



No. 02 /P /BM /2024

PEDOMAN

Bidang Jalan

PERANCANGAN STABILISASI TANAH-SEMEN TIPE KOLOM



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
DIREKTORAT JENDERAL BINAMARGA



Yth.

1. Sekretaris Direktorat Jenderal Bina Marga;
2. Para Direktur di Direktorat Jenderal Bina Marga;
3. Para Kepala Balai Besar/Balai Pelaksanaan Jalan Nasional;
4. Para Kepala Satuan Kerja di Direktorat Jenderal Bina Marga.

SURAT EDARAN
NOMOR: **06** /SE/Db/2024
TENTANG
PEDOMAN PERANCANGAN STABILISASI TANAH-SEMEN TIPE KOLOM

A. Umum

Bahwa dalam rangka memastikan keberhasilan dan keamanan proyek konstruksi yang melibatkan tanah lunak dan beban lalu lintas yang signifikan, diperlukan pedoman perancangan bagi perencana yang akan menggunakan stabilisasi tanah-semen tipe kolom sebagai panduan dalam perancangan stabilisasi tanah-semen tipe kolom, khususnya pada tanah lunak dengan tidak mengatur perancangan stabilisasi semen tipe stabilisasi massa.

Mempertimbangkan hal tersebut, perlu menetapkan Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga tentang pedoman perancangan stabilisasi tanah-semen tipe kolom pada tanah lunak.

B. Dasar Pembentukan

1. Peraturan Presiden Nomor 27 Tahun 2020 tentang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 40);
2. Keputusan Presiden Nomor 52/TPA Tahun 2020 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan Dari dan Dalam Jabatan Pimpinan Tinggi Madya di Lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
3. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 13 Tahun 2020 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 473) sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 11 Tahun 2022 tentang Perubahan atas Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 13 Tahun 2020 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2022 Nomor 1382).

C. Maksud dan Tujuan

Surat Edaran ini dimaksudkan sebagai panduan bagi pemangku kepentingan dalam menetapkan ketentuan umum dan ketentuan teknis perancangan stabilisasi tanah-semen tipe kolom.

Surat Edaran ini bertujuan agar perancangan stabilisasi tanah-semen tipe kolom berupa persyaratan campuran, kriteria, dan prosedur dapat berjalan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

D. Ruang Lingkup

Lingkup Surat Edaran ini meliputi persyaratan campuran, kriteria, dan prosedur perancangan stabilisasi tanah-semen tipe kolom dan menggunakan Sistem Satuan Internasional (S.I) sebagai satuan yang digunakan dalam rangka penyelidikan lapangan dan laboratorium, perancangan beban, konfigurasi, diameter, spasi rencana, serta perhitungan penurunan dan stabilitas yang dibutuhkan di Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

E. Pengaturan Mengenai Pedoman Perancangan Stabilisasi Tanah-Semen Tipe Kolom

Pengaturan mengenai pedoman perancangan stabilisasi tanah-semen tipe kolom yang meliputi:

1. Ketentuan Umum

Bagian ini mengatur mengenai:

- a. definisi tanah lunak;
- b. stabilisasi semen;
- c. stabilisasi semen tipe kolom;
- d. studi meja, yang terdiri atas:
 - 1) peta topografi;
 - 2) foto udara;
 - 3) peta geologi;
 - 4) peta sebaran tanah lunak;
 - 5) peta lainnya;
 - 6) laporan penyelidikan eksisting/terdekat; dan
 - 7) data pekerjaan pada struktur yang berdekatan.
- e. kunjungan lapangan;
- f. penyelidikan lapangan dan laboratorium awal;
- g. penyelidikan lapangan dan pengujian detail;
- h. ketentuan khusus untuk stabilisasi tipe kolom yang terdiri atas:
 - 1) jenis semen;
 - 2) air pencampur (*kneading water*);
 - 3) rasio semen dan air (w/c);
 - 4) komposisi/dosis bahan tambah kimia;
 - 5) kadar air alami;
 - 6) perawatan (*curing*); dan
 - 7) pengujian ucs.
- i. kriteria perancangan stabilisasi semen tipe kolom yang terdiri atas:
 - 1) beban lalu lintas;
 - 2) stabilitas timbunan; dan
 - 3) penurunan (deformasi vertikal).

2. Prosedur Perancangan

Bagian ini mengatur mengenai langkah-langkah dalam prosedur perancangan yang meliputi:

- a. kriteria perancangan proyek;
- b. karakteristik lapisan tanah yang akan diperbaiki beserta informasi meliputi lapisan tanah sekitarnya;
- c. parameter geoteknik atau kekuatan tanah yang diperbaiki;
- d. geometrik atau bentuk perbaikan stabilisasi semen tipe kolom;
- e. evaluasi penurunan;
- f. evaluasi stabilitas; dan
- g. gambar desain, hasil analisis, dan spesifikasi.

Ketentuan lebih lanjut mengenai pedoman perancangan stabilisasi tanah-semen tipe kolom termuat dalam Lampiran yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Surat Edaran Direktur Jenderal ini.

F. Penutup

Surat Edaran ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Demikian atas perhatian Saudara disampaikan terima kasih.

Tembusan:

1. Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
2. Sekretaris Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
3. Inspektur Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
4. Direktur Jenderal Bina Konstruksi, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Ditetapkan di Jakarta

Pada tanggal 19 Januari 2024

DIREKTUR JENDERAL BINA MARGA,

HEDY RAHADIAN

NIP 19640314 199003 1 002

PRAKATA

Pedoman ini ditujukan bagi perencana yang akan menggunakan stabilisasi tanah-semen tipe kolom dalam pekerjaan konstruksi jalan. Pedoman ini digunakan untuk perancangan stabilisasi tanah-semen tipe kolom untuk tanah lunak dan tidak mengatur perancangan stabilisasi semen tipe stabilisasi massa.

Pedoman ini disusun berdasarkan kesepakatan kerja sama "*Verification Survey with The Private Sector for Disseminating Japanese Technologies for Introduction of The Ground Improvement with Middle Layer Soil Mixing Method for Development of Transport Infrastructure*" antara Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan, *Japan International Cooperation Agency* (JICA), PT Hutama Karya, dan YBM co.ltd.

Pedoman disusun oleh Balai Geoteknik, Terowongan, dan Struktur dan telah dibahas dalam rapat legalisasi yang diselenggarakan pada tanggal 15 Februari 2023 dihadiri oleh para pemangku kepentingan terkait, yaitu perwakilan pemerintah, pelaku usaha, konsumen, dan pakar.

Jakarta, 19 Januari 2024
Direktur Jenderal Bina Marga,

Hedy Rahadian

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
PENDAHULUAN	v
1. Ruang Lingkup	1
2. Acuan Normatif	1
3. Istilah dan Definisi	2
4. Ketentuan Umum	3
4.1 Definisi Tanah Lunak	3
4.2 Stabilisasi Semen	4
4.3 Stabilisasi Semen Tipe Kolom	4
4.4 Studi meja	5
4.4.1 Peta Topografi	6
4.4.2 Foto Udara	6
4.4.3 Peta Geologi	6
4.4.4 Peta Sebaran Tanah Lunak	6
4.4.5 Peta Lainnya	6
4.4.6 Laporan Penyelidikan Eksisting/Terdekat	6
4.4.7 Data Pekerjaan Pada Struktur Yang Berdekatan	6
4.5 Kunjungan Lapangan	7
4.6 Penyelidikan Lapangan dan Laboratorium Awal	7
4.7 Penyelidikan Lapangan dan Pengujian Detail	7
4.8 Ketentuan Khusus Untuk Stabilisasi Tipe Kolom	10
4.8.1 Jenis Semen	10
4.8.2 Air Pencampur (<i>Kneading Water</i>)	11
4.8.3 Rasio Semen dan Air (W/C)	11
4.8.4 Komposisi/Dosis Bahan Tambah Kimia	11
4.8.5 Kadar Air Alami	11
4.8.6 Perawatan (<i>Curing</i>)	11
4.8.7 Pengujian UCS	11
4.9 Kriteria Perancangan Stabilisasi Semen Tipe Kolom	11
4.9.1 Beban Lalu Lintas	11
4.9.2 Stabilitas Timbunan	12
4.9.3 Penurunan (Deformasi Vertikal)	12
5. Prosedur Perancangan	13
5.1 Kriteria Perancangan Proyek	14
5.2 Karakteristik Lapisan Tanah Yang Akan Diperbaiki Beserta Informasi Meliputi Lapisan Tanah Sekitarnya	15
5.3 Parameter Geoteknik aatau Kekuatan Tanah Yang Diperbaiki	15
5.4 Geometrik atau Bentuk Perbaikan Stabilisasi Semen Tipe Kolom	16
5.5 Evaluasi Penurunan	20
5.6 Evaluasi Stabilitas	21
5.7 Gambar Desain, Hasil Analisis, dan Spesifikasi	26
Bibliografi	27

DAFTAR TABEL

Tabel 1 – Indikator kuat geser tak terdrainase tanah lempung lunak	4
Tabel 2 – Korelasi untuk parameter lempung	4
Tabel 3 – Rangkuman evaluasi, informasi, dan pertimbangan penyelidikan dan pengujian laboratorium aplikasi stabilisasi tipe kolom (FHWA)	8
Tabel 4 – Jumlah dan kedalaman minimum titik penyelidikan geoteknik (SNI 8460:2017)	9
Tabel 5 – Pengujian di laboratorium	9
Tabel 6 – Beban lalu lintas untuk analisis stabilitas (SNI 8460:2017)	12
Tabel 7 – Nilai faktor keamanan untuk lereng tanah	12
Tabel 8 – Kriteria penurunan timbunan (Pt T-10-2002-B)	13
Tabel 9 – Nilai faktor f_v	16
Tabel 10 – Contoh gambaran parameter geometrik	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 – Stabilisasi semen tipe kolom	5
Gambar 2 – Bagan alir analisis stabilisasi semen tipe kolom	14
Gambar 3 – Metode perbaikan stabilisasi semen.....	17
Gambar 4 – Ilustrasi tipikal pengaturan stabilisasi tanah-semen tipe kolom di bawah timbunan	18
Gambar 5 – Pola atau <i>grid</i> dari stabilisasi tanah-semen tipe kolom	19
Gambar 6 – Ilustrasi kolom <i>overlap</i> pada dinding geser.....	20
Gambar 7 – Ilustrasi potensi bidang geser dan penempatan perkuatan geser komposit, s_{dm} , pusat dan s_{dm} , dinding.....	21
Gambar 8 – Ilustrasi sketsa untuk kombinasi perhitungan guling dan daya dukung.....	22
Gambar 9 – Ilustrasi keruntuhan <i>racking/toppling</i>	25
Gambar 10 – Ilustrasi hasil stabilitas lereng.....	32

PENDAHULUAN

Pedoman ini disusun berdasarkan kesepakatan kerja sama “*Verification Survey with The Private Sector for Disseminating Japanese Technologies for Introduction of The Ground Improvement with Middle Layer Soil Mixing Method for Development of Transport Infrastructure*” antara Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan, *Japan International Cooperation Agency* (JICA), PT Hutama Karya, dan YBM co.ltd.

Pedoman Perancangan Stabilisasi Tanah-Semen Tipe Kolom terdiri dari ruang lingkup, acuan normatif, istilah dan definisi, ketentuan umum dan ketentuan khusus, prosedur perancangan, dan lampiran. Hal ini meliputi penyelidikan lapangan dan laboratorium, perancangan beban, konfigurasi, diameter, spasi rencana, perhitungan penurunan, dan stabilitas yang diperlukan.

Pedoman Perancangan Stabilisasi Tanah-Semen Tipe Kolom

1. Ruang Lingkup

Pedoman ini menetapkan persyaratan campuran, kriteria perancangan, dan prosedur perancangan stabilisasi tanah-semen tipe kolom. Prosedur meliputi penyelidikan lapangan dan laboratorium, perancangan beban, konfigurasi, diameter, spasi rencana, dan perhitungan penurunan dan stabilitas yang diperlukan. Perancangan stabilisasi tanah-semen tipe kolom ditujukan untuk tanah lunak dengan konstruksi timbunan yang akan diberi beban kendaraan rencana.

