

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Tanah

Kebanyakan tanah terdiri dari berbagai campuran dan mempunyai ukuran partikel yang bermacam – macam. Ukuran dari partikel tanah sangat beragam dengan variasi yang cukup besar. Tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*) atau lempung (*clay*), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut.

Berikut adalah batasan – batasan ukuran golongan jenis tanah (*soil separate size limits*) berdasarkan ukuran partikelnya:

- 1) Kerikil (*gravels*) adalah kepingan-kepingan dari batuan yang kadang – kadang juga mengandung partikel-partikel mineral *quartz*, *feldspar* dan mineral – mineral lain, Diameter butiran > 5 mm.
- 2) Pasir (*sand*) sebagian besar terdiri dari mineral *quartz* dan *feldspar*. Butiran dari mineral yang lain mungkin juga masih ada pada golongan ini, diameter butiran 0,0075 – 5,0 mm.
- 3) Lanau (*silt*) sebagian besar merupakan fraksi mikroskopis (berukuran sangat kecil) dari tanah yang terdiri dari butiran – butiran *quartz* yang sangat halus, dan sejumlah partikel – partikel berbentuk lempengan – lempengan pipih yang

merupakan pecahan dari mineral-mineral mika, diameter butiran 0,002 – 0,0075 mm.

- 4) Lempung (*clays*) sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan – lempengan pipih dan merupakan partikel – partikel dari mika. Lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0,002 mm.

2.2 Tanah Lunak

Tanah lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari sebagian besar butir-butir yang sangat kecil seperti lempung atau lanau. Sifat tanah lunak adalah gaya gesernya kecil, kemampatannya besar, koefisien permeabilitas yang kecil dan mempunyai daya dukung rendah jika dibandingkan dengan tanah lempung lainnya. Tanah lunak dalam konstruksi seringkali menjadi permasalahan. Hal ini dikarenakan rendahnya daya dukung tanah tersebut.

Daya dukung yang rendah dapat menyebabkan kerugian, mulai dari kerugian dari sisi biaya konstruksi yang semakin mahal, hingga terancamnya keselamatan konstruksi, yaitu struktur yang dibuat tidak mampu berdiri secara stabil dan bisa roboh. Menurut Hardiyatmo (1999) tanah lunak secara mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

- 1) Kuat geser rendah.
- 2) Bila kadar air bertambah, kuat gesernya berkurang.

- 3) Bila struktur tanah terganggu, kuat gesernya berkurang.
- 4) Bila basah bersifat plastis dan mudah mampat.
- 5) Menyusut bila kering dan mengembang bila basah.
- 6) Memiliki kompresibilitas yang besar.
- 7) Volumennya bisa berubah dengan bertambahnya waktu akibat rangkakan pada beban yang konstan.
- 8) Merupakan material kedap air.

Menurut Toha (1989), sifat umum tanah lunak adalah memiliki kadar air 80-100%, batas cair 80-110%, batas plastis 30-45%, saat dites *sieve analysis*, maka butiran yang lolos oleh saringan no 200 akan lebih besar dari 90% serta memiliki kuat geser 20-40 kN/m².

2.3 Kekuatan Geser

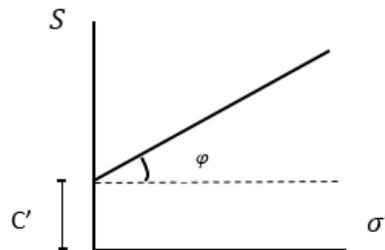
Kuat geser tanah yaitu kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi pada saat terbebani. Keruntuhan geser tanah terjadi bukan disebabkan oleh hancurnya butir – butir tanah tersebut tetapi karena adanya gerakan relatif antara butir – butir tanah tersebut. Kekuatan geser yang dimiliki oleh suatu tanah disebabkan oleh:

- 1) Pada tanah berbutir halus (kohesif) misalnya lempung kekuatan geser yang dimiliki tanah disebabkan karena adanya kohesi atau lekatan antara butir – butir tanah (c soil).

- 2) Pada tanah berbutir kasar (non kohesif), kekuatan geser disebabkan karena adanya gesekan antara butir-butir tanah sehingga sering disebut sudut geser dalam (φ soil).
- 3) Pada tanah yang merupakan campuran antara tanah halus dan tanah kasar (c dan φ soil), kekuatan geser disebabkan karena adanya lekatan (karena kohesi) dan gesekan antara butir-butir tanah (karena φ).

