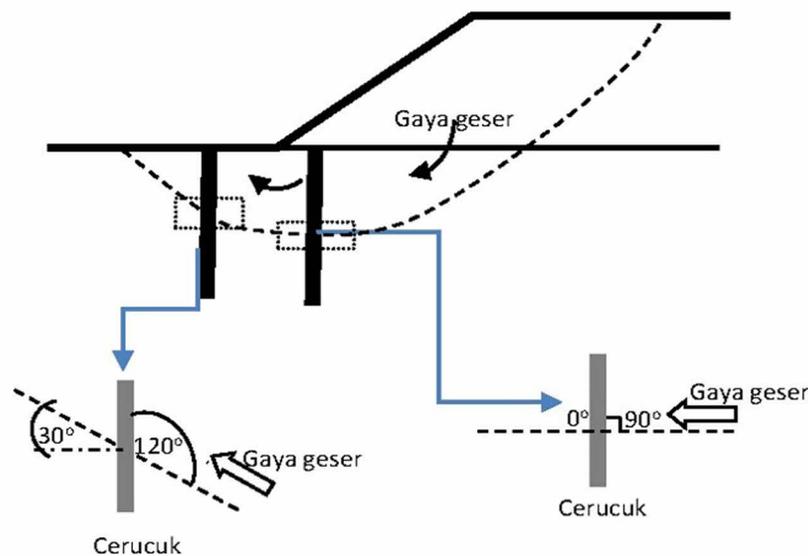


Gambar 7.8 Hubungan Rasio Plab/Panalitis dan Sudut Bidang Longsor.

Berdasarkan hal tersebut dapat dinyatakan bahwa apabila tiang cerucuk dipancang pada posisi tepat memotong garis bidang kelongsoran yang memiliki sudut 30° dan 45° terhadap garis horisontal maka rasio Plab/Panalitis menjadi meningkat. Dalam hal ini parameter rasio Plab/Panalitis merupakan interpretasi dari tahanan geser tanah dalam menahan kelongsoran. Selain itu juga dapat dinyatakan bahwa posisi cerucuk tepat memotong garis bidang kelongsoran dengan sudut 0° adalah dalam kondisi kritis (minimum)

di mana mobilisasi gaya geser lateral dalam kondisi maksimum dari massa tanah longsor.

Peningkatan tahanan geser tanah akibat adanya cerucuk yang dipancang tepat memotong garis bidang longsor yang memiliki sudut 30° dan 45° adalah sangat signifikan. Kondisi ini terjadi karena pada saat massa tanah mengalami pergeseran garis lingkaran kelongsoran, posisi cerucuk yang berada pada garis bidang longsohnya yang memiliki sudut 30° dan 45° telah membentuk daerah kerja (luasan) massa tanah bersudut tumpul yang relatif lebih besar dibandingkan daerah kerja (luasan) massa tanah yang dihasilkan oleh sudut 0° (lihat ilustrasi dalam Gambar 7.9). Hal ini mengakibatkan posisi cerucuk yang memotong garis kelongsoran bersudut 30° dan 45° dapat menghasilkan posisi yang lebih stabil serta dapat meningkatkan tahanan geser tanah menjadi lebih besar.



Gambar 7.9 Ilustrasi Daerah Kerja (Luasan) Variasi Sudut Garis Kelongsoran.

Apabila posisi cerucuk diletakkan tepat memotong garis bidang longsor yang memiliki sudut 45° maka tahanan geser tanah yang dihasilkan lebih kecil daripada yang dihasilkan oleh sudut 30° . Kondisi ini terjadi antara lain karena sudut terhadap horisontal yang terbentuk oleh kedua besaran sudut

tersebut merupakan fungsi matematis trigonometri fungsi Cosinus (Cos). Di mana nilai $\text{Cos } 45^\circ (\approx 0.707)$ adalah lebih kecil daripada nilai $\text{Cos } 30^\circ (\approx 0.866)$.

Hal ini juga didukung menurut hasil penelitian yang telah dilaporkan oleh Lee, et.al (1995), dan Jeong, et.al (2003). Menurut Lee, et.al (1995) bahwa faktor keamanan stabilitas lereng yang maksimal dapat dihasilkan oleh cerucuk yang diposisikan pada lokasi dekat kaki lereng maupun kepala (atas) lereng dibandingkan tepat ditengah lereng. Di mana posisi cerucuk yang lebih mendekati dengan kaki lereng akan menghasilkan faktor keamanan (SF) yang paling efektif. Selain itu Jeong, et.al (2003) juga telah melaporkan bahwa apabila posisi cerucuk diletakkan di antara sisi tengah lereng dan sisi kaki lereng akan menghasilkan faktor keamanan stabilitas lereng yang efektif. Namun faktor keamanan stabilitas lereng akan menurun bila posisi cerucuk terletak di antara sisi tengah lereng dan sisi atas lereng (kepala lereng).

F. Pengaruh Pola Pemasangan Cerucuk terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah

Benda uji dengan perlakuan variasi pola pemasangan cerucuk dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap peningkatan tahanan geser tanah. Adapun variasi pola pemasangan cerucuk yang diterapkan adalah pola persegi baris x kolom kelompok tiang cerucuk yaitu: 1) pola 2x3 dan pola 1x6 (di mana arah gaya geser yang diberikan sejajar terhadap baris kelompok tiang cerucuk), dan 2) pola 3x2 dan pola 6x1 (di mana arah gaya geser yang diberikan tegak lurus terhadap baris kelompok tiang cerucuk). Masing-masing benda uji dari pola pemasangan tersebut menggunakan parameter pengujian yang dibuat sama, yaitu: diameter tiang sebesar 3mm, rasio tancap sebesar $(L/D) = 15$, spasi antar tiang cerucuk sebesar $5D$, serta jumlah tiang cerucuk sebanyak 6 batang.

Dalam Tabel 7.1 dijelaskan pengaruh pola pemasangan terhadap tahanan geser tanah yang diwakili oleh parameter rasio $\text{Plab}/\text{Panalitis}$. Berdasarkan perbedaan nilai rata-rata rasio $\text{Plab}/\text{Panalitis}$ dalam Tabel 7.1 dapat dinyatakan bahwa pola pemasangan tiang cerucuk 2x3 menghasilkan tahanan geser tanah 1,13 kali lebih besar dibandingkan dengan pola pemasangan

tiang cerucuk 3x2. Demikian juga dengan tahanan geser tanah yang dihasilkan pada pola pemasangan tiang cerucuk 1x6 adalah 1,13 kali lebih besar daripada pola pemasangan tiang cerucuk 6x1.

Jadi, pola pemasangan tiang cerucuk 2x3 dan 1x6 dapat menghasilkan tahanan geser tanah yang lebih besar daripada pola pemasangan 3x2 dan 6x1. Hal ini terjadi karena pada pola-pola pemasangan 2x3 dan 1x6 kemampuan tiang-tiang cerucuk dalam menghasilkan mobilisasi perlawanan terhadap gaya geser horisontal (longsoran) menjadi lebih maksimal. Adanya jumlah cerucuk yang lebih banyak dalam arah sejajar untuk melawan gaya longsoran pada pola pemasangan 2x3 dan 1x6 mampu meningkatkan tahanan geser tanah. Oleh sebab itu pada pola pemasangan 2x3 dan 1x6 saat mengalami deformasi akibat adanya gaya longsoran maka menghasilkan tegangan geser yang dihasilkan cerucuk untuk menahan geseran sebesar 1,13 kali lebih besar dibandingkan pada pola pemasangan tiang cerucuk 3x2 dan 6x1. Perbedaan nilai tahanan geser tanah akibat pengaruh pola pemasangan ini relatif kecil dan tidak signifikan. Sehingga hal ini dapat diabaikan.