Satuan yang dinyatakan di dalam pedoman ini adalah Sistem Satuan Internasional (S.I.).

2. Acuan Normatif

SNI 03-2487-1991, Metode pengujian lapangan kekuatan geser baling pada tanah berkohesi

SNI 03-4148.1-2000, Tata cara pengambilan contoh tanah dengan tabung dinding tipis

SNI 03-4813-1998 Rev. 2004, Cara uji triaksial untuk tanah kohesif dalam keadaan tidak terkonsolidasi dan tidak terdrainase (UU)

SNI 03-6787-2002, Metode pengujian pH tanah dengan alat pH meter

SNI 03-6793-2002, Metode pengujian kadar air, kadar abu dan bahan organik dari tanah gambut dan tanah organik lainnya

SNI 1966:2008, Cara uji penentuan batas plastis dan indeks plastisitas tanah

SNI 1967:2008, Cara uji penentuan batas cair tanah

SNI 1976:2008, Cara koreksi kepadatan tanah yang mengandung butiran kasar

SNI 2827:2008, Cara uji penetrasi lapangan dengan alat sondir

SNI 3422:2008, Cara uji penentuan batas susut tanah

SNI 3423: 2008, Cara uji analisis ukuran butir tanah

SNI 2493:2011, Tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium

SNI 2812:2011, Cara uji konsolidasi tanah satu dimensi

SNI 3638:2012, Metode uji kuat tekan-bebas tanah kohesif

SNI 7656:2012, Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa

SNI 8460:2017, Persyaratan perancangan geoteknik

Pt T-10-2002-B, Panduan Geoteknik 4, Timbunan jalan pada tanah lunak: perencanaan dan konstruksi

ASTM D2435-04, *Standard test methods for one-dimensional consolidation properties of soils using incremental loading*

ASTM D4186-06, *Standard test method for one-dimensional consolidation properties of saturated cohesive soils using controlled-strain loading*

FHWA-HRT-13-046, *Deep Mixing for Embankment and Foundation Support*

JGS 0821-2000, *Practice for making and curing stabilised soil specimens without compaction (translated version)*

3. Istilah dan Definisi

3.1

air pencampur

air yang ditambahkan untuk mengubah stabilisator menjadi suatu bentuk cairan menyerupai pasta

3.2

bahan aditif

bahan tambah selain material pengikat, bentonit, dan air; bahan aditif bisa bersifat sebagai pengencer, peningkatan kekuatan, dan penunda reaksi semen

3.3

bahan pengikat

material kimia reaktif (seperti: kapur, semen, gipsum, *blast furnace slag*, abu terbang, atau bahan pengeras lainnya) yang digunakan untuk bahan pencampur tanah *in situ* agar dapat menaikkan kekuatannya serta membentuk kolom perbaikan

3.4

bahan pengisi

material nonreaktif seperti pasir, serbuk batu kapur, dan lainnya

3.5

dinding geser

struktur vertikal yang memiliki fungsi menahan beban lateral seperti gaya gempa dan angin

3.6

elemen

merupakan suatu elemen yang dihasilkan dari satu kali siklus penetrasi oleh satu alat pencampur di satu lokasi peralatan

3.7

pencampuran basah

proses pencampuran mekanis dari tanah setempat dan pencampuran dengan pasta yang terdiri dari air dan bahan pengikat dengan atau tanpa bahan pengisi dan aditif

3.8

pencampuran kering

proses pencampuran mekanis dari tanah setempat dan pencampuran dengan bahan pengikat berbentuk serbuk dengan atau tanpa bahan pengisi dan aditif

3.9

penetrasi

tahap atau fase siklus proses pencampuran di mana alat pencampur dihantarkan ke kedalaman yang sesuai saat injeksi penarikan dan disegregasi, dan pencampuran saat injeksi penetrasi

3.10

rasio air semen

perbandingan berat air terhadap berat semen

3.11

rasio perbaikan

luas area yang distabilisasi berdasarkan jumlah kolom per luas seluruh area yang ditangani

3.12

stabilisasi semen untuk tanah

campuran yang dibentuk dengan menambahkan stabilisator ke tanah

3.13

stroke

satu proses siklus lengkap (penetrasi dan penarikan) dari proses pencampuran

3.14

semen

kombinasi kimia antara kalsium (Ca), silika (Si), alumunium (Al), besi (Fe), dan gipsum yang dikendalikan secara ketat

3.15

tanah-semen

produk dari stabilisasi yang terdiri campuran tanah setempat dan bahan pengikat; biasa juga disebut tanah yang distabilisasi atau material stabilisasi

4. Ketentuan Umum

4.1 Definisi Tanah Lunak

Tanah lunak didefinisikan di dalam Panduan Geoteknik 4 (2001) sebagai tanah dengan kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi yang jika tidak dikenali dan diselidiki secara saksama dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditoleransi.

Secara umum tanah lunak dibagi ke dalam 2 (dua) jenis, yaitu lempung lunak dan gambut. Lempung lunak mengandung mineral lempung dan mengandung kadar air tinggi, yang menyebabkan kuat geser rendah. Dalam rekayasa geoteknik, istilah 'lunak' dan 'sangat lunak' khusus didefinisikan untuk lempung dengan kuat geser yang ditunjukkan pada Tabel 2. Sebagai indikasi dari kekuatan lempung tersebut, prosedur identifikasi lapangan pada Tabel 1 memberikan beberapa petunjuk.

Tabel 1 – Indikator kuat geser tak terdrainase tanah lempung lunak

Konsistensi	Indikasi lapangan
Lunak	Bisa dibentuk dengan mudah dengan jari tangan
Sangat lunak	Keluar di antara jari tangan jika diremas dalam kepalan tangan

Jika dikorelasikan dengan hasil penyelidikan lapangan yaitu uji sondir atau *Cone Penetrometer Test* (CPT), *Standard Penetration Test* (SPT), dan uji geser baling atau *Vane Shear Test* (VST), diperoleh korelasi konsistensi tanah lunak dengan rentang nilai hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 – Korelasi untuk parameter lempung

Konsistensi	Kuat geser tak terdrainase, c_u (kPa)	Tahanan konus, q_c (kPa)	N SPT	S_u (kPa)	Kuat tekan bebas, q_u (kPa)
Sangat lunak (<i>very soft</i>)	< 12,5	0 – 180	< 2	< 12	< 25
Lunak (<i>soft</i>)	12,5 – 25	180 – 375	2 – 4	12 – 25	25 – 50
Teguh (<i>firm</i>)	25 – 50	375 – 750	4 – 8	25 – 50	50 – 100
Kaku (<i>stiff</i>)	50 – 100	750 – 1500	8 – 15	50 – 100	100 – 200
Sangat kaku (<i>very stiff</i>)	100 – 200	1500 – 3000	15 – 30	100 – 200	200 – 400
Keras (<i>hard</i>)	> 200	> 3000	> 30	> 200	> 400

4.2 Stabilisasi Semen

Stabilisasi semen merupakan metode perbaikan tanah dengan menggunakan mesin pencampur yang berfungsi mencampurkan material semen ke tanah asli atau setempat hingga mencapai kondisi tanah yang homogen, dapat berinteraksi dengan baik serta menghasilkan karakteristik kekuatan tanah yang lebih baik dari kondisi sebelumnya. Stabilisasi semen juga diharapkan dapat meningkatkan daya dukung serta mendukung timbunan jalan dan sistem perkerasan jalan.

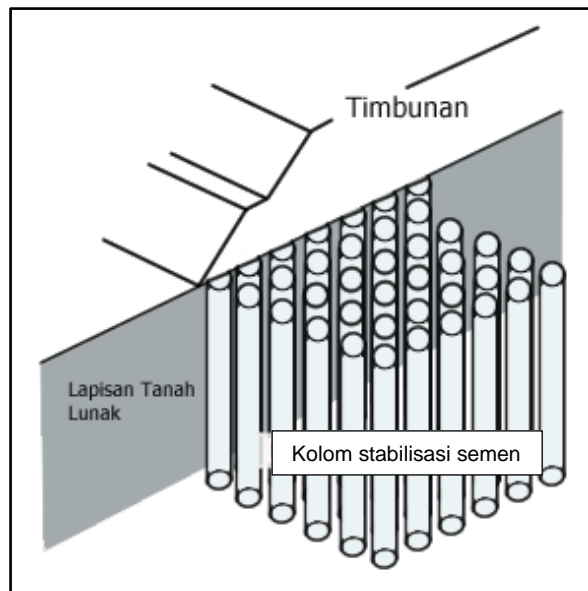
Metode konstruksi untuk stabilisasi semen dapat berupa metode basah atau metode kering. Metode basah menggunakan bahan pengikat (*binder*) berbentuk pasta yang dicampurkan dengan tanah asli, sedangkan metode kering menggunakan bahan pengikat (*binder*) berbentuk bubuk (*powder*) yang dicampurkan dengan air dan tanah asli.

4.3 Stabilisasi Semen Tipe Kolom

Stabilisasi semen tipe kolom adalah bentuk perbaikan tanah di mana sejumlah kolom perbaikan disusun pada interval tertentu dalam bentuk pola bujur sangkar atau segitiga untuk membentuk tanah yang lebih baik. Stabilisasi semen tipe kolom diaplikasikan untuk pencegahan keruntuhan geser (*sliding*), pengurangan penurunan (*settlement*), peningkatan

daya dukung serta pengurangan pergerakan lateral (*lateral displacement*) pada struktur timbunan.

Kontribusi daya dukung hasil stabilisasi semen tipe kolom terdiri dari daya dukung tanah hasil perbaikan stabilisasi semen dan daya dukung tanah asli yang ada di sekitar kolom, artinya daya dukung bekerja secara komposit. Gambar 1 memperlihatkan ilustrasi stabilisasi tipe kolom.



Gambar 1 – Stabilisasi semen tipe kolom

Dengan demikian, daya dukung hasil stabilisasi semen tipe kolom sangat dipengaruhi oleh bentuk atau geometri (pola *grid*, rasio lebar, dan kedalaman), kekuatan geser tanah komposit, kekuatan tanah hasil stabilisasi, kualitas campuran stabilisasi semen yang digunakan (kekuatan dan variasi) serta keamanan terhadap daya dukung, geser serta pengaruh penurunan. Oleh karena itu, hal-hal tersebut perlu ditentukan secara tepat, efisien, dan efektif pada saat proses perancangan untuk meminimalisasi adanya perbedaan dalam perilaku tanah komposit hasil stabilisasi semen dengan target perancangan. Selain pertimbangan dari segi kebutuhan perancangan, perlu juga dilakukan tinjauan yang komprehensif dari segi ekonomi, kelayakan konstruksi, termasuk tindakan alternatif lainnya. Jika perilaku tanah komposit yang diharapkan tidak dapat dihasilkan, perlu dilakukan peninjauan alternatif struktural.

4.4 Studi Meja

Studi meja meliputi pengumpulan dan evaluasi informasi terdahulu di lapangan yang meliputi identifikasi jenis dan jumlah pengujian lapangan dan laboratorium, pembuatan model awal (*preliminary model*) berdasarkan informasi yang ada, perencanaan penyelidikan lapangan yang diperlukan, dan perencanaan pengujian laboratorium. Pengumpulan dan evaluasi informasi terdahulu di lapangan diuraikan pada subpasal berikut.

4.4.1 Peta Topografi

Peta topografi dengan skala 1:25.000 dan 1:50.000 dapat diperoleh secara komersial, sedangkan peta berskala 1:2.500 dan 1:5.000 dapat diperoleh melalui permintaan khusus baik dalam bentuk cetak maupun digital. Peta topografi secara umum memberikan informasi sebaran tanah lunak pada dataran aluvial serta topografi tipikal, seperti area permukaan yang memiliki kemiringan.