Kuat Geser dinyatakan dalam rumus:

$$S = c' + \sigma \tan \varphi' \dots\dots\dots (2.1)$$



Gambar 2. 1 Kurva kekuatan Geser Tanah Lunak

(Sumber: ASTM D 3080 Standard Test Method for Direct Shear)

Dimana:

S = Kekuatan geser tanah

U = Tekanan air pori

σ = Tegangan total

σ' = Tekanan efektif

φ = Sudut geser dalam tanah efektif

c = Kohesi

2.4 Tegangan Dalam Tanah

Tanah dapat divisualisasikan sebagai suatu kerangka partikel padat tanah (*solid skeleton*) yang membatasi pori-pori yang mana pori – pori tersebut mengandung air dan/atau udara. Volume kerangka tanah secara keseluruhan dapat berubah akibat penyusunan kembali partikel-partikel padat pada posisinya yang baru, terutama dengan cara menggelinding dan menggelincir yang mengakibatkan terjadinya perubahan gaya-gaya yang bekerja di antara partikel-partikel tanah. Kompresibilitas kerangka tanah yang sesungguhnya tergantung pada susunan struktural partikel tanah tersebut. (R.F. Craig, 1991).

1) Tegangan efektif

Besarnya pengaruh gaya-gaya yang menjalar dari partikel ke partikel lainnya dalam kerangka tanah telah diketahui sejak tahun 1923, ketika Terzaghi mengemukakan prinsip tegangan efektif yang didasarkan pada data hasil percobaan. Prinsip tersebut hanya berlaku untuk tanah jenuh sempurna. Tegangan-tegangan yang berhubungan dengan prinsip tersebut adalah:

- a. Tegangan normal tanah (σ), pada bidang di dalam tanah, yaitu gaya per satuan luas yang ditransmisikan pada arah normal bidang, dengan menganggap bahwa tanah adalah material padat saja (fase tunggal)
- b. Tekanan air pori (u), yaitu tekanan air pengisi pori-pori di antara partikel-

partikel padat.

- c. Tegangan normal efektif (σ'), pada bidang, yang mewakili tegangan yang dijajarkan hanya melalui kerangka tanah saja.

2) Tegangan lateral

Dalam bidang hidrolika, diketahui bahwa tekanan pada benda cair memiliki nilai yang sama dalam segala arah; atas, bawah dan sisi. Namun berbeda dengan tanah, sangat jarang didapati lapisan tanah alam yang bagian dasarnya memiliki tegangan horisontal yang sama nilainya dengan tegangan vertikalnya.

2.5 Muka Air Tanah

Menurut Herlambang (1996) air tanah adalah air yang bergerak di dalam tanah yang terdapat di dalam ruang antar butir-butir tanah yang meresap ke dalam tanah dan bergabung membentuk lapisan tanah yang disebut akuifer. Lapisan yang mudah dilalui oleh air tanah disebut lapisan *permeable*, seperti lapisan yang terdapat pada pasir atau kerikil, sedangkan lapisan yang sulit dilalui air tanah disebut lapisan *impermeable*, seperti lapisan lempung. Lapisan yang dapat menangkap dan meloloskan air disebut akuifer.

Menurut Telford et al. (1990) resistivitas adalah suatu kemampuan untuk menghambat perambatan arus listrik pada suatu benda. Berdasarkan metode geofisika yaitu geolistrik dapat diketahui keberadaan akuifer di bawah permukaan yang ditunjukkan dengan nilai resistivitas rendah.

2.6 Penurunan Tanah Lunak

Salah satu permasalahan utama pada tanah lunak dalam suatu pekerjaan konstruksi adalah penurunan tanah yang sangat besar. Penurunan yang besar tersebut disebabkan oleh penurunan konsolidasi pada tanah. Ketika tanah dibebani, maka sama dengan material lain, tanah akan mengalami penurunan. Dalam ilmu Geoteknik, dikenal tiga jenis penurunan tanah yaitu:

1) Penurunan Seketika (*Immediate Settlement*)

Penurunan seketika merupakan penurunan yang terjadi secara seketika saat beban telah diberikan. Pada tanah jenuh air dan permeabilitas rendah, beban yang bekerja diterima sepenuhnya oleh tegangan air pori. Pada tanah dengan permeabilitas tinggi, tegangan air pori yang terjadi muncul hanya sebentar karena tegangan air pori ini terdisipasi dengan cepat. Deformasi yang terjadi pada tanah tidak disertai dengan perubahan volumenya. Perhitungan untuk penurunan seketika ini didasarkan pada hukum elastisitas material tanah.

2) Penurunan Konsolidasi/Primer (*Consolidation Settlement*).

Penurunan konsolidasi adalah penurunan pada tanah kohesif yang diakibatkan tegangan air berlebih di dalam tanah, dan akhirnya menghasilkan perubahan dari segi volume. Jenis penurunan ini terjadi bersama dengan waktu yang berlalu. Tegangan air pori berlebih ditransfer menuju partikel tanah menjadi tegangan efektif. Saat tegangan air pori berlebih ini = 0, penurunan konsolidasi sudah selesai dan tanah berada dalam keadaan *drained*.