Tabel 7.1 Nilai Rasio Plab/Panalitis dan Variasi Pola Pemasangan

No.	Pola Pemasangan	Panalitis 1 cerucuk (kg)	ΔP lab 1 Cerucuk (Kg)	Ratio (Plab/Panalitis)	Rerata Ratio (Plab/Panalitis)
1	Pola 2 x 3	0.680	1.252	1.842	1.800
		0.680	1.195	1.758	
		0.680	1.224	1.801	
2	Pola 3 x 2	0.680	1.110	1.633	1.591
		0.680	1.081	1.591	
		0.680	1.053	1.549	
3	Pola 1 x 6	0.680	1.394	2.080	1.977
		0.680	1.280	1.883	
		0.680	1.337	1.967	
4	Pola 6 x 1	0.680	1.053	1.597	1.741
		0.680	1.224	1.857	
		0.680	1.167	1.770	

G. Pengaruh Jenis Tanah terhadap Peningkatan Tahanan Geser Tanah

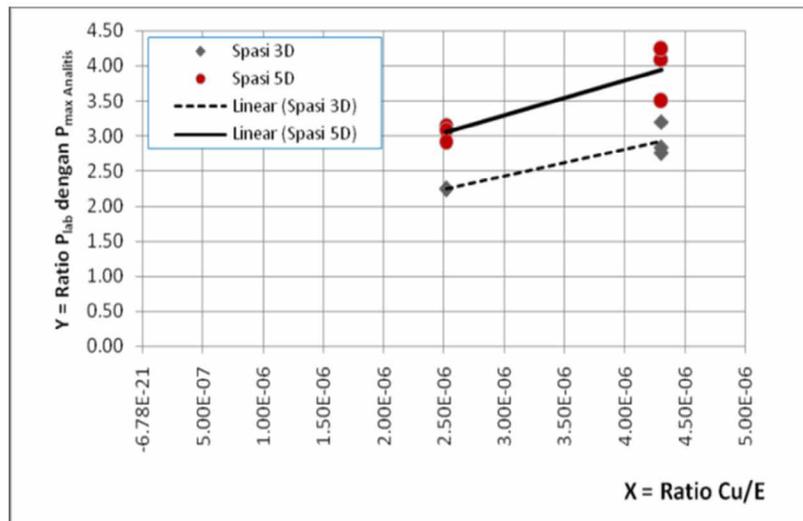
Dalam rangka untuk mendapatkan informasi mengenai pengaruh jenis tanah yang ditancapi oleh cerucuk terhadap tahanan geser tanah maka dilakukan pengujian model benda uji tanah-cerucuk dengan variasi jenis tanah. Variasi jenis tanah yang digunakan dalam pengujian ini adalah *Medium Clay* dan *Soft Clay*. Sedangkan parameter pengujian dengan besaran yang dibuat tetap yaitu: jumlah batang cerucuk yang berdiameter 3mm sebanyak 4 batang (pola pemasangan baris x kolom : 1x4), rasio tancap yang diterapkan (L/D) sebesar 15, serta arah gaya geser yang diberikan adalah sejajar terhadap baris kelompok tiang cerucuk.

Untuk mengetahui pengaruh jenis tanah terhadap tahanan geser maka ditentukan hubungan parameter Cu/E terhadap rasio Plab/Panalitis. Adapun pengaruh rasio Cu/E terhadap rasio Plab/Panalitis ditunjukkan dalam Tabel 7.1. Parameter perbandingan (rasio) Cu/E dimaksudkan untuk membandingkan pengaruh jenis tanah (yang diwakili dengan kuat geser tanah kondisi undrained, Cu) dan pengaruh elastisitas bahan cerucuk (yang diwakili dengan modulus elastisitas, E). Dalam hal ini parameter rasio Cu/E merupakan interpretasi dari jenis tanah (yang dipengaruhi oleh adanya cerucuk). Sedangkan parameter rasio Plab/Panalitis merupakan interpretasi dari tahanan geser tanah.

Berdasarkan kurva hubungan yang dijelaskan dalam Gambar 7.10 maka dapat dinyatakan bahwa jenis tanah mempengaruhi tahanan geser tanah yang dihasilkan oleh sistem tanah-cerucuk baik cerucuk yang menggunakan spasi sebesar 3D maupun 5D. Cerucuk yang dipasang pada jenis tanah *Medium Clay* menghasilkan tahanan geser tanah yang lebih besar dibandingkan pada jenis tanah *Soft Clay*. Hasil penelitian yang hampir serupa juga telah dilaporkan oleh Ashour dan Ardalan (2012), serta Kourkoulis, et.al (2011). Di mana menurut Ashour dan Ardalan (2012) bahwa apabila jenis tanah yang berada di atas permukaan bidang gelincir tergolong tanah yang tidak menguntungkan (jelek) maka akan menghasilkan tekanan yang besar terhadap cerucuk. Se-

dangkan menurut Kourkoulis, et.al (2011) telah menyimpulkan 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.

Dalam Tabel 7.1 ditunjukkan besaran prosentasi penambahan gaya geser akibat adanya cerucuk di dalam masing-masing variasi jenis tanah dan variasi spasi cerucuk. Berdasarkan tabel tersebut dapat dijelaskan bahwa prosentasi penambahan gaya geser yang dihasilkan oleh cerucuk yang berada di dalam tanah *Medium Clay* adalah lebih kecil daripada di dalam tanah *Soft Clay*. Hal ini dapat dinyatakan pula bahwa penambahan cerucuk di dalam jenis tanah *Soft Clay* berpengaruh lebih besar daripada penambahan cerucuk di dalam jenis tanah *Medium Clay*. Kondisi ini terjadi disebabkan oleh adanya kekuatan cerucuk yang berperan sebagai tulangan (*reinforcement*) pada tanah, di mana pada jenis tanah *Soft Clay* (Cu yang kecil) pengaruh tulangan tersebut lebih berfungsi maksimal dan lebih besar daripada jenis tanah *Medium Clay*.



Gambar 7.10 Hubungan Rasio Plab/Panalitis dan Rasio Cu/E.

Bab 8

Menghitung Tahanan Geser Tanah dengan Adanya Cerucuk

A. Usulan Model Persamaan Peningkatan Tahanan Geser Tanah Akibat Adanya Cerucuk

Berdasarkan hasil analisa perhitungan persamaan koreksi pada sub-sub bab sebelumnya, maka Persamaan NAVFAC DM.7 perlu dikoreksi menjadi model persamaan baru dalam rangka peningkatan tahanan geser tanah stabilitas lereng akibat adanya cerucuk yang lebih mendekati dengan kondisi di lapangan. Persamaan NAVFAC DM.7 dikoreksi dengan mengalikan faktor koreksi berupa persamaan model regresi dari hasil kurva hubungan rasio $P_{lab} \neq / P_{lab} =$ dan masing-masing parameter rasio tancap, spasi, diameter, dan jumlah cerucuk seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Pada Tabel 8.1 ditunjukkan model persamaan regresi masing-masing perlakuan cerucuk.