4.4.2 Foto Udara

Foto udara digunakan bersama dengan peta topografi untuk mengetahui area sebaran tanah lunak. Skala foto udara umumnya 1:30.000. Foto udara dapat lebih terperinci menggambarkan lokasi sebaran tanah lunak dibandingkan dengan peta topografi. Foto udara dapat diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) .

4.4.3 Peta Geologi

Peta geologi digunakan untuk mengevaluasi jenis tanah dasar dengan menunjukkan asal-usul pembentukan tanah tersebut. Skala peta geologi pada umumnya 1:250.000. Peta geologi memiliki skala yang kecil sehingga tidak sesuai digunakan untuk penyelidikan di area yang kecil. Peta geologi dapat diperoleh dari Badan Geologi.

4.4.4 Peta Sebaran Tanah Lunak

Sebaran tanah lunak dapat teridentifikasi saat tahapan studi meja dengan melihat lokasi tinjau pada atlas sebaran tanah lunak Indonesia yang diterbitkan oleh Badan Geologi (2019).

4.4.5 Peta Lainnya

Peta lama atau peta historis akan menunjukkan riwayat tanah, seperti timbunan lama, pekerjaan reklamasi lama serta fitur topografi seperti bendungan dan sungai. Peta klasifikasi topografi dan peta tata guna lahan (1:250.000) dapat memberikan informasi topografi saat ini, seperti lahan rawan, dataran rendah, timbunan atau dataran tinggi, dan pemanfaatan lahan (hutan, sawah, ladang, dan lainnya). Peta geomorfologi (1:50.000), peta geohidrologi (1:250.000), *Google Earth*, dan *Bings Map* juga dapat digunakan untuk melengkapi data pra-penyelidikan.

4.4.6 Laporan Penyelidikan Eksisting/Terdekat

Jika memungkinkan, laporan penyelidikan eksisting/terdekat akan sangat membantu meskipun tetap harus dilakukan pengecekan kondisi tanah lagi melalui penyelidikan. Data pada laporan penyelidikan eksisting dapat menjadi acuan awal penyelidikan.

4.4.7 Data Pekerjaan Pada Struktur Yang Berdekatan

Data ini akan memberikan informasi contoh penanganan yang telah dilakukan pada lokasi serupa. Meskipun demikian, tetap harus dilakukan pengecekan kondisi tanah lagi melalui

penyelidikan. Data pekerjaan pada struktur yang berdekatan dapat menjadi acuan awal penyelidikan dan perancangan.

4.5 Kunjungan Lapangan

Kunjungan lapangan dan kajian laporan penyelidikan eksisting merupakan tahap pemeriksaan untuk memastikan kondisi tanah. Data dan peralatan yang digunakan saat rekonesan lapangan di antaranya data riwayat bencana, kamera, *peat auger*, alat ukur ketinggian, dan alat ukur panjang (meteran). Hal-hal berikut harus diperhatikan saat melakukan rekonesan lapangan, yaitu:

- a. mengevaluasi peta topografi atau foto udara dan membandingkan dengan fitur topografi sesungguhnya seperti identifikasi apakah tanah berada pada area cekungan atau pinggiran (identifikasi awal ketebalan tanah lunak);
- b. melakukan pemeriksaan detail kondisi eksisting struktur pekerjaan tanah atau zonasi pada area yang diasumsikan tanah lunak dan tanah organik serta memeriksa:
 - 1) pengukuran dan pencatatan koordinat GPS pada batasan-batasan areal pemeriksaan;
 - 2) seluruh areal dengan berjalan kaki dan mengambil foto dari sudut-sudut yang dianggap penting;
 - 3) kondisi yang tidak sesuai dengan perencanaan harus dicatat;
 - 4) gangguan atau rintangan berpotensi menghambat pekerjaan (jaringan listrik dan telepon, pohon, pipa-pipa air, dan saluran pembuangan);
 - 5) akses ke lokasi untuk penyelidikan;
 - 6) sumber material/kuari di dekat lokasi; kualitas dan jumlah material yang tersedia serta akses ke lokasi tersebut;
 - 7) daerah rawa atau dataran rendah yang basah yang dapat mempengaruhi kemungkinan untuk dilewati kendaraan, harus dicatat;
 - 8) elevasi muka air, arah, dan kecepatan aliran pada sungai dan kali harus dicatat, bersamaan dengan elevasi banjir dan pasang surutnya; dan
 - 9) bangunan-bangunan di sekitar lokasi dan kemungkinannya terpengaruh oleh kegiatan pembangunan jalan.

4.6 Penyelidikan Lapangan dan Laboratorium Awal

Pada tahap ini, kebutuhan metode stabilisasi tipe kolom biasanya belum ditetapkan dan pendekatan penanganan geoteknik lainnya mungkin sedang dipertimbangkan. Akibatnya eksplorasi geoteknik dapat mendukung lebih dari 1 (satu) jenis konstruksi. Pengeboran dan eksplorasi geofisika dilakukan pada jarak yang lebar dan pengujian laboratorium terbatas dilakukan. Tujuannya adalah untuk mendapatkan stratigrafi umum dan nilai properti tanah yang relevan, seperti kekuatan dan kompresibilitas untuk digunakan dalam perhitungan awal untuk menentukan teknologi mana yang harus dipertimbangkan untuk penyelidikan lapangan dan pengujian laboratorium yang lebih detail.

4.7 Penyelidikan Lapangan dan Pengujian Detail

Pada tahap ini, desain stabilisasi tipe kolom akan dilakukan. Penyelidikan lapangan dan pengujian laboratorium dirancang untuk mendapatkan informasi kebutuhan perancangan dan konstruksi. Tahapan yang harus dilakukan pada tahap ini meliputi:

- a. melakukan identifikasi dan inventarisasi kebutuhan data;

- b. mengumpulkan dan menganalisis informasi lapangan;
- c. membuat model awal lapangan;
- d. menentukan dan melakukan penyelidikan lapangan; dan
- e. menentukan dan melakukan pengujian laboratorium.

Sebelum melakukan penyelidikan geoteknik lainnya, perlu dilakukan pengumpulan dan pengelolaan data terdahulu (jika ada), sehingga selanjutnya dapat ditentukan posisi penyelidikan geoteknik yang dapat melengkapi dan memperluas data terdahulu. Survei diusahakan dilakukan pada wilayah di mana pelaksanaan stabilisasi semen tipe kolom akan berlangsung. Jumlah dan kedalaman minimum titik penyelidikan tanah harus mengacu pada Tabel 4.

Tabel 3 – Rangkuman evaluasi, informasi, dan pertimbangan penyelidikan dan pengujian laboratorium aplikasi stabilisasi tipe kolom (FHWA)

Permasalahan geoteknik	Evaluasi teknis	Kebutuhan perancangan dan analisis	Penyelidikan lapangan	Pengujian laboratorium
<ul style="list-style-type: none"> Stabilisasi tipe kolom untuk timbunan dan abutmen 	<ul style="list-style-type: none"> Penurunan stabilitas <i>Load Transfer Platform</i> Pergerakan lateral pada bangunan eksisting yang mungkin muncul akibat konstruksi yang akan dibangun Kesesuaian tanah terhadap stabilisator Kesesuaian terhadap stabilisasi tipe kolom 	<ul style="list-style-type: none"> Profil stratigrafi Karakteristik tanah Batas izin penurunan Faktor keamanan Parameter kompresibilitas Parameter kuat geser Berat isi Komposisi kimia dan mineral dari tanah Keberadaan bangunan/utilitas bawah tanah Identifikasi lokasi disposal 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Standard penetration test</i> (SPT) Sondir (CPT) Kuat geser uji geser baling Pengujian geofisika Pengamatan sumur pantau/<i>piezometer</i> Temperatur tanah 	<ul style="list-style-type: none"> Kadar air lapangan Kadar organik pH Hilang pijar/<i>loss on ignition</i> Konduktivitas Kadar klorida dan sulfida Batas <i>Atterberg</i> (batas cair dan platis) Analisa ukuran butir Konsolidasi tanah asli Kuat tekan tak terkekang (UCS) dari tanah yang distabilisasi

Tabel 4 – Jumlah dan kedalaman minimum titik penyelidikan geoteknik (SNI 8460:2017)

Jumlah minimum titik penyelidikan tanah	Kedalaman minimum titik penyelidikan
1 (satu) titik penyelidikan di setiap jarak 50 m sampai 200 m. Jarak yang besar dapat dipakai pada investigasi awal. Ditambahkan titik di antaranya apabila hasil invetigasi awal menunjukkan adanya variasi tanah yang perlu diinvestigasi lebih detail.	Kedalaman minimum sama dengan 2 (dua) kali lebar kaki timbunan, atau 1,2 (satu koma dua) kali tinggi timbunan desain. Diambil yang terdalam dari 2 (dua) kriteria di atas.

Tabel 5 menunjukkan jenis-jenis pengujian yang perlu dilaksanakan untuk proses perancangan campuran stabilisasi semen tipe kolom. Pada implementasinya, perencana perlu mempertimbangkan secara saksama hasil pengujian tanah terdahulu untuk menentukan jenis-jenis pengujian yang akan dilakukan untuk mendapatkan data geoteknik yang digunakan di dalam perancangan.

Tabel 5 – Pengujian di laboratorium

Jenis pengujian	Data geoteknik	Standar pengujian
Klasifikasi, identifikasi, dan deskripsi		
Penentuan berat isi tanah	<ul style="list-style-type: none"> Berat isi (γ_t) 	-
Kepadatan butiran tanah kondisi basah dan kering	<ul style="list-style-type: none"> Kepadatan butiran 	SNI 1976:2008
Analisis ukuran butiran tanah dengan hidrometer	<ul style="list-style-type: none"> Persentase ukuran butiran 	SNI 3423: 2008
Batas konsistensi (batas <i>Atterberg</i>)	<ul style="list-style-type: none"> Batas cair (LL) Batas plastis (PL) Indeks Plastisitas Tanah (PI) Batas susut (SL) 	SNI 1967:2008 SNI 1966:2008 SNI 3422:2008
Kadar air, kadar abu, dan bahan organik dari gambut dan tanah organik lainnya	<ul style="list-style-type: none"> Kadar air Kadar organik Kadar hilang pijar (<i>loss of ignition</i>) 	SNI 13-6793-2002 SNI 2049:2015
Uji penentuan kadar serat dari contoh gambut dengan cara kering di laboratorium	<ul style="list-style-type: none"> Kadar serat 	SNI 13-6794-2002
pH tanah	<ul style="list-style-type: none"> Nilai pH (keasaman dan alkalinitas) 	SNI 03-6787-2002
Kadar klorida dan sulfida	<ul style="list-style-type: none"> Mengetahui kadar klorida dan sulfida yang terkandung dalam tanah 	-
Uji konduktivitas	<ul style="list-style-type: none"> Mengetahui kadar mineral, garam serta ketidakjernihan dalam air 	-
Indeks kekuatan		
Triaksial UU	<ul style="list-style-type: none"> Kuat geser efektif (terdrainase) (c'), (ϕ') Modulus <i>Young</i> (E) 	SNI 03-4813-1998 Rev. 2004

Jenis pengujian	Data geoteknik	Standar pengujian
Uji kuat tekan bebas (<i>Unconfined compressive strength</i>)	<ul style="list-style-type: none"> Memperoleh nilai kuat tekan tak terkekang dari contoh 	SNI 3638:2012
Kompresibilitas dan deformasi		
Konsolidasi 1 dimensi	<ul style="list-style-type: none"> Koefisien konsolidasi vertikal (c_v) Koefisien kompresibilitas volume (m_v) Koefisien permeabilitas vertikal (k) Indeks kompresibilitas (C_c) Koefisien rekompresi (c_s) 	SNI 2812:2011
CRS (<i>Constant Rate of Strain</i>)	<ul style="list-style-type: none"> Koefisien kompresibilitas sekunder (C_{α}) Indeks kompresibilitas (C_c) Koefisien konsolidasi vertikal (c_v) Angka pori (e_0) 	ASTM D4186-06
Rowe Cell	<ul style="list-style-type: none"> Koefisien konsolidasi vertikal (c_v) Indeks kompresibilitas (C_c) Angka pori (e_0) 	ASTM D2435-89

Catatan penting yang perlu diperhatikan dari Tabel 3 dan Tabel 5 untuk stabilisasi tipe kolom adalah sebagai berikut.