3) Penurunan Rangkak/Sekunder (*Creep/Secondary Settlement*).

Penurunan sekunder merupakan penurunan yang terjadi setelah penurunan konsolidasi. Penurunan ini terjadi seiring dengan waktu berlalu dan biasanya terjadi sangat lama setelah beban mulai bekerja, di mana partikel tanah mengalami penurunan. Penurunan ini terjadi saat semua tegangan air pori berlebih di dalam tanah telah terdisipasi dan saat tegangan efektif yang terjadi berada dalam keadaan konstan.

Dengan demikian, penurunan total dari suatu tanah yang dibebani adalah:

$$S_T = S_i + S_c + S_s \dots\dots\dots(2.2)$$

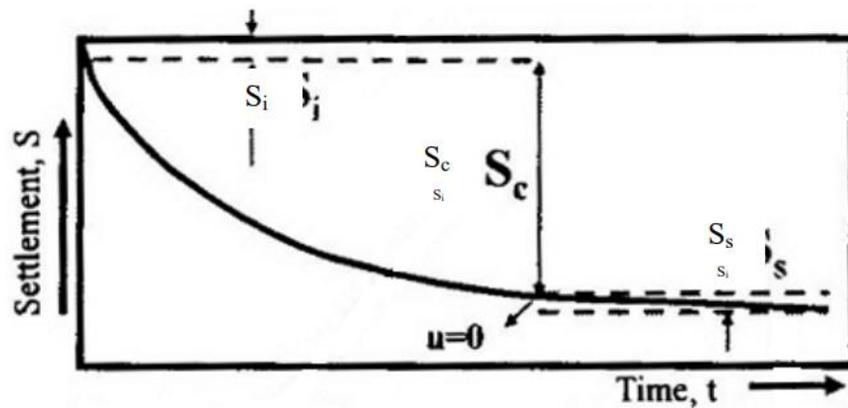
Keterangan:

S_T = Penurunan total

S_i = Penurunan seketika (*Immediate Settlement*)

S_c = Penurunan konsolidasi (*Consolidation Settlement*)

S_s = Penurunan sekunder (*Creep/Secondary Settlement*)



Gambar 2. 2 Grafik Hubungan Antara Penurunan dengan Waktu
(Sumber: Gouw, 2010)

Terlihat bahwa penurunan tanah sebagian besar terjadi pada saat penurunan konsolidasi. Dan pada fase ini pula, tanah mengalami peningkatan kekuatan dan stabilitas. Untuk perhitungan penurunan konsolidasi (S_c) menggunakan persamaan berikut ini:

$$S_c = \frac{c_c}{1+e_o} H \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana, S = Penurunan Konsolidasi/Primer

C_c = Indeks Pemampatan

e_o = Angka pori

H = Tebal lapisan tanah

σ'_0 = Tegangan overburden efektif

$\Delta\sigma$ = Distribusi tegangan

Untuk perhitungan tekanan overburden efektif (σ'_0 atau Po') memakai persamaan di bawah ini:

$$Po' = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \frac{1}{2} H \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana, P'_0 = Tegangan overburden efektif

γ_{sat} = Berat volume tanah jenuh

γ_w = Berat volume air

H = Tebal tanah lapisan 1

2.7 Klasifikasi Jalan

Klasifikasi fungsional seperti dijabarkan dalam peraturan pemerintah No.26 tahun 1985 pasal 4 dan 5 (Standar Perencanaan Geometrik Untuk Jalan Perkotaan, 1992) dibagi dalam dua sistem jaringan yaitu:

1) Sistem jaringan jalan primer

Sistem jaringan jalan primer disusun mengikuti ketentuan peraturan tata ruang dan struktur pengembangan wilayah tingkat nasional, yang menghubungkan simpul - simpul jasa distribusi sebagai berikut:

- a) Dalam kesatuan wilayah pengembangan menghubungkan secara menerus kota jenjang kesatu, kota jenjang kedua, kota jenjang ketiga, dan kota jenjang dibawahnya.

- b) Menghubungkan kota jenjang kesatu dengan kota jenjang kesatu antara satuan wilayah pengembangan.