Tabel 8.1 Prosentasi Penambahan Gaya Geser Cerucuk Pada Variasi Jenis Tanah

No.	Jenis Tanah	Tanpa Cerucuk (Kg)	Dengan Cerucuk (kg)	Penambahan Gaya Geser ΔP grup (Kg)	% Penambahan	Rerata% Penambahan
1	Soft Clay 3D	16.560	21.168	4.608	21.769	21.769
		16.560	21.168	4.608	21.769	
2	Medium Clay 3D	28.114	34.661	6.547	18.890	19.406
		28.114	35.515	7.401	20.840	
		28.114	34.490	6.376	18.487	
3	Soft Clay 5D	16.560	23.047	6.487	28.147	27.423
		16.560	22.876	6.316	27.610	
		16.560	22.534	5.974	26.511	
4	Medium Clay 5D	28.114	36.198	8.084	22.334	24.442
		28.114	37.565	9.451	25.160	
		28.114	37.906	9.792	25.833	

Tabel 8.2 Model Persamaan Cerucuk Untuk Masing-masing Variasi Perlakuan

Variasi Perlakuan Cerucuk	Model Persamaan
Rasio Tancap(X_t)	$Y_t = 0,1(X_t) - 0,35$ ($Y_t = 1$ bila $X_t = 15$), (untuk $0 < L/D < 5$, $Y_t = 0.02 X_t$), ($Y_{t \max} = 1.45$)
Spasi(X_s)	$Y_s = -0.057(X_s)^2 + 0.614(X_s) - 0.658$ ($Y_s = 1$ bila $X_s = 5$)
Jumlah (x_n)	$Y_n = -0.047x_n + 1.051$ ($Y_n = 1$ bila $X_n = 1$)
Diameter(X_D)	$Y_D = 46.616(X_D) - 3.582$ ($Y_D = 1$ bila $X_D = 0.126$), ($Y_D \min = 1.0$; $Y_D \max = 1.70$)

Nilai rata-rata $P_{lab}/P_{analitis}$ dari semua variasi dalam Tabel 8.2 tersebut adalah sebesar 2,30.

Model persamaan peningkatan tahanan geser tanah akibat adanya cerucuk (koreksi persamaan NAVFAC DM.7) menjadi:

$$P_{\max (1 \text{ cerucuk})} = \frac{MP_{\max (1 \text{ cerucuk})}}{fm.T} \times Fk_g$$

$$Fk_g = 2.30 * Y_t * Y_D * Y_s * Y_n$$

Dengan syarat:

- a. spasi cerucuk yang digunakan : 3D sampai 8D
- b. rasio tancap yang digunakan: L/D=5 s.d. L/D=20

Untuk nilai $L/D < 5$ maka digunakan persamaan $Y_t = 0.02(X_t)$. Sedangkan untuk nilai $L/D > 20$ maka digunakan nilai $Y_t \leq 1.45$.

- a. rasio D/T yang digunakan: 0.099 s.d. 0.113
($Y_D = 1.0$ jika $D/T = 0.1$)
($Y_{D \min} = 1.0$; $Y_{D \max} = 2.0$.)

dengan:

Fk_g = faktor koreksi gabungan

Y_t = persamaan pengaruh rasio tancap cerucuk X_t = rasio tancap (L/D)

Y_D = persamaan pengaruh diameter cerucuk X_D = rasio D/T

Y_s = persamaan pengaruh spasi/jarak antar cerucuk X_s = spasi (S/D)

Y_n = persamaan pengaruh jumlah cerucuk X_n = Jumlah Cerucuk

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

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

fm = koefisien momen akibat gaya lateral P (dari kurva NAVFAC DM.7-1971)

T = Faktor kekakuan relatif, cm (dari kurva NAVFAC DM.7-1971)

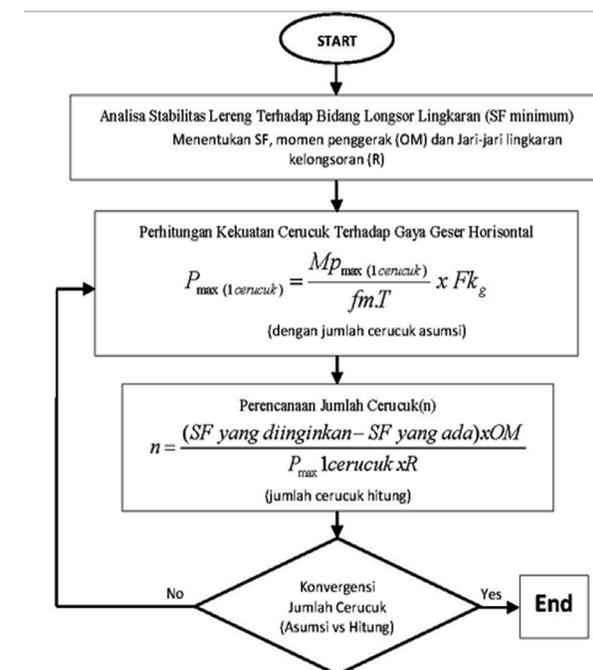
D = diameter cerucuk, cm

E = modulus elastisitas tiang (cerucuk), kg/cm^2

I = momen inersia tiang (cerucuk), cm^4

f = koefisien dari variasi modulus tanah, kg/cm^3

Dalam Gambar 8.1 menunjukkan bagan alir prosedur desain jumlah cerucuk untuk pelaksanaan di lapangan.



Gambar 8.1 Prosedur Desain Jumlah Cerucuk.

B. Keandalan Model Persamaan Peningkatan Tahanan Geser Tanah Akibat Adanya Cerucuk

Model persamaan peningkatan tahanan geser tanah akibat adanya cerucuk (koreksi persamaan NAVFAC DM.7) dalam bahasan di bawah ini selanjutnya disebut sebagai Rumus Cerucuk 2015. Rumus Cerucuk 2015 tersebut dapat dikatakan andal apabila dalam aplikasinya telah dihasilkan nilai yang lebih aman dan besaran nilai tersebut mendekati dengan nilai yang dihasilkan oleh metode umum lainnya yang telah teruji dan sudah berlaku selama ini. Uji keandalan rumus cerucuk 2015 dimaksudkan sebagai langkah untuk menguji model persamaan cerucuk yang dapat menghasilkan kesimpulan yang lebih meyakinkan. Uji keandalan dilakukan dengan cara membandingkan nilai yang dihasilkan melalui rumus cerucuk 2015 dan nilai yang dihasilkan dari beberapa rumus atau metode lainnya yang telah umum digunakan untuk menanggulangi kelongsoran lereng. Metode perbandingan yang dimaksud tersebut yaitu: metode Broms (tiang lateral), metode NAVFAC DM-7 1971 (tiang lateral), metode Arya dan Mochtar (2002), dan metode numerik stabilitas lereng melalui GeoSlope versi 7.10-2007.