- Temperatur tanah tidak boleh kurang dari 4°C agar reaksi semen berlangsung efektif.
- Kadar air lapangan merupakan indikator penting dalam pemilihan material perbaikan dan juga jumlah penambahan (komposisi atau dosis).
- Sifat kimia serta fisik dari tanah yang akan diperbaiki adalah faktor yang akan mempengaruhi efektivitas perbaikan. Terutama, nilai pH, kandungan tumbuhan yang membusuk, kandungan karbon organik, merupakan indikator penting dalam pemilihan material perbaikan dan juga jumlah penambahan (komposisi atau dosis). Kadar pH tanah yang ideal adalah 5.
- Peningkatan konsentrasi sulfat mengindikasikan meningkatnya risiko terhadap terbentuknya mineral ekspansif. Konsentrasi sulfat kurang dari 3.000 ppm mengindikasikan resiko yang rendah, dan konsentrasi sulfat lebih besar dari 10.000 ppm mengindikasikan risiko tinggi yang dapat diterima. Formasi mineral ekspansif memberikan potensi kerusakan struktur stabilisasi tipe kolom dan mengurangi nilai kekuatannya.

Tanah untuk uji desain dapat didapatkan dari beberapa teknik sampling, seperti:

- sampel tabung dinding tipis;
- sampel kubus dari *test pit*;
- sampel piston.

4.8 Ketentuan Khusus Untuk Stabilisasi Tipe Kolom

4.8.1 Jenis Semen

Semen yang digunakan untuk stabilisasi tipe kolom adalah semen *portland*, semen komposit, atau material solidifikasi berbahan semen lainnya.

4.8.2 Air Pencampur (*Kneading Water*)

Air pencampur dapat menggunakan air setempat (air tanah ataupun air laut). Penggunaan jenis air tersebut hampir tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan.

4.8.3 Rasio Semen dan Air (W/C)

Rasio semen air (W/C) umumnya berkisar antara 0,8 – 1,2, akan tetapi rasio ini akan berbeda tergantung dari target kekuatan tanah hasil perbaikan, kadar air alami tanah asli, dan jumlah debit mesin pencampur yang digunakan. Umumnya untuk uji peracikan di laboratorium digunakan satu jenis rasio semen air, tetapi jika diperlukan dapat digunakan 2 – 3 jenis rasio semen air lalu dilakukan perbandingan.

4.8.4 Komposisi/Dosis Bahan Tambah Kimia

Pengaturan komposisi/dosis bahan tambah kimia diputuskan dengan mengacu pada tipe tanah yang akan diperbaiki dan target kekuatan tanah yang akan diperbaiki dengan menyertakan dokumen demonstrasi efek dari bahan tambah tersebut, pertimbangan hasil pengujian sebelumnya serta data dari material perbaikan dan sebagainya.

4.8.5 Kadar Air Alami

Karena pengujian dilakukan pada kadar air alami, tidak diperkenankan untuk mengubah rasio kadar air hingga proses pelaksanaan pengujian. Pada prinsipnya, pengujian material perbaikan harus menggunakan material yang sama dengan yang akan digunakan di lapangan.

4.8.6 Perawatan (*Curing*)

Contoh yang dimasukkan ke dalam cetakan harus dalam kondisi basah dan dijaga kondisinya agar tidak ada air yang masuk maupun keluar. Pemeraman atau perawatan dilakukan pada ruangan dengan suhu konstan $(20 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ sampai dilakukannya uji UCS pada usia 7 (tujuh) dan 28 (dua puluh delapan) hari.

4.8.7 Pengujian UCS

Pengujian kekuatan contoh yang diperbaiki dilakukan dengan uji kuat tekan bebas tidak terkekang (UCS) merujuk pada SNI 3638:2012. Apabila diperlukan, pengujian tekuk, kompresi, dan tarik dapat dilakukan.

4.9 Kriteria Perancangan Stabilisasi Semen Tipe Kolom

4.9.1 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas harus ditambahkan ketika melakukan perhitungan stabilitas timbunan eksisting. Beban lalu lintas ditambahkan pada seluruh lebar permukaan jalan dan besarnya ditentukan berdasarkan kelas jalan yang diberikan Tabel 6.

Tabel 6 – Beban lalu lintas untuk analisis stabilitas (SNI 8460:2017)

Kelas Jalan	Beban lalu lintas (kPa)	Beban di luar jalan (kPa)
I	15	10
II	12	10
III	12	10

4.9.2 Stabilitas Timbunan

Faktor keamanan lereng yang disyaratkan untuk analisis kestabilan lereng tanah diperlihatkan pada Tabel 7, dengan didasarkan pada pertimbangan biaya dan konsekuensi kegagalan lereng terhadap tingkat ketidakpastian kondisi analisis.

Tabel 7 – Nilai faktor keamanan untuk lereng tanah

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah ^a	Tinggi ^b
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	2,0 atau lebih
^a Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan. ^b Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi, jika kondisi geologi sangat kompleks, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan.		

4.9.3 Penurunan (Deformasi Vertikal)

Penurunan tanah di bawah timbunan terjadi selama dan sesudah penimbunan. Penurunan yang terjadi setelah konstruksi perkerasan jalan selesai menjadi perhatian utama karena penurunan yang berlebihan selama periode ini dapat merusak struktur perkerasan. Dalam analisis stabilitas, tinggi timbunan yang diasumsikan dalam perhitungan harus mempertimbangkan penurunan yang terjadi selama konstruksi.

Penurunan konsolidasi primer total dapat diperkirakan dari penurunan yang perlahan terjadi selama proses konsolidasi. Pemberian beban sementara dapat mengurangi penurunan rangkai (sekunder) yang terjadi setelah penurunan konsolidasi primer. Besarnya pemberian beban sementara tergantung dari karakteristik tanah dan persyaratan penurunan konsolidasi sekunder. Beban sementara sekurang-kurangnya 0,25 – 0,35 kali lebih besar daripada beban permanen, diberikan sampai konsolidasi primer berakhir, dan umumnya dapat memperkecil penurunan rangkai setelah beban sementara tersebut dibuang. Kriteria penurunan timbunan selama masa konstruksi serta kecepatan penurunan yang disyaratkan oleh Pt T-10-2002-B dapat dilihat pada Tabel 8, dengan s adalah jumlah penurunan selama masa konstruksi dan

s_{tot} adalah penurunan total yang diperkirakan. Kriteria ini berlaku untuk timbunan jalan di atas tanah dasar yang lunak.

Tabel 8 – Kriteria penurunan timbunan (Pt T-10-2002-B)

Kelas Jalan	Penurunan yang disyaratkan selama masa konstruksi, s/s_{tot}	Kecepatan ppenurunan setelah konstruksi (mm/tahun)
I	> 90%	< 20
II	> 85%	< 25
III	> 80%	< 30
IV	> 75%	< 30

Keterangan:

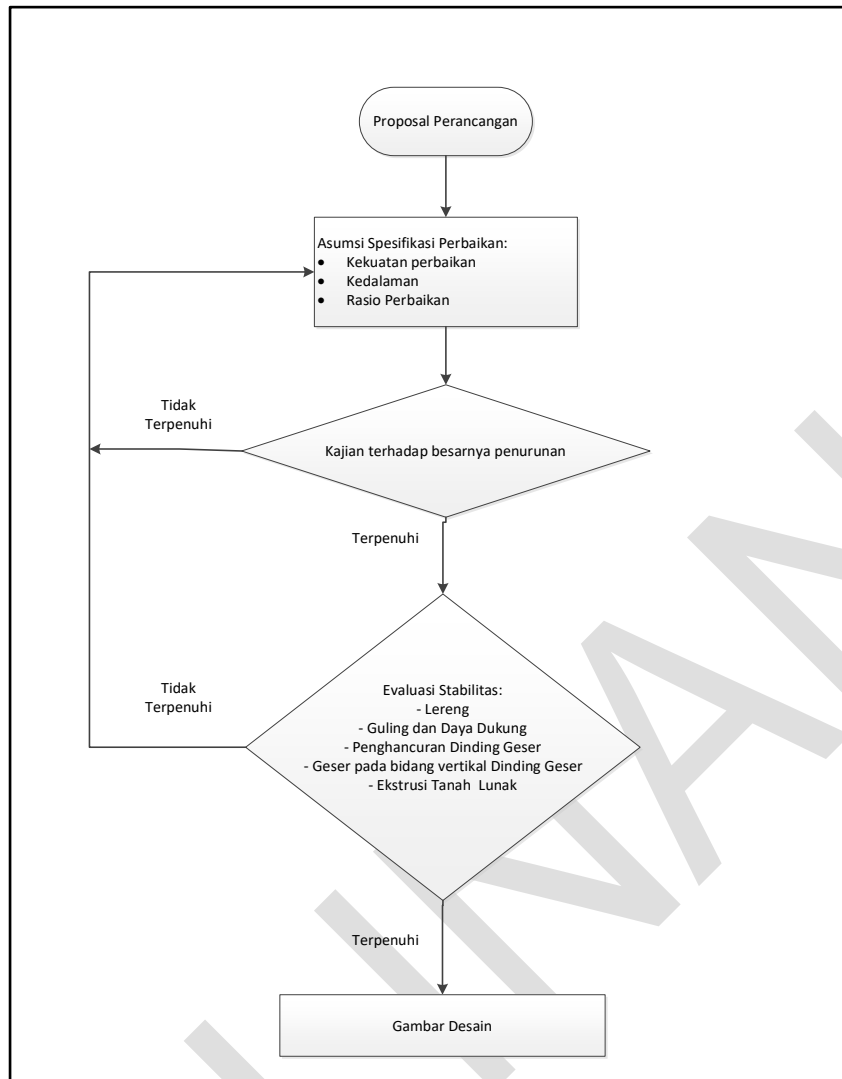
s adalah jumlah penurunan selama masa pelaksanaan

s_{tot} adalah penurunan total yang diperkirakan

5. Prosedur Perancangan

Pada pasal ini dibahas mengenai langkah perancangan yang disertai dengan bagan alir perancangan stabilisasi semen tipe kolom untuk struktur timbunan. Namun demikian, rekomendasi langkah perencanaan ini tidak serta merta telah mempertimbangkan seluruh variabel yang ada untuk merancang struktur selain perkuatan timbunan jalan. Prosedur perancangan ini dimaksudkan untuk insinyur geoteknik yang berpengalaman yang telah terbiasa dengan istilah geoteknik pada umumnya. Kemampuan melakukan perhitungan tekanan tanah, analisis penurunan, analisis daya dukung serta kestabilan lereng menjadi sebuah persyaratan.

Sebelum memulai perancangan, spesifikasi atau kriteria desain perbaikan harus ditetapkan terlebih dahulu. Spesifikasi yang akan ditentukan juga akan lebih baik bila mempertimbangkan pengalaman atau kinerja konstruksi terdahulu. Tahapan perancangan diberikan dalam bentuk langkah-langkah kegiatan yang diuraikan pada Gambar 2.