Fungsi jalan dalam sistem jaringan primer dibedakan sebagai berikut:

- a) Jalan arteri primer

Jalan arteri primer menghubungkan kota jenjang kesatu yang terletak berdampingan atau menghubungkan kota jenjang kesatu dengan kota jenjang kedua. Persyaratan jalan arteri primer adalah:

1. Kecepatan rencana minimal 60 km/jam
2. Lebar badan jalan minimal 8 meter
3. Kapasitas lebih besar dari pada volume lalu lintas rata – rata
4. Lalu lintas jarak jauh tidak boleh terganggu oleh lalu lintas ulang alik, lalu lintas lokal dan kegiatan lokal
5. Jalan persimpangan dengan pengaturan tertentu tidak mengurangi kecepatan rencana dan kapasitas jalan.
6. Tidak terputus walaupun memasuki kota
7. Persyaratan teknis jalan masuk ditetapkan oleh menteri

- b) Jalan kolektor primer

Jalan kolektor primer menghubungkan kota jenjang kedua dengan kota jenjang kedua atau menghubungkan kota jenjang kedua dengan kota jenjang ketiga. Persyaratan jalan kolektor primer adalah:

1. Lebar badan jalan minimal 7 meter

2. Kecepatan rencana minimal 40 km/jam
3. Tidak terputus walaupun masuk kota
4. Kapasitas lebih besar dari pada volume lalu lintas rata – rata
5. Jalan masuk dibatasi, direncanakan sehingga tidak mengurangi kecepatan rencana dan kapasitas jalan

c) Jalan lokal primer

Jalan lokal primer menghubungkan kota jenjang kesatu dengan persil atau menghubungkan kota jenjang kedua dengan persil atau menghubungkan kota jenjang ketiga dengan di bawahnya, kota jenjang ketiga dengan persil atau di bawah kota jenjang ketiga sampai persil.

Persyaratan jalan lokal primer adalah:

1. Kecepatan rencana minimal 20 km/jam
2. Lebar jalan minimal 6 meter
3. Tidak terputus walaupun melewati desa

2) Sistem jaringan jalan sekunder

Sistem jaringan jalan sekunder disusun mengikuti ketentuan tata ruang kota yang menghubungkan kawasan-kawasan yang mempunyai fungsi primer, fungsi sekunder kesatu, fungsi sekunder kedua dan seterusnya sampai perumahan.

Fungsi jalan dalam sistem jaringan jalan sekunder dibedakan sebagai berikut:

a) Jalan arteri sekunder

Jalan arteri sekunder menghubungkan kawasan primer dengan Kawasan sekunder kesatu atau menghubungkan kawasan sekunder kesatu dengan

kawasan sekunder kesatu atau kawasan sekunder kesatu dengan Kawasan sekunder kedua. Persyaratan jalan arteri sekunder adalah:

1. Kecepatan rencana minimal 30 km/jam
2. Lebar badan jalan minimal 8 meter
3. Kapasitas sama atau lebih besar dari volume lalu lintas rata-rata
4. Lalu lintas cepat tidak boleh terganggu oleh lalu lintas lambat
5. Persimpangan dengan pengaturan tertentu, tidak mengurangi kecepatan dan kapasitas jalan.

b) Jalan kolektor sekunder

Jalan kolektor sekunder menghubungkan kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder kedua atau menghubungkan kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder ketiga. Persyaratan jalan kolektor sekunder adalah:

1. Kecepatan rencana minimal 20 km/jam
2. Lebar badan jalan minimal 7 meter

c) Jalan lokal sekunder

Jalan lokal sekunder menghubungkan kawasan sekunder kesatu dengan perumahan, kawasan sekunder kedua dengan perumahan, menghubungkan kawasan sekunder ketiga dengan kawasan perumahan dan seterusnya. Persyaratan jalan lokal sekunder adalah:

1. Kecepatan rencana minimal 10 km/jam
2. Lebar badan jalan minimal 5 meter

3. Persyaratan teknik diperuntukkan bagi kendaraan beroda tiga atau lebih
4. Lebar badan jalan tidak diperuntukkan bagi kendaraan beroda tiga atau lebih, minimal 3.5 meter

Jalan dalam Undang – Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009

Tentang Lalu Lintas Dan Angkutan dibagi dalam empat kelas yaitu:

- 1) Jalan kelas I, yaitu jalan arteri dan kolektor yang dapat dilalui Kendaraan Bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 (dua ribu lima ratus) milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 18.000 (delapan belas ribu) milimeter, ukuran paling tinggi 4.200 (empat ribu dua ratus) milimeter, dan muatan sumbu terberat 10 (sepuluh) ton.
- 2) Jalan kelas II, yaitu jalan arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan yang dapat dilalui Kendaraan Bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 (dua ribu lima ratus) milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 12.000 (dua belas ribu) milimeter, ukuran paling tinggi 4.200 (empat ribu dua ratus) milimeter, dan muatan sumbu terberat 8 (delapan) ton
- 3) Jalan kelas III, yaitu jalan arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan yang dapat dilalui Kendaraan Bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.100 (dua ribu seratus) milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 9.000 (sembilan ribu) milimeter, ukuran paling tinggi 3.500 (tiga ribu lima ratus) milimeter, dan muatan sumbu terberat 8 (delapan) ton
- 4) Jalan kelas khusus, yaitu jalan arteri yang dapat dilalui Kendaraan Bermotor dengan ukuran lebar melebihi 2.500 (dua ribu lima ratus) milimeter, ukuran

panjang melebihi 18.000 (delapan belas ribu) milimeter, ukuran paling tinggi 4.200 (empat ribu dua ratus) milimeter, dan muatan sumbu terberat lebih dari 10 (sepuluh) ton.