Untuk menunjang perhitungan keandalan rumus cerucuk 2015 dengan metode perbandingan, contoh kasus nyata kelongsoran yang telah terjadi di lapangan ditetapkan sebagai bahan kajiannya. Dalam buku ini dipilih salah satu contoh kasus nyata kelongsoran badan jalan pada Proyek Pembangunan Relokasi Jalan Tol Surabaya-Gempol, Provinsi Jawa Timur (Tahun 2014) sebagai permasalahan yang diatasi dengan menggunakan alternatif perkuatan cerucuk. Deskripsi singkat keadaan proyek jalan tol tersebut yaitu pada beberapa waktu di tahun 2014 yang lalu kemajuan fisik Pembangunan Relokasi Jalan Tol Surabaya-Gempol, Provinsi Jawa Timur sudah dalam tahap pembangunan badan jalan dengan penimbunan urugan pilihan setinggi 11,10 m. Badan jalan tersebut telah diperkuat dengan dinding penahan tanah yang ditopang oleh 3 buah pondasi tiang pancang sedalam lebih dari 12 m (dapat dikatakan berfungsi juga sebagai cerucuk penahan kelongsoran). Pada bagian

tanah dasarnya juga telah dilakukan perbaikan tanah dengan *preloading* dan PVD-PHD.

Namun pada kenyataannya, selama dalam masa pembangunan proyek jalan tol tersebut, di beberapa bagian sisi badan jalan telah mengalami kelongsoran dalam. Pada saat itu diprediksi tanah dasar telah mengalami derajat konsolidasi sebesar 60%. Dalam Gambar 8.2, 8.3 dan 8.4 ditunjukkan dokumentasi dan ilustrasi kondisi kelongsoran yang terjadi di lapangan. Berdasarkan analisis Mochtar (2014) bahwa penanganan kelongsoran tersebut dapat diatasi antara lain menggunakan alternatif perkuatan dengan cerucuk.

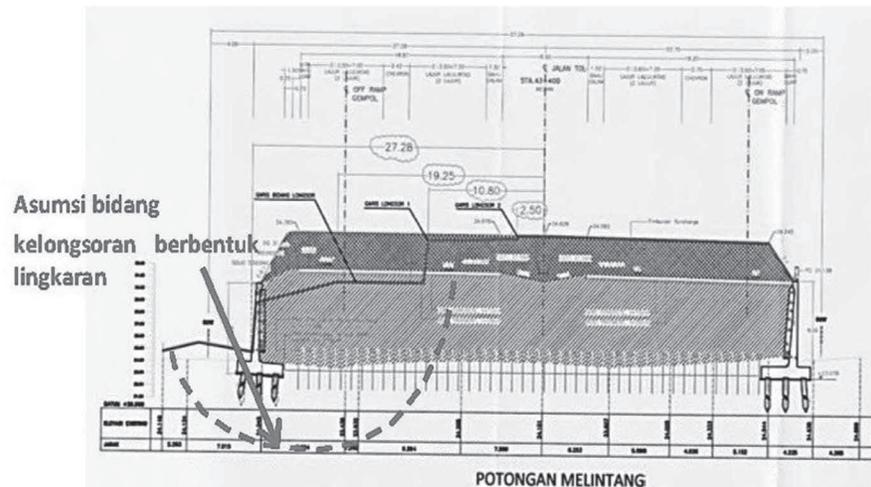


Gambar 8.2. Kelongsoran Badan Jalan dan Dampak Kelongsoran terhadap Rumah di Dekat Area Kelongsoran (Mochtar, 2014).



Gambar 8.3. Kelongsoran Badan Jalan Pada Area Ainnya (Mochtar, 2014).

Pada Tabel 8.3 ditunjukkan perbandingan jumlah cerucuk dan SF hasil perhitungan rumus cerucuk 2015 dan metode-metode umum lainnya. Berdasarkan tabel tersebut dapat dinyatakan bahwa jumlah cerucuk yang dihasilkan melalui perhitungan cara Broms (rumus tiang lateral) adalah hampir mendekati sama dengan jumlah tiang pancang (cerucuk) pondasi dinding penahan tanah jalan Tol Surabaya–Gempol yang telah terpancang, yaitu 3 (tiga) batang. Pada kenyataannya jumlah tiang pancang (cerucuk) tersebut tidak mampu melawan gaya longsoran sehingga terjadilah kelongsoran saat itu pada badan jalan tol tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa cara Broms relatif belum tepat dipakai sebagai rumusan cerucuk untuk menahan kelongsoran lereng dalam.



Gambar 8.4. Potongan Melintang Badan Jalan Tol dan Asumsi Kelongsoran Badan Jalan Tol Berbentuk Lingkaran untuk *Overall Stability* (Mochtar, 2014).

Selain itu, berdasarkan Tabel 8.4 juga ditunjukkan bahwa jumlah cerucuk yang dihasilkan oleh metode numerik dengan bantuan perangkat lunak GeoSlope adalah sebanyak 4 batang. *Safety factor* (SF) yang dihasilkan melalui metode tersebut sebesar 1,118. Angka *safety factor* (SF) yang dihasilkan tersebut lebih besar daripada angka *safety factor* (SF) yang dihasilkan melalui rumus cerucuk 2015. Padahal angka *safety factor* (SF) yang diperoleh melalui rumus cerucuk 2015 sebesar 1,100 dapat menghasilkan jumlah cerucuk yang

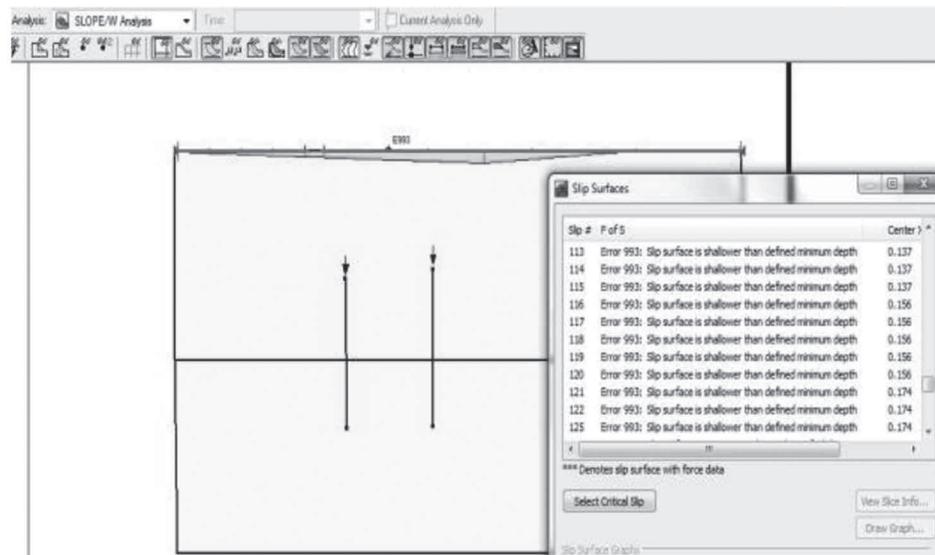
lebih banyak (sebanyak 5 batang) daripada jumlah cerucuk berdasarkan metode numerik dengan perangkat lunak GeoSlope (4 batang untuk nilai SF sebesar 1,118). Sehingga, berdasarkan hal tersebut maka jumlah cerucuk yang dihasilkan melalui rumus cerucuk 2015 dapat dikatakan relatif lebih aman daripada rumus/metode lainnya. Hal ini karena rumus cerucuk 2015 yang dihasilkan dalam buku ini menggunakan variabel faktor koreksi yang berpengaruh di lapangan, seperti faktor rasio tancap cerucuk, spasi cerucuk, diameter cerucuk, jumlah cerucuk, dan faktor efisiensi. Berdasarkan uraian di atas, maka dapat dinyatakan bahwa rumus cerucuk 2015 lebih andal dan lebih meyakinkan daripada rumus/metode lainnya dalam hal mengatasi kelongsoran dalam.