Gambar 2 – Bagan alir analisis stabilisasi semen tipe kolom

5.1 Kriteria Perancangan Proyek

Tentukan kriteria perancangan proyek, meliputi penentuan:

- a. geometri timbunan, meliputi:
 - 1) alinyemen;
 - 2) tinggi timbunan;
 - 3) lebar jalan; dan
 - 4) kemiringan timbunan.
- b. pembebanan, meliputi:
 - 1) beban timbunan;
 - 2) beban lalu lintas;
 - 3) beban struktur lainnya;
 - 4) beban saat kondisi gempa; dan
 - 5) kondisi khusus lainnya (gaya lateral tambahan).
- c. kriteria kinerja, meliputi:
 - 1) nilai faktor keamanan kondisi servis atau layanan;
 - 2) nilai faktor keamanan kondisi gempa;
 - 3) nilai deformasi atau penurunan izin;

- 4) ada atau tidaknya pertimbangan pada kondisi gempa;
 - 5) pertimbangan pengaruh deformasi yang terjadi terhadap struktur yang berdekatan;
 - 6) stabilitas timbunan-bidang gelincir; dan
 - 7) daya dukung dasar timbunan.
- d. evaluasi kembali tujuan perbaikan, meliputi:
- 1) kriteria desain yang telah ditentukan apakah dapat terpenuhi dengan perbaikan yang akan dilakukan;
 - 2) apakah ada dampak buruk dari perbaikan yang akan dilakukan terhadap lingkungan sekitar dan struktur yang berdekatan saat konstruksi; dan
 - 3) apakah perbaikan yang akan dilakukan merupakan pilihan yang efektif dan dampak dari perbaikan yang akan dilakukan dapat ditoleransi.

5.2 Karakteristik Lapisan Tanah Yang Akan Diperbaiki Beserta Informasi Meliputi Lapisan Tanah Sekitarnya

Penentuan kondisi representatif dari lapisan tanah yang akan diperbaiki (parameter tanah yang akan digunakan selama proses analisis dan desain geoteknik), meliputi:

- a. stratigrafi;
- b. kondisi muka air tanah (kedalaman);
- c. jenis tanah lunak yang akan diperbaiki;
- d. ketebalan lapisan tanah lunak; dan
- e. posisi atau kedalaman lapisan tanah pendukung atau lapisan tanah keras.

5.3 Parameter Geoteknik atau Kekuatan Tanah Yang Diperbaiki

Kekuatan standar perancangan kuat geser dari stabilisasi tanah-semen (s_{dm}) pada dasarnya adalah nilai kekuatan tekan uniaksial rencana dari badan hasil perbaikan stabilisasi semen tipe kolom lapangan (q_{dm}). Namun, dengan mempertimbangkan fakta bahwa ada variasi kuat tekan di lapangan (f_r) dan adanya perbedaan antara kekuatan di lapangan dan kekuatan tekan uniaksial oleh uji pencampuran laboratorium (f_c), hubungan kuat geser rencana (s_{dm}) dan kuat tekan uniaksial rencana lapangan (q_{dm}) ditunjukkan dengan Persamaan 1.

$$s_{dm} = \frac{1}{2} f_r f_c q_{dm} \dots \dots \dots (1)$$

dimana

$$f_c = 0,187 \ln(t) + 0,375 \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

- s_{dm} adalah kuat geser standar perancangan;
- f_r adalah nilai variasi kuat tekan di lapangan, 0,8. Jika tanah gambut atau organik, gunakan nilai 1;
- f_c adalah nilai faktor proyeksi kuat tekan lapangan pada hari ke-t berdasarkan uji kuat tekan 28 hari;
- q_{dm} adalah nilai kuat tekan rencana lapangan pada 28 (dua puluh delapan) hari;
- t adalah nilai waktu pemeraman (hari).

Saat merancang sebagai tanah komposit, q_{dm} digunakan sebagai kekuatan standar perancangan. Lalu, kekuatan standar perancangan q_{dm} sering ditetapkan di antara 500 – 1.000 kN/m² untuk kondisi tanah lunak.

Nilai faktor f_v mengakomodasi adanya variasi kuat tekan di lapangan yang diakibatkan oleh adanya variasi kuat geser pada deposit tanah lunak yang ada. Nilai faktor f_v sangat bergantung terhadap nilai faktor keamanan yang dipakai dalam kriteria desain. Untuk itu, nilai faktor f_v harus disesuaikan untuk setiap nilai faktor keamanan yang dipakai dalam analisis seperti yang ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9 – Nilai faktor f_v

Keamanan Desain	Variasi dari Kuat Tekan	f_v		
		$p_{dm} = 70\%$	$p_{dm} = 80\%$	$p_{dm} = 90\%$
1,2	0,40	0,93	1,05	1,25
	0,50	0,88	1,02	1,26
	0,60	0,83	0,99	1,27
1,3	0,40	0,89	1,01	1,19
	0,50	0,82	0,95	1,17
	0,60	0,75	0,90	1,15
1,4	0,40	0,85	0,97	1,14
	0,50	0,76	0,89	1,09
	0,60	0,69	0,82	1,05
1,5	0,40	0,82	0,93	1,10
	0,50	0,72	0,83	1,03
	0,60	0,63	0,75	0,96
1,6	0,40	0,79	0,90	1,06
	0,50	0,68	0,79	0,97
	0,60	0,58	0,69	0,89

p_{dm} = probabilitas terlampaunya nilai kuat tekan aktual dari nilai kuat tekan yang direncanakan.

Modulus elastisitas, dari tanah yang distabilisasi semen (E_{dm}), dapat ditentukan berdasarkan Persamaan 3 untuk sistem pencampuran basah dan Persamaan 4 untuk sistem pencampuran kering.

$$E_{dm} = 300q_{dm} \dots\dots\dots (3)$$

$$E_{dm} = 150q_{dm} \dots\dots\dots (4)$$

Persamaan 3 dan 4 merupakan korelasi E_{50} berdasarkan nilai kuat tekan uniaksial.

5.4 Geometrik atau Bentuk Perbaikan Stabilisasi Semen Tipe Kolom

Penentuan geometri stabilisasi semen tipe kolom yang akan dilakukan meliputi beberapa penentuan sebagai berikut.

- Layout* umum dari timbunan serta zona stabilisasi semen tipe kolom
- Lebar perbaikan stabilisasi semen tipe kolom

Badan perbaikan bukanlah kolom dengan kekuatan tinggi yang homogen, supaya tanah perbaikan mampu menahan gaya eksternal secara keseluruhan (tidak ada tegangan lentur), maka lebar perbaikan (B) terhadap kedalaman perbaikan (D) diatur menjadi $B/D = 0,5 - 1,0$ atau lebih, sehingga tidak lebih kecil dari angka tersebut.

c. Kedalaman perbaikan stabilisasi semen tipe kolom yang dapat dipenuhi melalui 2 (dua) sistem pendukung, yaitu:

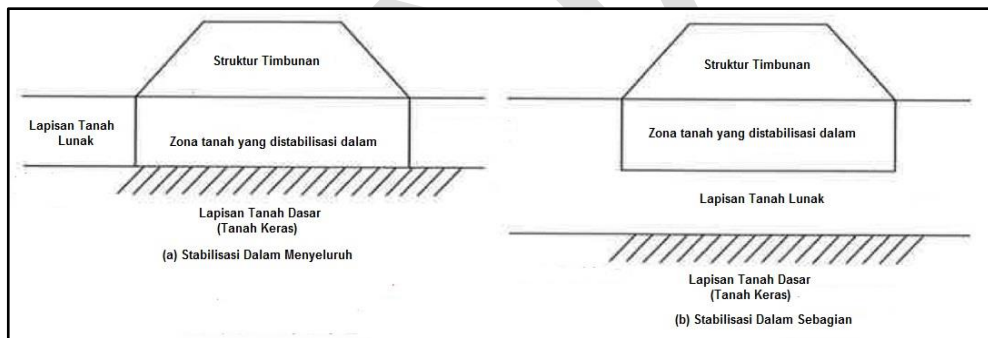
1) Sistem menyeluruh (*bottomed out*)

Sistem ini merupakan metode perbaikan stabilisasi semen tipe kolom yang dilakukan hingga posisi ujung bawah kolom stabilisasi semen mencapai kedalaman lapisan tanah yang karakteristiknya lebih baik atau teguh (*stiff*). Akan tetapi, apabila ditemukan lapisan tanah dengan daya dukung atau tanah dengan karakteristik menengah (*medium*) yang berada di atas lapisan tanah lempung vulkanik atau sejenisnya, sering kali ujung bawah kolom perbaikan stabilisasi semen diletakkan di lapisan dengan daya dukung menengah tersebut. Sistem ini ideal dilakukan untuk kondisi tanah yang kedalaman lapisan tanah kerasnya dangkal.

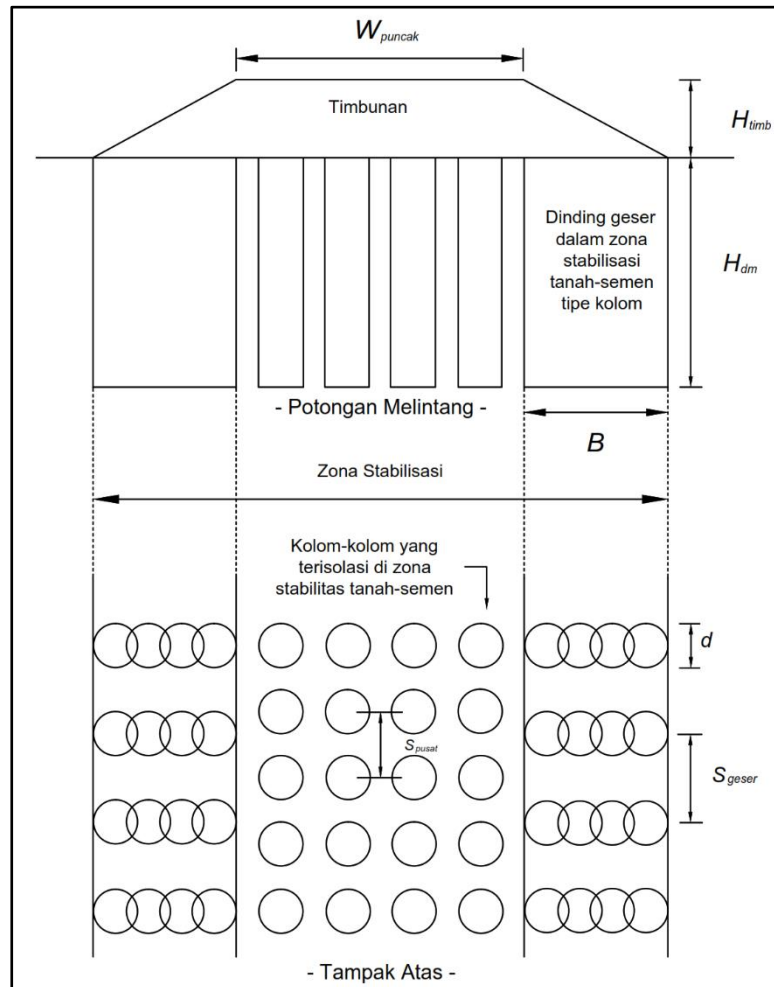
2) Sistem sebagian (*floating*)

Sistem ini merupakan metode perbaikan stabilisasi semen tipe kolom yang menempatkan ujung bawah kolom perbaikan tidak mencapai lapisan tanah yang karakteristiknya lebih baik atau teguh. Sehingga, ujung kolom bawah stabilisasi semen terlihat menggantung. Apabila metode ini digunakan sebagai sistem pendukung maka perlu diperhatikan mengenai adanya potensi terjadinya beda penurunan jika lapisannya miring. Sistem ini ideal dilakukan untuk kondisi tanah yang kedalaman lapisan tanah kerasnya dalam.