2.8 Beban Lalu Lintas

Dimensi, berat kendaraan, dan beban yang dimuat akan menimbulkan gaya tekan pada sumbu kendaraan. Gaya tekan sumbu selanjutnya disalurkan ke permukaan perkerasan dan akan memberikan kontribusi pada perusakan jalan (Idris, M. dkk, 2009).

Konstruksi perkerasan jalan menerima beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda-roda kendaraan. Besarnya beban yang dilimpahkan tersebut tergantung dari berat total kendaraan, konfigurasi sumbu, bidang kontak antara roda dan perkerasan, kecepatan kendaraan, dan lain sebagainya. Dengan demikian, efek dari masing – masing kendaraan terhadap kerusakan yang ditimbulkan tidaklah sama. Oleh karena itu perlu adanya beban standar sehingga semua beban lainnya dapat diekivalensikan ke beban standar tersebut (Sukirman, 1992). Beban standar merupakan beban sumbu tunggal beroda ganda seberat 18000 pon (8,16 ton). Beban yang terjadi akibat lalu lintas dapat dikonversikan ke dalam konfigurasi beban sumbu seperti tabel 2.1 berikut:

Tabel 2. 1 Konfigurasi Beban Sumbu

Konfigurasi Sumbu & Tipe Kendaraan	Berat Kosong (ton)	Beban Muatan Maksimum (ton)	Berat Total Maksimum (ton)	<ul style="list-style-type: none"> ● Roda Tunggal Pada Ujung Sumbu ○ Roda Ganda Pada Ujung Sumbu
1,2 L BUS	3	6	9	
1,2L TRUK	2,3	6	8,3	
1,2H TRUK	4,2	14	18,2	
1,22 TRUK	5	20	25	
1,2+2,2 TRAILER	6,4	25	31,4	
1,2-2 TRAILER	6,2	20	26,2	
1,2-2,2 TRAILER	10	32	42	

(Sumber: Manual Perkerasan Jalan dengan Alat Bankelman Beam No. 01/MN/BN/83, 2013)

2.9 Kapasitas Daya Dukung Kelompok

Mayerhoff (1976) menghasilkan persamaan untuk perhitungan daya dukung berdasarkan data hasil pengujian sondir atau CPT. Sehingga daya dukung pondasi tiang berdasarkan data CPT dinyatakan sebagai berikut:

$$Qa = Qa_1 + Qa_2 \dots \dots \dots (2.5)$$

$$Qa_1 = \frac{qc \times Ab}{Fk_1} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$Qa_1 = \frac{JHP \times U}{Fk_2} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

Qa = Daya dukung ijin satu buah pondasi tiang

Qa_1 = Daya dukung ijin ujung tiang

Qa_2 = Daya dukung ijin friksi tiang

Ab = Luas dasar tiang

JHP = Jumlah hambatan pelekak

U = Keliling penampang tiang

Fk_1 = Faktor keamanan = 3

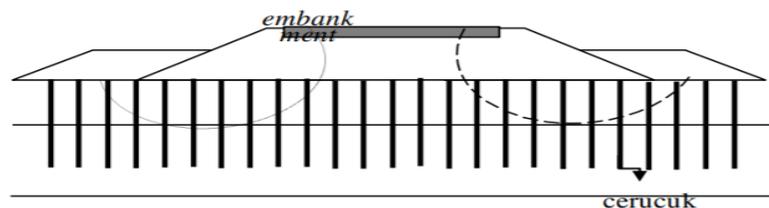
Fk_2 = Faktor keamanan = 5

2.10 Cerucuk Galam

Sistem cerucuk adalah istilah yang dikenal di Indonesia, di mana 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 dilaksanakan dengan mudah tanpa mengganggu keseimbangan lereng (DeBeer dan Wallays, 1970; Ito dkk, 1981).