Tabel 8.3 Perbandingan Jumlah Cerucuk dari Berbagai Metode

No	Metode/ Formula	SF (Safety Factor)	Jumlah Cerucuk Minimal (batang)	
			Hasil Desain	Dibulatkan
1.	Cara Broms, 1964 (Rumus Tiang Lateral)	1,100	2.46	3
2.	Rumus Tiang Lateral dari : NAVFAC DM-7 (1971) dan Mochtar (2000)	1,100	3.89	4
3.	Arya dan Mochtar (2002)	1,100	3.17	4
4.	Numeric by GeoSlope Versi 7.10-2007	1,118	4.00	4
5.	Rumus Cerucuk 2015 (hasil penelitian Disertasi)	1,100	4.60	5

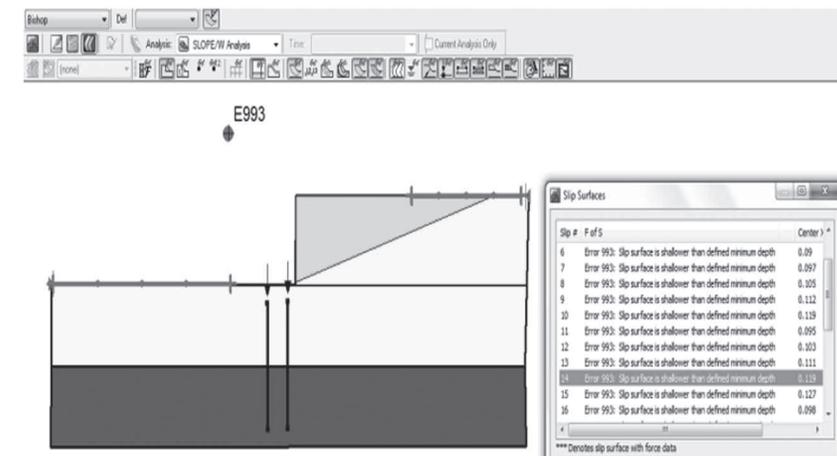
Selain hal di atas, uji validasi terhadap hasil uji geser tanah-cerucuk di laboratorium (Plab) dengan menggunakan perangkat lunak GeoSlope juga telah dilakukan sebelumnya, namun memberikan hasil yang berbeda. Dalam Gambar 8.5 ditunjukkan hasil/output dari GeoSlope terhadap benda uji yang ditancapi 2 (dua) batang cerucuk seperti kondisi yang terjadi saat pengujian geser tanah-

cerucuk di laboratorium. Berdasarkan gambar tersebut menunjukkan bahwa bidang geser yang dihasilkan tidak berpotongan dengan batang cerucuk. Hal ini bertolak belakang dengan kondisi yang terjadi di laboratorium.



Gambar 8.5 Hasil/Output GeoSlope terhadap Benda Uji Tanah–Cerucuk di Laboratorium.

Selanjutnya, dalam *input* program Geoslope dicoba kembali dengan menambahkan asumsi adanya beban luar pada bagian atas benda uji, serta mengganti lapisan bawah tanah benda uji menjadi lebih padat (keras) dari sebelumnya. Hal ini bertujuan agar dapat terjadi perpotongan bidang geser dan batang cerucuk sehingga dapat dibaca Plab hasil GeoSlope-nya. Hasil/output Geoslope dari *input* ini ditunjukkan pada Gambar 8.6. Berdasarkan gambar yang ditunjukkan tersebut bahwa bidang geser yang terjadi ternyata masih tidak memotong batang cerucuk. Hal ini juga masih belum mendekati seperti pada kondisi yang terjadi di laboratorium. Berdasarkan hal tersebut maka uji validasi dengan menggunakan perangkat lunak GeoSlope terhadap hasil uji geser tanah–cerucuk di laboratorium (Plab) tidak dapat digunakan dalam penelitian buku ini.



Gambar 8.6 Hasil/Output GeoSlope terhadap Benda Uji Tanah—Cerucuk di Laboratorium dengan Asumsi Adanya Beban Luar.

Daftar Pustaka

- Acharya, K. P., Bhandary, N. P., Dahal, R. K., & Yatabe, R. 2016. "Seepage and Slope Stability Modelling of Rainfall-Induced Slope Failures in Topographic Hollows." *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(2), 721–746.
- Ashour M dan Ardalan H. 2012. "Analysis of Pile Stabilized Slopes Based on Soil-Pile Interaction." *Computers and Geotechnics-ELSEVIER*, 39:85–97.
- Broms, B.B. 1965. "Design of Laterally Loaded Piles." *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, ASCE, Vol. 91, No. SM3, pp. 79–99.
- Budiantara, I, N. 2009. "Spline dalam Regresi Nonparametrik dan Semi-parametrik: Sebuah Pemodelan Statistika Masa Kini dan Masa Mendatang." *Pidato Pengukuhan Guru Besar Bidang Ilmu Matematika Statistika dan Probabilitas*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember. hal. 16
- Bulley, W.A. 1965. "Cylindrical Pile Retaining Wall Construction-Seattle Freeway." *Paper presented at Roads and Streets Conference*, Seattle, Washington.
- Cai, F. dan Ugai, K. 2003. "Response of Flexible Piles Under Laterally Linear Movement of the Sliding Layer in Landslides." *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 40, 46–53.
- Chen, C., dan Martin, G. 2002. Soil-Structure Interaction for Landslide Stabilizing Piles." *Comput. Geotech.*, 29(5), 363–386.
- Chen, L. T., Poulos, H. G., and Hull, T. S. 1996. "Model Tests on Pile Groups Subjected to Lateral Soil Movement." *Soils and Found.* Tokyo, Japan.
- Chen, L. T., Poulos, H. G., and Hull, T. S. 1997. Piles Subjected to Lateral Soil Movements." *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 123(9), 802–811.
- Chen, L., dan Poulos, H. G. 1994. "A Method of Pile-Soil Interaction Analysis for Piles Subjected to Lateral Soil Movement." *Proc. • 8th Int. Conf. on Compo Methods and Adv. in Geomech.*, 2311–2316.
- Chow, Y. K. 1996. "Analysis of Piles Used for Slope Stabilization." *Inter J Nume. Anat. Meth. Geomech.*, Vol.20, pp.635–646.
- Chow, Y.K. dan Yong, K.Y. 1996. "Analysis of Piles Subject to Lateral Soil Movements." *Journal Institute of Engineers*, Singapore, Vol. 36, No. 2, pp. 43–49.
- Cornforth, D. H. 2005. *Landslides in Practice: Investigation, Analysis and Remedial/Preventative Options in Soils*. Second Edition. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Damoerin D, Prakoso W.A, dan Triwibowo A. 2012. Tinjauan penggunaan cerucuk kayu dan bambu sebagai metode perkuatan tanah lanau berpasir dengan uji triaxial terkonsolidasi tak terdrainase, *Proceeding 16th Annual Scientific Meeting, HATTI*. hal.177–182
- D'Appolonia, E., Alperstein, R., dan D'Appolonia, D. J. 1977. "Behavior of a Colluvial Slope." *J. Soil Mech. and Found. Div., ASCE*, 93,447–473.
- Day, R. 2002. *Geotechnical Earthquake Engineering Handbook*. McGraw-Hill Company. Callgary, Alberta, Canada T2P 2Y5
- De Beer E, Carpentier R. 1977. "Discussions: Methods to Estimate Lateral Force Acting on Stabilizing Piles." *Soils Found.* 17(1): 68–82.
- 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.
- Fathani, T. F. 2018. "Penegakan Kedaulatan Teknologi Nasional dalam Penanggulangan Bencana Gerakan Tanah." *Pidato Pengukuhan Guru Besar*. Yog-