Kedua sistem yang diuraikan di atas diperlihatkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3 – Metode perbaikan stabilisasi semen



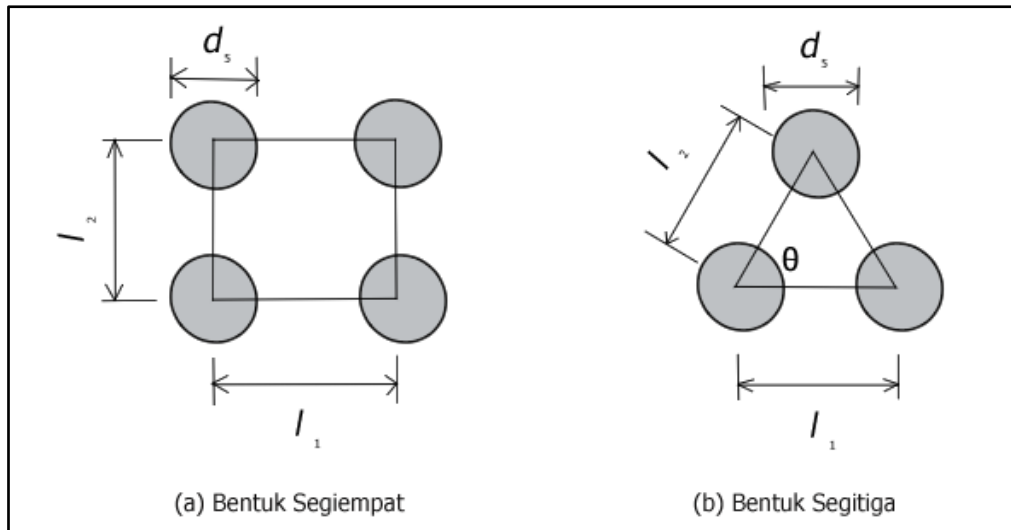
Keterangan:

- W_{puncak} = lebar puncak timbunan
- H_{timb} = tinggi timbunan
- H_{dm} = tinggi daerah tanah yang distabilisasi semen
- B = lebar dari dinding geser
- d = diameter kolom
- S_{pusat} = spasi pusat ke pusat dari kolom isolasi
- S_{geser} = spasi pusat ke pusat dinding geser

Gambar 4 – Ilustrasi tipikal pengaturan stabilisasi tanah-semen tipe kolom di bawah timbunan

d. Rasio perbaikan bagian tengah/pusat timbunan

Rasio perbaikan atau a_s adalah luas seluruh area yang ditangani dengan perbaikan stabilisasi semen tipe kolom terhadap luas area pengaruh per 1 (satu) kolom badan perbaikan dalam satuan persen. Umumnya, perbaikan dilakukan dengan pola segi empat atau segitiga seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5. Nilai rasio perbaikan harus memenuhi nilai kapasitas izin.



Gambar 5 – Pola atau *grid* dari stabilisasi tanah-semen tipe kolom

Rasio perbaikan izin pada bagian tengah timbunan

$$a_{s,pusat} \geq F_{cc} \frac{q}{2s_{dm}f_v} \dots\dots\dots (5)$$

Untuk pengaturan bentuk segi empat, digunakan Persamaan 6

$$a_{s,pusat} = \frac{\pi d_s^2}{4} \frac{1}{(l_1 \times l_2)} \dots\dots\dots (6)$$

Untuk pengaturan bentuk segi tiga, digunakan Persamaan 7

$$a_{s,pusat} = \frac{\pi d_s^2}{4} \frac{1}{(l_1 \times l_2) \sin \theta} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

$a_{s,pusat}$ adalah rasio perbaikan kolom bagian tengah, berkisar antara 0,2 – 0,4

F_{cc} adalah nilai faktor keamanan terhadap hancurnya kolom bagian tengah (1,3)

q adalah beban timbunan dan beban tambahan

s_{dm} adalah kuat geser standar perancangan

f_v adalah variasi kuat tekan di lapangan yang diakibatkan oleh adanya variasi kuat geser pada deposit tanah lunak yang ada yang ditampilkan pada Tabel 9.

d_s adalah diameter kolom stabilisasi (m)

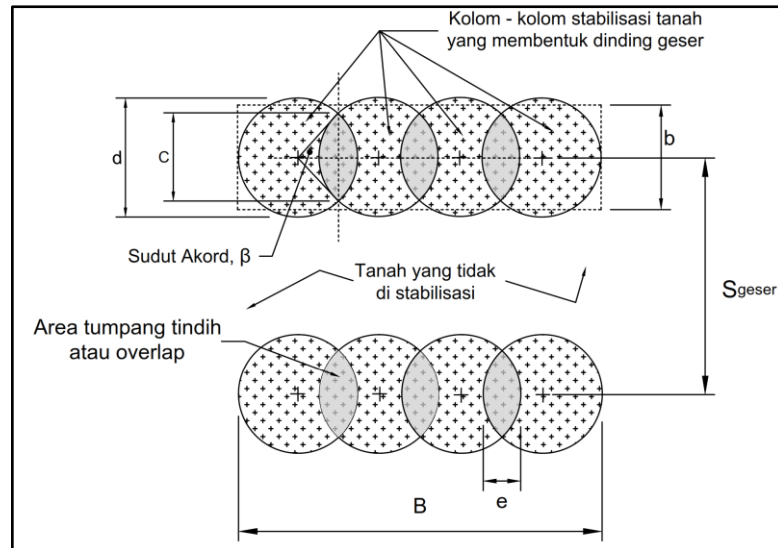
l_1 adalah spasi antar kolom stabilisasi (m)

l_2 adalah spasi antar kolom stabilisasi (m)

θ adalah sudut pengaturan kolom stabilisasi ($^\circ$)

e. Rasio perbaikan dinding geser

Geometri kolom yang *overlap* yang diperuntukkan sebagai dinding geser pada sisi bawah kaki timbunan yang diperlihatkan pada Gambar 6. Nilai dari d , e , dan s_{geser} dapat menggunakan Persamaan 8, 9, dan 10. Rasio luas penggantian ($a_{s,geser}$) dari dinding geser dapat dihitung menggunakan Persamaan 11.



Gambar 6 – Ilustrasi kolom overlap pada dinding geser

Keterangan:

e = Jarak overlap

β = sudut akord (radian)

c = panjang akord

b = lebar rata-rata dinding geser

$$\beta = 2 \arccos \left(1 - \frac{e}{d} \right) \dots \dots \dots (8)$$

$$c = d \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right) \dots \dots \dots (9)$$

$$a_e = \frac{\alpha - \sin \alpha}{\pi} \dots \dots \dots (10)$$

$$a_{s, geser} = \frac{\pi d (1 - a_e)}{4 s_{geser} \left(1 - \frac{e}{d} \right)} \dots \dots \dots (11)$$

Nilai tipikal dari $a_{s, geser}$ stabilisasi tipe kolom untuk menopang timbunan berkisar lebih besar atau sama dengan $a_{s, pusat}$, yaitu antara 0,2 – 0,4 yang didasarkan dari nilai e/d yang nilai rentang tipikalnya diantara 0,2 – 0,35.

Rasio panjang akord terhadap spasi dinding geser (c/S_{geser}) didasarkan dari nilai $a_{s, geser}$ dan nilai sudut akord (β) yang dihasilkan dan diperlihatkan pada Persamaan 12.

$$\frac{c}{s_{shear}} = \frac{2 a_{s, geser} \sin (\beta)}{\pi - \beta + \sin (\beta)} \dots \dots \dots (12)$$

5.5 Evaluasi Penurunan

Penurunan timbunan pascakonstruksi dihitung sebagai jumlah dari kompresi zona stabilisasi tanah-semen tipe kolom dan kompresi tanah di bawahnya. Perbedaan penurunan yang terjadi pada dasar timbunan dan bagian atas zona stabilisasi tanah-semen tipe kolom sering dianggap terjadi selama konstruksi timbunan sebelum dilakukan penghamparan perkerasan. Kompresi zona stabilisasi tanah-semen tipe kolom dihitung berdasarkan regangan yang sama di bagian tanah yang dilakukan stabilisasi tanah-semen tipe kolom dan bagian tanah di sekitar yang tidak dilakukan stabilisasi tanah-semen tipe kolom di bawah bagian tengah timbunan. Pendekatan ini setara dengan menggunakan modulus komposit dari tanah yang dilakukan

stabilisasi tanah-semen tipe kolom dan tanah yang berdekatan. Modulus komposit. M_{komp} dapat dievaluasi dengan menggunakan Persamaan 13.

$$M_{komp} = a_{s,pusat} E_{dm} + (1 - a_{s,pusat}) M_{tanah} \dots\dots\dots (13)$$

Dimana M_{tanah} merupakan nilai modulus dari tanah yang tidak diperbaiki.

Kompresi zona yang diperbaiki, dihitung menggunakan Persamaan 14

$$\Delta H_{dm} = H_{dm} \frac{q}{M_{komp}} \dots\dots\dots (14)$$

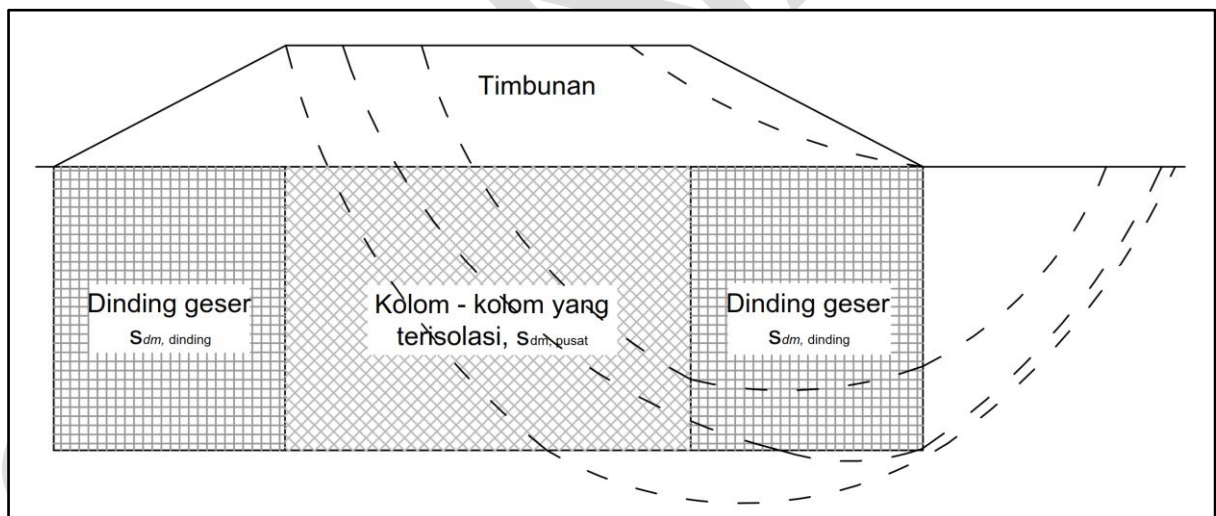
ΔH_{dm} , kompresi tanah di bawah dari stabilisasi tanah-semen tipe kolom dapat dihitung menggunakan metode penyebaran beban seperti yang digunakan untuk kelompok tiang.

5.6 Evaluasi Stabilitas

Evaluasi stabilitas meliputi analisis stabilitas lereng, kombinasi guling dan kapasitas daya dukung, resiko hancurnya dinding geser stabilisasi tanah-semen tipe kolom, geser pada bidang vertikal dinding geser stabilisasi tanah-semen tipe kolom, dan ekstrusi tanah di antara dinding geser stabilisasi tanah-semen tipe kolom.

a. Analisis Stabilitas Lereng

Analisis performa stabilitas lereng adalah untuk menentukan bidang runtuh kritis dan nilai faktor keamanannya seperti yang diilustrasikan pada Gambar 7.