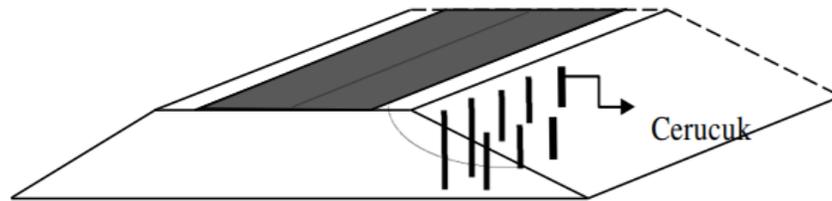
Selama ini pemakaian cerucuk cukup efektif sebagai metode alternatif perkuatan stabilitas lereng maupun perkuatan *embankment* jalan. Pada *embankment* jalan, cerucuk digunakan sebagai bahan yang kaku berfungsi menaikkan stabilitas tanah. Adanya cerucuk di bawah *embankment* jalan dapat meningkatkan daya dukung tanah dasar dan mengurangi penurunan yang akan terjadi. Hal ini karena cerucuk dapat menghasilkan hambatan terhadap keruntuhan geser.

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*).



Gambar 2. 3 Ilustrasi Penggunaan Cerucuk untuk *Embankment* Jalan

(Sumber : Rusdiansyah, 2016)



Gambar 2. 4 Ilustrasi Penggunaan Cerucuk sebagai Perkuatan Lereng

Embankment Jalan

(Sumber : Rusdiansyah, 2016)

Untuk perhitungan jumlah cerucuk galam, maka dipakai rumus di bawah ini:

$$n = \frac{Q}{Qa} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$Q = \frac{Pu}{b \times l} \dots \dots \dots (2.9)$$

Di mana: n = Jumlah cerucuk

Q = Daya Dukung

Qa = Daya dukung ijin satu buah pondasi tiang

Pu = Beban yang bekerja

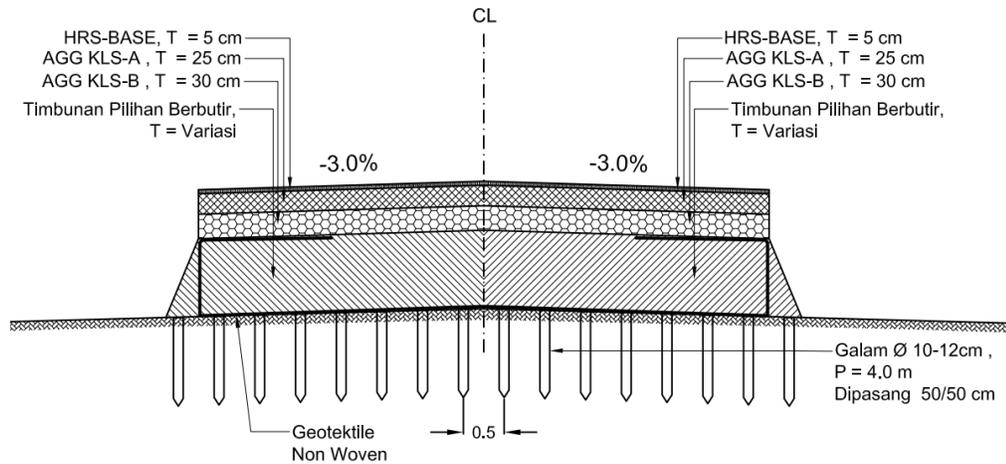
b = Lebar tinjauan lokasi

l = panjang tinjauan lokasi

2.11 Gambaran Perkuatan di Lapangan

Penelitian ini berlokasi diruas jalan Sungai Malang hingga ruas jalan Pamintangan dengan Panjang sekitar 2,178 km dengan lebar rencana yaitu 14 m.

Berikut adalah gambar eksisting dari penampang jalan yang diberi perkuatan cerucuk:



Gambar 2. 5 Penampang Melintang Jalan

(Sumber: Gambar Rencana DED Lingkar Amuntai)

2.12 Angka Keamanan (*Safety Factor*)

Mengingat tanah terbentuk oleh banyaknya variabel dan banyaknya faktor ketidakpastian seperti parameter – parameter tanah contohnya kuat geser tanah, kondisi tekanan air pori maka dalam menganalisis selalu dilakukan penyederhanaan dengan berbagai asumsi.