- yakarta: Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada.
- Fathiyah Wardah. 2019. "BNPB: 40,9 Juta Warga Indonesia Tinggal di Daerah Rawan Longsor." <https://www.voaindonesia.com/>. dimuat pada 03 Januari 2019 dan diakses pada 04 November 2020 jam 09.45 WIB.
- Firat S, Sarıbiyik M, Çelebi E. 2006. "Lateral Load Estimation from Visco-Plastic Mud-Flow Around Cylindrical Row of Piles." *J. Appl. Math. Comput.* 73(2): 803–821.
- Firat. 2009. Stability Analysis of Pile-Slope System." *Scientific Research and Essay* Vol.4 (9), pp. 842–852.
- GEO-SLOPE International. 2010. "Seepage Modeling with SEEP/W 2007." *Geostudio Helpfile*, (February), 307.
- Hardiyatmo, H. C. 2012. *Tanah Longsor dan Erosi: Kejadian dan Penanganan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hassiotis, S., Chameau, J. L. dan Gunaratne, M. 1997. Design Method for Stabilization of Slopes With Piles." *J. Geotechnics and GeoEnvironment Engineering, ASCE*, Vol.123, No.4, pp.314–323.
- Hassiotis, S., dan Chameau, J. L. 1984. "Stabilization of Slopes Using Piles." *Rep. No. FHWA/IN/JHRP-84/8*. Purdue Univ., West Lafayette, Ind
<https://ugm.ac.id/id/berita/13228-bencana.pergerakan.tanah.mengancam.sebagian.besar.wilayah.indonesia> dimuat pada 27 Januari 2017, 15:10 WIB dan diakses 04 November 2020 jam 09.00 WIB.
- I Nengah Sinarta dan I Wayan Ariyana Basoka. 2019. "Keruntuhan Dinding Penahan Tanah dan Mitigasi Lereng di Dusun Bantas, Desa Songan B, Kecamatan Kintamani." *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas—Vol. 3*, Edisi Khusus 1, Maret 2019
- Ilyas, T., dan Hardjanto. 2003. "Analisis Perilaku Pile Cap dari Group Tiang Terhadap Beban Lateral Statis: Studi pada Tanah Lempung dengan Memperhatikan "Shadowing Effect." *Prosiding Konferensi Geoteknik Indonesia VI dan Pertemuan Ilmiah Tahunan VII, Jakarta 11–13 Agustus 2003*, ISBN 979-96668-3-X.
- Ilyas, T., dan Supanji, B.S. 2001. "Kinerja Grup Tiang Yang Menerima Beban Lateral di Lapisan Lempung: Studi Model Centripuge." *Makalah Seminar Nasional HATTI, Bandung 7–8 Nopember 2001*.
- Ito, T. dan Matsui, T. 1975. "Methods to Estimate Lateral Force Acting on Stabilizing Piles." *Soils and Foundations*, Vol. 15, No.4, pp43–59.
- Ito, T., Matsui, T., dan Hong, W. P., 1979, Design method for the stability analysis of the scope with landing pier, *Soils and Foundations*, Vol.19, No.4, pp.43–57.
- 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.
- 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.
- Janbu, N. 1973. "Slope Stability Computation, Embankment-Dam Engineering." *Cassagrande Volume*, edited by R.C.Hirschfeld and S.J. Poulos, John Wiley & Sons, New York, pp. 47–86.
- Jeoung S, Kim B, Won J, dan Lee J. 2003. "Uncoupled Analysis of Stabilizing Piles in Weathered Scopes." *Computers and Geotechnics-ELSEVIER*, 30(8), 671–682
- 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.
- Kourkoulis, R., Gelagoti, F., Anastasopoulos, I., dan Gazetas, G. 2012. "Hybrid Method for Analysis and Design of Slope Stabilizing Piles" *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE.

- Lee, C. Y., Hull, T. S., dan Poulos, H. G. 1995. "Simplified Pile-Slope Stability Analysis." *Computers and Geotechnics-ELSIVIER*, Vol. 17, pp. 1–16.
- Liliwanti. 2007. "Pengukuran Geser pada Interface Kayu-Tanah dengan Pengujian Geser Langsung (Direct Shear)." *Jurnal Rekayasa Sipil*, Vol III, No.1, hal.8–16
- Lirer S. 2012. "Landslide Stabilizing Piles: Experimental Evidences and Numerical Interpretation." *Engineering Geology-ELSEVIER*, 149-150: 70–77
- Martin GR dan Chen CY. 2005. "Response of Piles due to Lateral Slope Movement." *Comput. Structure* 83: 588–598.
- Matsui, T., Hong, W.P. dan Ito, T. 1982. "Earth Pressures on Piles in a Row due to Lateral Soil Movements." *Soils and Foundations*. 22 (2), 71–81.
- Mochtar, I. B. dan Arya I.W. 2002." Pengaruh Penambahan Cerucuk Terhadap Peningkatan Kuat Geser Tanah Lunak pada Pemodelan di Laboratorium." *Tesis Bidang Geoteknik*. Surabaya: Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana ITS.
- Mochtar, I. B. 2000. "Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan pada Tanah Bermasalah (Problematic Soils)." *Penerbit Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS*, Surabaya.
- 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.
- 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.
- Mochtar, I. B. 2014. "Kajian Analisa dan Penanganan Masalah Penurunan dan Pergeseran Tanah Badan Jalan Sta 43+340 S/D 43+480 Pada Proyek

- Pembangunan Relokasi Jalan Tol Surabaya-Gempol Paket 3: Ruas Porong-Gempol." *Laporan Penyelidikan oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat LPPM, ITS*.
- Muthukkumaran, K, Sundaravadivelu, R, dan Gandhi, S.R. 2004. "Effect of Sloping Ground on Single Pile Load Deflection Behaviour Under Lateral Soil Movement." *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, Paper no.2147.
- NAVFAC DM-7. 1971. "Design Manual, Soil Mechanics, Foundation and Earth Structures." *Depth. Of the Naval Facilities Engineering Command*, Virginia, USA.
- Nethero, M. F., 1982, Slide control by drilled pier walls. Application of walls to landslide control problems. *R. B. Reeves, ed., ASCE*. New York, N.Y., 19–29.
- Offenberger, J.H. 1981. "Hillside Stabilized With Concrete Cylinder Pile Retaining Wall." *Public Works*, Vol. 112, No. 9, pp. 82–86.
- Poulos, H. G. 1973. "Analysis of Piles in Soils Undergoing Lateral Movement." *J. Soil Mech. and Found. Div., ASCE*, 99, 391-406.
- Poulos, H. G. 1995. "Design of Reinforcing Piles to Increase Slope Stability." *Canadian Geotechnics Journal.*, Vol.32, pp. 808- 818.
- Poulos, H.G. dan L.T. Chen, 1996. Pile response due to unsupported excavation-induced lateral soil movement. *Can. Geotech. J.* 33: 670-677.
- Poulos, H.G. 1971. "Behaviour of Laterally Loaded Piles: I. Single Piles." *Journal of Soil Mechanics and Foundations Divisions, ASCE*, 97(SM5): 711-731.
- Poulos, H.G., L.T. Chen, dan Hull T.S. 1995. "Model Tests on Single Piles Subjected to Lateral Soil Movement." *Soil and foundations*, Vol.35, No.4, pp.85-92.
- Pusat Komunikasi Publik. 2006. "Alih Fungsi Kawasan Lindung Menjadi Penyebab Meningkatnya Bencana Longsor." <https://www.pu.go.id/>. Dimuat pada Selasa, 07 Maret 2006 dan diakses pada 04 November 2020 jam 13.22 WIB.