Gambar 7 – Ilustrasi potensi bidang geser dan penempatan perkuatan geser komposit, $s_{dm,pusat}$ dan $s_{dm,dinding}$

Kuat geser komposit dari stabilisasi tanah-semen tipe kolom pada dinding geser dan kolom dihitung menggunakan Persamaan 15 dan 16.

$$s_{dm,dinding} = f_v a_{s,geser} s_{dm} \dots\dots\dots (15)$$

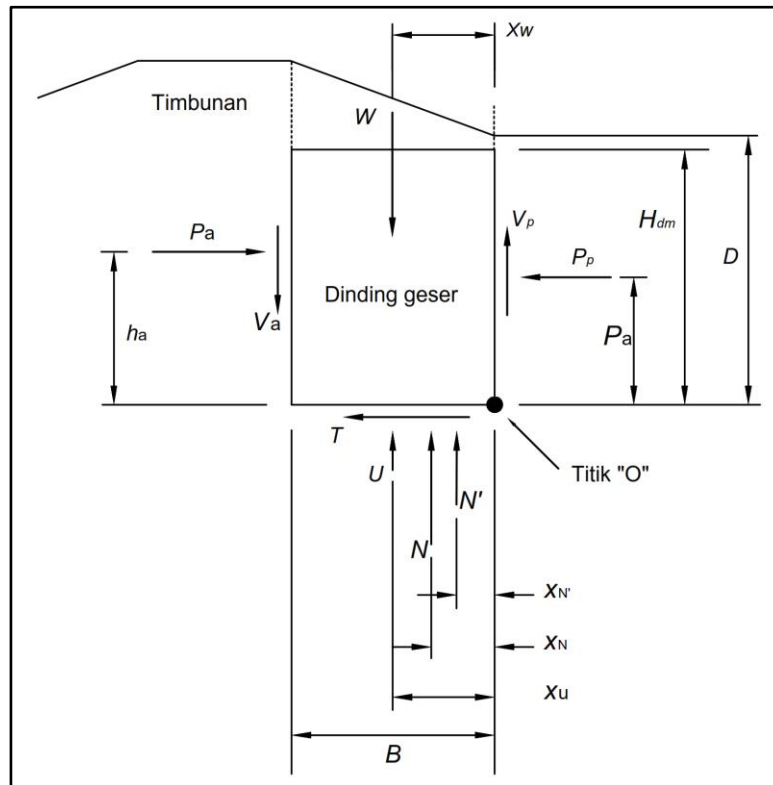
f_v adalah faktor kekuatan variabilitas yang ditentukan di tahap 3 sesuai dengan faktor keamanan stabilitas lereng = 1,5.

$$s_{dm,pusat} = \max\{a_{s,pusat} (71,8kPa) + (1 - a_{s,pusat}) s_{tanah}, s_{tanah}\} \dots\dots\dots (16)$$

Metode Spencer direkomendasikan untuk analisis stabilitas lereng karena memenuhi semua kondisi keseimbangan dan menghasilkan nilai faktor keamanan yang realistis.

b. Analisis Kombinasi Guling dan Kapasitas Daya Dukung

Gambar 8 memberikan sketsa definisi yang menyertakan simbol-simbol yang digunakan dalam prosedur langkah demi langkah untuk menggabungkan kapasitas guling dan daya dukung.



Keterangan:

- W = Berat total zona stabilisasi tanah-semen tipe kolom dan tanah yang tidak distabilisasi di atasnya serta material timbunan
- x_w = Jarak horizontal dari titik "O" pada bagian kaki zona stabilisasi tanah-semen tipe kolom terhadap garis aksi W
- B = Lebar zona stabilisasi tanah-semen tipe kolom
- D = Kedalaman dari kaki lereng timbunan ke dasar zona stabilisasi tanah-semen tipe kolom
- P_a = Tekanan aktif total, termasuk tekanan hidrostatik
- h_a = Jarak vertikal dari titik "O" terhadap garis aksi P_a
- V = Gaya geser vertikal pada sisi aktif
- P_p = Tekanan pasif total, termasuk tekanan hidrostatik
- h_p = Jarak vertikal dari titik "O" terhadap garis aksi P_p
- V_p = Gaya geser vertikal pada sisi pasif
- N = Gaya vertikal total ke arah atas pada dasar zona stabilisasi tanah-semen tipe kolom
- U = Gaya hidrostatik vertikal ke arah atas pada dasar zona stabilisasi tanah-semen tipe kolom
- N' = Gaya normal efektif ke arah atas pada dasar zona stabilisasi tanah-semen tipe kolom
- x_N = Jarak horizontal dari titik "O" ke N
- x_u = Jarak horizontal dari titik "O" ke U
- $x_{N'}$ = Jarak horizontal dari titik "O" ke N'
- T = Gaya geser horizontal yang terjadi pada dasar zona stabilisasi tanah-semen tipe kolom

Gambar 8 – Ilustrasi sketsa untuk kombinasi perhitungan guling dan daya dukung

Parameter kuat geser dari setiap lapisan tanah di sebelah samping maupun di bawah zona stabilisasi tanah-semen tipe kolom ditentukan dengan menggunakan Persamaan 17 dan 18 untuk karakteristik tegangan normal total dan Persamaan 19 dan 20 untuk karakteristik tegangan normal efektif dimana nilai Faktor Keamanan guling dan daya dukung ($FK_{\text{guling dan daya dukung}} = 1,3$).

$$c_m = \frac{c}{FK_{\text{guling dan daya dukung}}} \dots \dots \dots (17)$$

$$\phi_m = \arctan \frac{\tan \phi}{FK_{\text{guling dan daya dukung}}} \dots \dots \dots (18)$$

$$c'_m = \frac{c'}{FK_{\text{guling dan daya dukung}}} \dots \dots \dots (19)$$

$$\phi'_m = \arctan \frac{\tan \phi'}{FK_{\text{guling dan daya dukung}}} \dots \dots \dots (20)$$

Gaya resultan vertikal, N, dihitung menggunakan Persamaan 21 untuk karakteristik tegangan normal total dan Persamaan 22 untuk karakteristik tegangan normal efektif dengan mengintegrasikan tegangan air pada dasar zona stabilisasi tanah-semen tipe kolom untuk mendapatkan nilai U dan tentukan jarak x_U .

$$N = W + V_a - V_p \dots \dots \dots (21)$$

$$N' = N - U \dots \dots \dots (22)$$

Jarak x_N dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 23. Jika parameter kuat geser pada dasar zona stabilisasi tanah-semen tipe kolom dikarakteristikan berdasarkan tegangan normal efektif, maka jarak $x_{N'}$ ditentukan menggunakan Persamaan 24.

$$x_N = \frac{P_p h_p + W x_W + V_a B - P_a h_a}{N} \dots \dots \dots (23)$$

$$x_{N'} = \frac{N x_N - U x_U}{N'} \dots \dots \dots (24)$$

Tekanan akibat beban pada kaki dinding geser (q_{kaki}) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 25 jika parameter kuat geser pada dasar zona stabilisasi tanah-semen tipe kolom dikarakteristikan berdasarkan tegangan normal efektif dan tegangan normal total menggunakan Persamaan 26.

$$q_{\text{kaki}} = \begin{cases} \frac{N}{B} \left(\frac{2B}{3x_N a_{s,\text{geser}}} - \frac{1}{a_{s,\text{geser}}} + 1 \right) & \text{untuk } x_N \leq \frac{B}{3} \\ \frac{N}{B} \left(\frac{3}{a_{s,\text{geser}}} - \frac{6x_N}{Ba_{s,\text{geser}}} + 1 \right) & \text{untuk } \frac{B}{3} \leq x_N \leq \frac{B}{2} \end{cases} \dots \dots \dots (25)$$

$$q_{\text{kaki}} = \begin{cases} \frac{N'}{B} \left(\frac{2B}{3x_{N'} a_{s,\text{geser}}} - \frac{1}{a_{s,\text{geser}}} + 1 \right) & \text{untuk } x_{N'} \leq \frac{B}{3} \\ \frac{N'}{B} \left(\frac{3}{a_{s,\text{geser}}} - \frac{6x_{N'}}{Ba_{s,\text{geser}}} + 1 \right) & \text{untuk } \frac{B}{3} \leq x_{N'} \leq \frac{B}{2} \end{cases} \dots \dots \dots (26)$$

q_{kaki} merupakan tekanan yang didasarkan atas tekanan distribusi linear dengan yang berpusat pada dasar dinding geser dengan lebar rata-rata B seperti yang diperlihatkan pada **Error! Reference source not found.**8. Berat tanah diantara dinding geser diasumsikan dipikul oleh tanah di bawahnya.

Tekanan izin pada kaki dinding geser, q_{izin} , dihitung dengan menggunakan Persamaan 27 untuk pendekatan tegangan normal total.

$$q_{izin} = c_m N_c + \frac{1}{2} \gamma_{bawah} b_{min} N_\gamma + \gamma_{atas} D N_q \dots \dots \dots (27)$$

Keterangan:

N_c, N_γ, N_q = faktor kapasitas daya dukung yang ditentukan dari nilai Φ_m tanah di bawah dinding geser;
 γ_{bawah} = berat isi total dari tanah di bawah dinding geser;
 γ_{atas} = berat isi rata-rata dari tanah di atas dasar dinding geser;
 b_{min} = lebar minimum efektif dinding geser, yang dapat diestimasi sebagai 90% dari diameter minimum kolom untuk nilai tipikal e/d .

Jika nilai $\Phi_m = 0$, Persamaan 27 dapat disederhanakan menjadi Persamaan 28.

$$q_{izin} = c_m (7,5) + \left(1 + 0,1 \frac{b_{min}}{x_N}\right) + \gamma_{atas} D \dots \dots \dots (28)$$

Jika kuat geser tanah di bawah dinding geser dikarakteristikan berdasarkan tegangan normal efektif, penggunaan Persamaan 29.

$$q_{izin} = c'_m N'_c + \frac{1}{2} \gamma_{a,bawah} b_{min} N'_\gamma + \gamma_{a,atas} D N'_q \dots \dots \dots (29)$$

Keterangan:

N'_c, N'_γ, N'_q = faktor kapasitas daya dukung yang ditentukan dari nilai Φ'_m tanah di bawah dinding geser;
 $\gamma_{a,bawah}$ = berat apung total dari tanah di bawah dinding geser;
 $\gamma_{a,atas}$ = berat apung rata-rata dari tanah di atas dasar dinding geser.

- c. Analisis Resiko Hancurnya Dinding Geser Stabilisasi Tanah-Semen Tipe Kolom
 Dalam situasi ketika dasar zona stabilisasi tanah-semen tipe kolom berada di atas tanah keras, tekanan lateral dapat menghasilkan tekanan yang melebihi kapasitas dari stabilisasi tanah-semen tipe kolom itu sendiri. Faktor keamanan terhadap resiko hancurnya dinding geser stabilisasi tanah-semen tipe kolom, F_c , ditetapkan 1,3.

Kapasitas izin dari stabilisasi tanah-semen tipe kolom dihitung dengan menggunakan Persamaan 30 dengan parameter f_v didapat dari Tabel 9.

$$q_{izin} = \frac{2 S_{dm} f_v}{F_c} + \sigma_h \dots \dots \dots (30)$$

σ_h adalah tekanan tanah lateral pada kaki yang dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 31.

$$\sigma_h = K_0 \sigma'_v + u \dots\dots\dots (31)$$

Keterangan:

K_0 = tegangan efektif lateral tanah saat istirahat yang ditentukan berdasarkan Φ' pada tanah sekitar stabilisasi tanah-semen tipe kolom pada kaki zona stabilisasi tanah-semen tipe kolom;

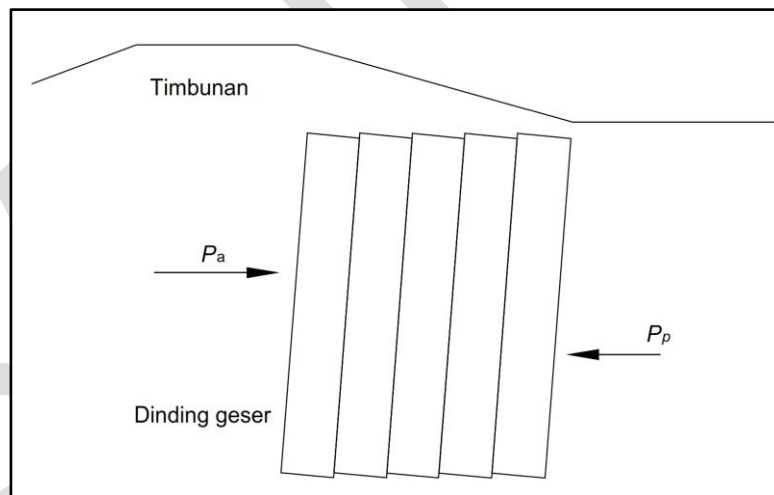
σ'_v = tegangan efektif vertikal pada tanah sekitar stabilisasi tanah-semen tipe kolom pada kaki zona stabilisasi tanah-semen tipe kolom;

u = tekanan air pori pada tanah sekitar stabilisasi tanah-semen tipe kolom pada kaki zona stabilisasi tanah-semen tipe kolom.