Secara teoritis, massa yang bergerak dapat dihentikan dengan meningkatkan kekuatan gesernya. Hal yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan kriteria faktor keamanan adalah resiko yang dihadapi, kondisi beban dan parameter yang digunakan dalam melakukan analisis daya dukung tanah. Faktor keamanan dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$FK = \frac{Qg}{Pu} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana: FK = Faktor Keamanan terhadap kekuatan tanah

Qg = Kapasitas daya dukung kelompok

Pu = Beban yang bekerja

Tabel 2. 2 Harga SF Menurut Kegunaan

Kegunaan	FS ID	FS CR	FS CD	FS BD
Dinding Penahan	1,1 – 2,0	2,0 – 4,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,3
Timbunan	1,1 – 2,0	2,0 – 3,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,3
Daya Dukung	1,1 – 2,0	2,0 – 4,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,3
Overlay Pavement	1,1 – 1,5	1,0 – 1,2	1,0 – 1,5	1,0 – 1,1
Stabilitas Talud	1,1 – 1,5	1,5 – 2,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,3
Unpaved Road	1,1 – 2,0	1,5 – 2,5	1,0 – 1,5	1,0 – 1,2
Pemisah	1,1 – 2,5	1,0 – 1,2	1,0 – 1,5	1,0 – 1,2

(Sumber: Logiray Pratikno Siahaan, 2017)

2.13 Software Plaxis 2D

Plaxis adalah salah satu program aplikasi komputer yang menghitung konsolidasi dengan menggunakan teori konsolidasi. Pengembangan Plaxis dimulai pada tahun 1987 di Universitas Teknik Delft (*Technical University of Delft*) inisiatif Departemen Tenaga Kerja dan Pengelolaan Sumber Daya Air Belanda (*Dutch Department of Public Works and Water Management*). Tujuan awal adalah untuk menciptakan sebuah program komputer berdasarkan metode elemen hingga 2D yang mudah digunakan untuk menganalisis tanggul-tanggul yang dibangun di atas tanah lunak di dataran rendah Belanda . Pada tahun-tahun berikutnya, plaxis dikembangkan lebih lanjut hingga mencakup hampir seluruh aspek perencanaan geoteknik lainnya. Program ini melakukan perhitungan berdasarkan metode elemen hingga yang digunakan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai aplikasi dalam bidang geoteknik. Kondisi sesungguhnya dapat dimodelkan dalam *plane strain* maupun secara *axisymetris*. Program ini menerapkan metode antar muka grafis yang mudah digunakan sehingga pengguna dapat dengan cepat membuat model geometri dan jaring elemen berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang ingin dianalisis. Program ini terdiri dari empat buah sub-program yaitu masukan, perhitungan, keluaran, dan kurva.

Pemodelan Mohr Coulomb merupakan pemodelan tanah yang paling umum digunakan. Pemodelan Mohr Coulomb memiliki kelebihan berupa perhitungan masih

relatif sederhana. Pada saat memodelkan elemen tanah pada program plaxis 2D dapat dilakukan dalam dua kondisi yaitu sebagai berikut.

1) Kondisi *drained*

Kondisi *drained* merupakan kondisi untuk tanah yang memiliki permeabilitas besar seperti tanah pasir, tanah yang mengalami pembebanan sangat lambat, serta untuk menstimulasikan perilaku tanah dalam jangka panjang. Kondisi *drained* pada program plaxis 2D digunakan untuk mengatur tidak ada kenaikan tekanan air pori (*porewater pressure*) pada material tanah.

2) Kondisi *undrained*

Kondisi *undrained* merupakan kondisi untuk tanah yang memiliki permeabilitas kecil seperti tanah lempung sehingga ketika diberikan *excess pore water pressure* tidak langsung terdisipasi atau teralirkan. Kondisi *undrained* pada program PLAXIS 2D digunakan untuk mengatur timbulnya kenaikan tekanan air pori (*excess pore water pressure*) pada material tanah.

2.14 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini mengacu pada beberapa penelitian yang telah dilakukannya sebelumnya, penelitian-penelitian tersebut, antara lain adalah :

Taufik, dkk (2020) melakukan penelitian Studi Perkuatan Tanah Dasar (*Subgrade*) Menggunakan Cerucuk Pada Proyek Pelebaran Ruas Jalan Husein Hamzah Hingga Ruas Jalan Hasanudin yang berisi tentang perhitungan penurunan yang terjadi setelah perkuatan tanah menggunakan cerucuk dan geotekstil dengan

metode deskriptif. Dari hasil analisa perencanaan jumlah cerucuk didapatkan 10 buah pada lebar jalan 4 meter dikali dengan 1 meter memanjang. Perencanaan dilapangan jumlah cerucuk yang digunakan 11 buah dengan jarak 40 cm. Perhitungan kapasitas daya dukung tiang diperoleh daya dukung untuk satu tiang 266,442 kg. Kemudian diperoleh nilai efisiensi dari kelompok tiang tersebut adalah 0,754 kg/m². Sehingga dari nilai efisiensi tersebut diperoleh daya dukung tiang kelompok adalah 1657,40 kg/m². Pada perhitungan menggunakan geotekstil *woven* GT-R150 diperoleh kuat Tarik yang diijinkan 173 kN. Sedangkan kuat Tarik yang diperlukan 74,20 kN. Sehingga dengan kuat Tarik ijin lebih besar daripada kuat Tarik yang diperlukan maka geotekstil *woven* GT-R150 memenuhi syarat sebagai perkuatan dilapangan. Penurunan sebelum perkuatan adalah 3,783 cm. Setelah perkuatan cerucuk penurunan yang terjadi adalah 2,989 cm.