- Redaksi. 2013. "Menyepelkan Analisa Tingkat Kepadatan Tanah Fatal Akibatnya." <https://cahwedung.wordpress.com/>. Dimuat pada 20 Februari 2013 dan diakses pada 06 November 2020 jam 10.48 WIB.
- Redaksi. 2015. "Metode Pelaksanaan Pekerjaan Cerucuk Bambu Sebagai Alternatif Perbaikan Kualitas Tanah." <https://samsyr.wordpress.com/>. Dimuat pada 04 Mei 2015 dan diakses pada 06 November 2020 jam 13.19 WIB.
- Redaksi. 2020. "28 Jenis Jenis Tanah di Indonesia: Manfaat, Persebaran, Gambarnya." <https://ilmugeografi.com>. Diakses pada 04 November 2020 Jam 11.30 WIB.
- Reese, L.C., and Van Impe, W.F (2001), Single Piles and Pile Groups Under Lateral Loading,
- Reese, L.C., Laterally Loaded Piles, *Journal of The Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 103(GT4):pp287-305
- Sinarta, I. N. 2018. "Tingkat Ancaman Gerakan Tanah Pada Batuan Vulkanik di Bali Berdasarkan Pendekatan Geoteknik Komprehensif." *Disertasi*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Sinarta, I. N., Rifa'i, A., Fathani, T. F., & Wilopo, W. 2016a. *Pemetaan Ancaman Gerakan Tanah Berdasarkan Indeks Stabilitas pada ekstensi SINMAP di Kabupaten Bangli, Bali*. Proseding Seminar Nasional Geoteknik 2016. Yogyakarta: HATTI, ISBN: 978-602-71762-4-9.
- Sinarta, I.N., Rifa'i, A., Fathani, T.F. and Wilopo, W. 2017. "Landslide Hazards Due To Rainfall Intensity in the Caldera of Mount Landslide Hazards Due To Rainfall Intensity In." The 1st Warmadewa University International Conference on Architecture and Civil Engineering SUSTAINABILITY, DESIGN AND CULTURE 20th October 2017, Faculty of Engineering, Warmadewa University, Bali LANDSLIDE, vol. 1, 2017, pp. 160–67
- Sinarta, I.N., Rifa'i, A., Fathani, T.F. and Wilopo, W., 2016b. Indeks Ancaman Gerakan Tanah Dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) Untuk Penataan Infrastruktur Kepariwisata Di Kawasan Geopark Gunung Ba-

tur, Kabupaten Bangli, Bali. Seminar Nasional KonsepSi#2 (Konsep dan Implementasi 2), 1, pp.110–120.

- Sunarko. 2014. *Budi Daya Kelapa Sawit di Berbagai Jenis Lahan*. Jakarta: Agro-Media Pustaka.
- Suprayitno, H. & Soemitro, R.A.A. (2018). "Preliminary Reflexion on Basic Principle of Infrastructure Asset Management". *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, Vol. 2, No. 1, Maret 2018, Hal. : 1–9.
- Suryolelono, Kabul Basah. 2004. *Perancangan Fondasi*. Edisi 1. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Tim Analisa Stasiun Klimatologi Jembrana. 2017. "Analisis Banjir Bandang dan Tanah Longsor Di Sekitar Bedugul (Buleleng) dan Kintamani (Bangli) Tanggal 9 Februari 2017." *BMKG*. Stasiun Klimatologi Kelas II Jembrana – Bali.
- Tim Tanggap Darurat Gerakan Tanah. 2017. "*Laporan Singkat Bencana Gerakan Tanah Kecamatan Kintamani, Kabupaten Bangli, Provinsi Bali*." Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Bali.
- Van Hove. 1980. *Ensiklopedi Indonesia I A-CER*. Jakarta: Ichtiar Baru.
- Viggiani, C. 1981. Ultimate lateral load on piles used to stabilize landslides, *Proc. 10th Inter Conf. SMFE, Stockholm*, Vol.3, pp.555-560.
- 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.
- Winter, H., Schwarz, W., dan Gudehus, G. 1983. Stabilization of clay slopes by piles, *Proc., 8th Eur. Can. on Soil Mech. and Found. Engrg.*, Vol. 2,545.
- Won J, You K, Jeong S, dan Kim S. 2005. Coupled effects in stability analysis of pile-slope systems. *Computers and Geotechnics-ELSEVIER*, 32 (4): 304–315.

Yang S., Ren X., dan Zhang J. 2011. "Study on Embedded Length of Piles for Slope Reinforced With One Row of Piles" *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 3(2):167-178

Indeks

A

Alifatik 25
 Analisis reduksi 67
 Aquent 21
 Arent 22
 Atmosfer 22

B

Bencana 1, 2, 6, 10, 11, 13, 122

C

Cerucuk 14, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55,
 56, 57, 59, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68,
 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79,
 80, 82, 83, 84, 87, 88, 91, 92, 93, 94, 95,
 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104,
 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112,
 113, 114, 115, 116, 117, 118, 121

D

Deformasi 64, 90, 96, 97, 108

E

Empiris 54, 56, 57, 82, 84
 Erosi 4, 21, 122

F

Feldspatik 44, 45
 Fluvent 22
 Fraksi 18, 19

G

Gempa bumi 4
 Geologi 1, 2
 Geologis 1

Geoteknik 56, 58
 Getaran 4, 6
 Gunung berapi 4

H

Hidroksida 24
 Hidrosfer 22
 Homogen 83, 88, 93

I

Infrastruktur 13, 122, 126, 127

K

Komponen 14, 15, 45, 61, 84, 90
 Konstruksi 12
 Konvensional 65, 84

L

Lereng 4, 5, 12, 50, 51, 52, 54, 58, 63, 122, 124

M

Mikroorganisme 14
 Mineralogi 16

O

Orthent 22

P

Pelapukan 3, 4, 5, 12, 14, 19, 20, 22, 23, 24, 25,
 31, 32, 33, 36, 37, 44, 45
 Psamment 22

S

sedimen 5, 22, 31, 39, 40, 45
 struktur 3, 5, 16, 26, 28, 31, 32, 58, 70

Biodata Penulis



Dr. Ir. Rusdiansyah, ST., MT., IPM, ASEAN Eng., lahir di Banjarmasin, 9 Agustus 1974. Penulis bekerja sebagai Staf Edukatif Fakultas Teknik Unlam dengan pangkat IVB/Pembina Tk.I, dan jabatannya merupakan Lektor Kepala. Penulis tinggal di Jl. Dahlina Raya I, Komp.Benawa Indah Lestari Blok B, RT.22/

RW.04 No.19 Banjarbaru. No. Telepon/faks:0511-3304177/(0511)3305195, email:rusdiansyah74@ulm.ac.id. Berikut beberapa pengalaman penulis, yaitu: 1) Asesor Kompetensi Tenaga Ahli Konstruksi Bidang Teknik Sipil-LPJKP KalSel (2017-sekarang); 2) *Reviewer* Jurnal Teknik Sipil-Universitas Syiah Kuala Aceh (2020-sekarang); 3) *Reviewer* Jurnal Kacapuri-Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al-Banjari Banjarmasin (2019-sekarang).