Bima, dkk (2019) melakukan penelitian Analisis Perkuatan Tanah Lunak Dengan Menggunakan Geotekstil Pada Ruas Jalan Siak Sri Indrapura – Mengkapan Buton Provinsi Riau yang berisi tentang stabilisasi tanah dengan metode perkuatan menggunakan geotekstil jenis *woven*. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa penggunaan geotekstil bisa meningkatkan daya dukung pada tanah lunak di ruas jalan Siak Sri Indrapura – Mengkapan Buton yang terbukti dari peningkatan nilai faktor aman terhadap daya dukung dari 1,04 menjadi 1,61. Sedangkan untuk penurunan, terjadi sebesar 2,3 meter sebelum pemasangan geotekstil dan 0,65 meter setelah pemasangan geotekstil.

Yuliansyah (2019) melakukan penelitian Analisa Perencanaan Pondasi Tiang Kayu Galam Pada Proyek Pembangunan Gedung Laboratorium Kesehatan Provinsi Kalimantan Selatan yang berisi tentang perkuatan tanah dengan metode perkuatan tanah menggunakan cerucuk galam. Metode yang digunakan yaitu metode Meyerhoff yang telah menghasilkan persamaan untuk menghitung daya dukung berdasarkan data hasil pengujian sondir atau CPT. Berdasarkan hasil analisa pondasi tiang didapatkan beberapa kesimpulan yaitu, daya dukung tiang tunggal pada kedalaman 7 m dengan menggunakan metode Meyerhoff di dapatkan hasil perhitungan Q_a pada titik 1 = 0,59 ton, titik 2 = 0,67 ton dan titik 3 = 0,73 ton dan daya dukung tiang kelompok pada kedalaman 7 m dengan menggunakan metode Meyerhoff di dapatkan hasil perhitungan Q_g pada titik 1 = 37,76 ton, titik 2 = 42,88 ton dan titik 3 = 46,72 ton.

Gazali, (2019) melakukan penelitian Analisis Stabilitas Tanah Timbunan Dengan Perkuatan Turap Kayu Galam Di Daerah Rawa Kalimantan Selatan yang berisi tentang penggunaan kayu galam sebagai alternatif perkuatan tanah di daerah rawa khususnya Kalimantan Selatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perkuatan turap kayu galam terhadap peningkatan daya dukung tanah dan stabilitas tanah timbunan akibat bekerjanya gaya luar. Faktor keamanan lereng timbunan secara manual dengan metode irisan fellenius didapatkan hasil $SF = 0,857 < 1,0$ "tidak aman" sehingga akan terjadi keruntuhan pada lereng timbunan. Maka dilakukan analisis stabilitas timbunan secara bertahap, hingga diperoleh kenaikan dari $c_u = 1,04 \text{ t/m}^2$ menjadi $c_u = 1,8 \text{ t/m}^2$. Hasil analisis yang dilakukan secara manual diketahui total penurunannya adalah = 284,62 cm \approx 285 cm. Untuk hasil

simulasi dengan program Plaxis menunjukkan bahwa terjadi penurunan sebesar 3,1 cm.

Novia Afrianti, (2020) melakukan penelitian Penggunaan Software Plaxis Dalam Menganalisis Stabilitas Lereng Dan Tinggi Kritis Timbunan Pada Perencanaan Escape Hill Dengan Pemodelan *Material Set* yang berisi tentang analisis kemampuan tanah dasar dalam menahan beban bukit timbunan dan stabilitas lereng bukit menggunakan software Plaxis dengan pemodelan material set memvariasikan nilai kohesi dan sudut geser tanah. Dari hasil penelitian didapat tinggi timbunan escape hill sebesar 12 m dengan penurunan total 9,117 cm dan faktor keamanan 1,507 untuk hasil analisis existing. Penurunan total maksimal 9,112 cm dan faktor keamanan 1,850 untuk hasil analisis pemodelan material set dengan dengan mengkombinasikan nilai ($c_{nature} + 100\%$) dan ($\phi_{nature} + 30\%$). Berdasarkan nilai tersebut disimpulkan bahwa nilai faktor keamanan meningkat setiap nilai kohesi dan sudut geser dari material set yang di naikkan (improve) sehingga lereng menjadi stabil dan aman terhadap longsor.