Penulis menempuh pendidikan S1-nya di Fakultas Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat bidang teknik sipil tahun 1998. Melanjutkan S2 di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya bidang geoteknik tahun 2000, berlanjut S3 tahun 2016 di fakultas yang sama. Kemudian menyelesaikan pendidikan profesi insinyur di Universitas Lambung Mangkurat jurusan Teknik Sipil (Geoteknik) tahun 2018.

Selain itu, penulis pernah mengikuti pelatihan profesional, seperti di tahun 2000 ada 4 pelatihan, sebagai berikut: pelatihan Penanggulangan Tanah Bermasalah Fak. Teknik Unlam, Banjarmasin selama 5 hari. Pelatihan Penelitian Kualitatif Fak. Teknik Unlam, Banjarmasin selama 6 hari. Pelatihan Aplikasi Komputer Dalam Analisis Penelitian Teknik Sipil Dengan Perangkat Lunak SAP 90 Universitas Tanjung Pura, Pontianak selama 8 hari. Pelatihan Pendidikan dan Pelatihan Prajabatan Golongan III Angkatan VI Pemerintah Propinsi KalSel selama 22 hari. Tahun 2001 pelatihan Kursus Manajemen

Pelaksanaan Pelatihan Partisipatif LEMLIT UNLAM selama 2 hari, pelatihan Penataran PEKERTI selama 6 hari dan pelatihan Metode Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat tahun 2002 selama 5 hari. Pelatihan Bahasa Program Komputer Berorientasi Objek Fak. Teknik Unlam, Banjarbaru selama 2 hari, dan Penataran Applied Approach (AA) UNLAM selama 5 hari tahun 2003. Pelatihan Implementasi Program Statistika pada Penelitian Ilmiah HEDS-JICA-Fak.Teknik Unlam selama 2 hari, Pelatihan PLAXIS Fak. Teknik Unlam, Banjarbaru selama 2 hari, Pelatihan Membuat Proposal Penelitian Fak. Teknik Unlam, Banjarbaru selama 2 hari, pelatihan Kursus AMDAL TIPE-A (Penyusun) PPLH Unlam dan Kementerian Lingkungan Hidup selama 16 hari, Pelatihan Metodologi Penelitian, Penulisan dan Pembimbingan Tesis Fak. Teknik Unlam, Banjarbaru selama 2 hari tahun 2004. Pelatihan Membuat Standar Evaluasi Hasil Belajar Untuk Dosen Dilingkungan Fakultas Teknik Unlam Fak. Teknik Unlam, Banjarbaru selama 1 hari tahun 2006. Pelatihan dan Sosialisai Kegiatan Fakultas Teknik Tahun 2006 Fak. Teknik Unlam–Forum HEDS selama 1 hari tahun 2007. Pelatihan Aplikasi GIS Dalam Simulasi Pemodelan Reduksi Lahan Pertanian di Lahan Rawa Akibat Pengaruh Kenaikan Air Laut PT. Geoteknika Indonesia, Yogyakarta selama 30 hari tahun 2009. Workshop Insinyur Profesional Persatuan Insinyur Indonesia (PII) Jakarta selama 3 hari tahun 2016. Persatuan Insinyur Indonesia (PII) Jakarta Balai Jasa Konstruksi – LPJKP KalSel selama 7 hari tahun 2017. Workshop Majelis Penilai Insinyur Profesional Persatuan Insinyur Indonesia (PII) Jakarta selama 3 hari tahun 2017. Terakhir Pelatihan TOT BIM Direktorat Bina Konstruksi KemenPUPR selma 3 hari tahun 2019.

Adapun beberapa jabatan pengalaman penulis, yaitu: a) Person In Charge (PIC) Program I-MHERE Program Studi Teknik Sipil (2007–2009); b) Kepala Bagian Administrasi Umum/Keuangan/Bendahara Program Magister Teknik Sipil (2001–2005); c) Kepala Laboratorium Topografi dan Surveying Fakultas Teknik Unlam Banjarbaru (2008-2009); c) Kepala Bagian Administrasi Umum Program Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin-Banjarbaru (2006 – 2011); d) Kepala Laboratorium Topografi dan Surveying Fakultas Teknik Unlam Banjarbaru (2016 - 2017); e) Ketua Prodi Program

Profesi Insinyur Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru (2017); dan f) Ketua Prodi S1 Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin-Banjarbaru (2017–2020).

Peningkatan Tahanan Geser TANAH KOHESIF dengan Menggunakan METODE CERUCUK

Pergeseran atau gerakan tanah merupakan salah satu bencana yang kerap terjadi di Indonesia terutama di daerah perbukitan dan pegunungan. Jumlah penduduk yang tinggal di (daerah) bahaya sedang sampai tinggi (dari longsor) ini 40,9 juta jiwa. Data BNPB, ada tiga provinsi yang paling sering terjadi tanah longsor, yakni, Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Banten. Ditambah lagi dengan perkembangan penduduk Indonesia yang bertambah sangat cepat. Akibatnya, pemukiman penduduk Indonesia mulai bergeser ke wilayah-wilayah dataran tinggi yang tekstur tanahnya miring. Bencana alam yang terjadi akan semakin meningkat dengan semakin meningkatnya aktivitas pembukaan lahan untuk kegiatan yang tidak sesuai peruntukannya.

Buku yang sedang anda baca ini, membahas mengenai cara penanggulangan atas risiko tersebut. Di dalamnya dibahas mengenai teknik dan metode dalam merancang dan membangun sebuah bangunan dan jalan serta fasilitas-fasilitas umum agar pergeseran tanah bisa dihindari. Dalam buku ini juga dibahas mengenai penilaian dan pemetaan risiko bencana serta jenis-jenis tanah yang ada di Indonesia. Sehingga metode cerucuk yang akan digunakan disesuaikan dengan jenis tanah, agar penggunaan cerucuk dapat berfungsi secara maksimal. Semua metode tersebut dibahas secara lengkap dan rinci dalam buku ini.

Buku ini sangat cocok bagi Anda para akademisi dan praktisi sebagai rujukan dalam pengembangan dan penerapan metode cerucuk. Begitu juga bagi Anda para mahasiswa, buku ini sangat cocok menambah wawasan dan memperkuat keahlian. Buku ini membahas secara rinci dan lengkap mengenai metode cerucuk dengan penyajian logis dan sederhana.

 penerbit_manggu  penerbit manggu

 **Manggu**
Makmur Tanjung Lestari
Bandung, Indonesia
Telp. (022)54410200, 082214136659
www.penerbitmanggu.co.id

ISBN 978-623-7715-96-2