Jika kuat geser tanah di bawah stabilisasi tanah-semen tipe kolom dikarakteristikan berdasarkan tegangan normal efektif, q_{toe} ditentukan dengan menggunakan Persamaan 32.

$$\sigma'_h = K_0 \sigma'_v \dots\dots\dots (32)$$

- d. Analisis Geser pada Bidang Vertikal Dinding Geser Stabilisasi Tanah-Semen Tipe Kolom
- Pergeseran pada bidang vertikal pada dinding geser stabilisasi tanah-semen tipe kolom dihasilkan oleh beban eksentrik yang berkorespondensi terhadap $x_N < B/2$. Jika tumpang tindih antara kolom yang berdekatan tidak cukup, dinding geser dapat runtuh dalam mode keruntuhan *racking/toppling*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9 – Ilustrasi keruntuhan *racking/toppling*. Nilai Faktor Keamanan terhadap geser ditentukan sebesar 1,3.



Gambar 9 – Ilustrasi keruntuhan *racking/toppling*

Tahapan prosedur berikut ini digunakan untuk menentukan apakah desain telah cukup untuk mencegah geseran pada bidang vertikal pada dinding geser stabilisasi tanah-semen tipe kolom.

- 1) Tentukan nilai V_p , N , dan x_N berdasarkan nilai Faktor Keamanan terhadap geser.
- 2) Tentukan tegangan geser vertikal rata-rata, τ_v , pada bidang kritis vertikal pada stabilisasi tanah-semen tipe kolom dengan menggunakan Persamaan 33.

$$\tau_v = \begin{cases} \frac{V_p}{H_{dm}} + \frac{N}{H_{dm}} \left(1 - \frac{3x_N}{2B}\right)^2 & \text{untuk } x_N \leq \frac{B}{3} \\ \frac{V_p}{H_{dm}} + \frac{3N}{4H_{dm}} \left(1 - \frac{3x_N}{B}\right) & \text{untuk } \frac{B}{3} \leq x_N \leq \frac{B}{2} \end{cases} \dots\dots\dots (33)$$

- 3) Tentukan tegangan geser izin, $\tau_{v,izin}$, pada zona stabilisasi tanah-semen tipe kolom dengan menggunakan Persamaan 34 dengan nilai f_v berdasarkan Tabel 9.

$$\tau_{v,all} = \frac{f_v(c/S_{shear})S_{dm}}{F_v} \dots\dots\dots (34)$$

- e. Analisis ekstrusi tanah di antara dinding geser stabilisasi tanah-semen tipe kolom
Ekstrusi tanah lunak di antara dinding geser dapat terjadi jika jarak dinding geser tersebut terlalu lebar atau pendek terhadap alinyemen timbunan. Ekstrusi tanah di antara dinding geser tidak mungkin terjadi pada tanah pasir ataupun lempung keras pada kondisi normal. Jadi hanya lapisan tanah lunak yang perlu dicek keagalannya.

Jarak bersih maksimum antara dinding geser, $s_{geser} - d$, harus dibatasi berdasarkan Persamaan 35 untuk mencegah ekstrusi tanah lunak.

$$S_{geser} - d \leq \frac{1}{\left[\frac{1.3(\sigma_{va}-\sigma_{vp})}{2c_e} - 2\right] \frac{1}{B} \frac{1}{H_e}} \dots\dots\dots (35)$$

Keterangan:

- H_e = ketebalan lapisan tanah lunak yang akan dianalisa terhadap ekstrusi;
 σ_{va} = tegangan vertikal total rata-rata pada tanah lunak yang akan dianalisis terhadap ekstrusi yang berbatasan langsung dengan sisi tekanan tanah aktif dari dinding geser;
 σ_{vp} = tegangan vertikal total rata-rata pada tanah lunak yang akan dianalisis terhadap ekstrusi yang berbatasan langsung dengan sisi tekanan pasif aktif dari dinding geser;
 c_e = tegangan vertikal total rata-rata kohesi intersep pada tanah lunak yang akan dianalisa terhadap ekstrusi.

Analisis ini harus diulang pada setiap lapisan tanah lunak yang berbeda untuk menentukan nilai kritis $s_{geser} - d$.

Jika terdapat alasan khusus proyek untuk mempertimbangkan jarak bersih antara dinding geser yang lebih besar daripada yang disampaikan pada Persamaan 35, panjang dinding geser dapat ditingkatkan. Sebagai alternatif dapat dipertimbangkan berupa konstruksi dinding menerus dari kolom tumpang tindih (*overlap*) yang sejajar dengan alinyemen timbunan dan terletak di dalam zona dinding geser.

5.7 Gambar Desain, Hasil Analisis, dan Spesifikasi

Siapkan gambar desain, analisis serta spesifikasi umum dan khusus (bila ada).

Bibliografi

- Badan Geologi. *Atlas Sebaran Tanah Lunak Indonesia Edisi 2019*. ISBN.978-602-9105-80-3. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2019.
- Bruce, D., *An Introduction to The Deep Mixing Methods as Used in Geotechnical Applications. Volume III. The Verification and Properties of Treated Ground*. Report No. FHWA-RD-99-167. US Department of Transportation. Federal Highway Administration. 2001.
- CERI. *Manual for Countermeasure for Peat Soft Ground*. Civil Engineering Research Institute for Cold Region. 2017.

Daftar Penyusun dan Unit Kerja Pemrakarsa

No.	Nama		Unit Kerja
1.	Pemrakarsa	Balai Geoteknik, Terowongan, dan Struktur, Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan, Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat	
2.	Koordinator	Ir. Yudha Handita Pandjiriawan, M.T., M.B.A.	Direktur Bina Teknik Jalan dan Jembatan
3.	Penyusun	Fahmi Aldiamar, S.T., M.T.	Balai Geoteknik, Terowongan, dan Struktur
4.		Ahmad Numan, S.T., M.T.	Balai Geoteknik, Terowongan, dan Struktur
5.	Editor Naskah	Subdirektorat Teknologi dan Peralatan Infrastruktur Bina Marga, Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan	

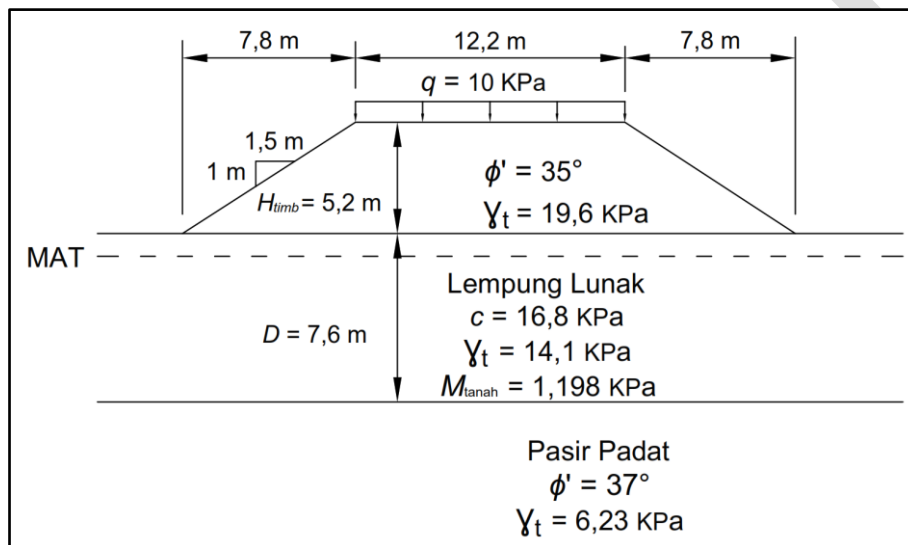
Lampiran

(informatif)

Contoh Perancangan Timbunan Jalan dengan Stabilisasi Tanah-Semen Tipe Kolom

1. Ketentuan

Sebuah konstruksi timbunan direncanakan dibangun di atas tanah lunak yang memiliki ketebalan 7,6 m. Posisi muka air tanah berada di kedalaman 0,9 m di bawah permukaan tanah eksisting. Tinggi timbunan rencana adalah 5,2 m. Metode stabilisasi tanah tipe kolom diajukan dalam penanganan tanah lunak pada konstruksi timbunan tersebut.



Berikut kriteria faktor keamanan desain yang harus dicapai:

- Faktor keamanan terhadap resiko hancurnya kolom, $F_{cc} = 1,3$
 - Faktor keamanan terhadap kestabilan lereng, $F_s = 1,5$
 - Faktor keamanan terhadap guling dan daya dukung, $F_o = 1,3$
 - Faktor keamanan terhadap resiko hancurnya dinding geser, $F_c = 1,3$
 - Faktor keamanan terhadap geser terhadap bidang vertikal, $F_v = 1,3$
 - Faktor keamanan terhadap ekstrusi tanah diantara dinding geser, $F_e = 1,3$
- Maksimum penurunan total yang disyaratkan adalah 10cm.

2. Tentukan Nilai Propertis Stabilisasi Tipe Kolom

Prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Nilai kuat tekan (q_{dm}) 28 (dua puluh delapan) hari rencana antara 300 – 1000 kPa untuk kondisi tanah lunak. Sebagai contoh, nilai kuat tekan diasumsikan 862 kPa.
- Tentukan nilai f_c menggunakan estimasi t hari antara pekerjaan pencampuran dan aplikasi 75% tinggi timbunan rencana. Sebagai contoh, t hari adalah 60 (enam puluh) hari, yang berarti tinggi timbunan tidak melebihi 4 m setelah 60 (enam puluh) hari dari pekerjaan pencampuran, kira-kira 1 bulan setelah uji kuat tekan 28 (dua puluh delapan) hari terverifikasi. Pada umumnya timbunan tidak akan dihampar sampai nilai uji kuat tekan 28 (dua puluh delapan) hari terverifikasi.

$$f_c = 0,187 \ln(t) + 0,375 = 0,817 \ln(60) + 0,375 = 1,14$$

- c. Tentukan S_{dm} . $f_r = 0,8$ digunakan dalam contoh ini, maka:

$$S_{dm} = \frac{1}{2} f_r f_c q_{dm,spec} = \frac{1}{2} 0,8 \times 1,14 \times 862 = 393 \text{ kPa}$$

- d. Tentukan f_v . Sebagai contoh nilai V_{dm} adalah 0,5, dan perkiraan nilai p_{dm} adalah 80%. Berdasarkan nilai tersebut, f_v setara 0,83 untuk analisis kestabilan lereng (setara dengan faktor keamanan lereng 1,5) dan f_v setara 0,95 untuk jenis keruntuhan lainnya (setara dengan faktor keamanan 1,3) yang melibatkan kekuatan tanah yang distabilisasi.
- e. Tentukan modulus elastisitas dari stabilisasi tipe kolom, E_{dm} , untuk contoh ini menggunakan metode pencampuran basah (*wet mixing*).

$$E_{dm} = 300 q_{dm,spec} = 300 \times 862 = 258.600 \text{ kPa}$$

3. Menetapkan geometri stabilisasi tipe kolom

3.1 Tata Letak dan Definisi Umum

Kolom-kolom isolasi digunakan pada bagian tengah timbunan untuk mengontrol penurunan, dan dinding menerus yang terdiri atas kolom-kolom yang tumpang tindih yang berorientasi tegak lurus terhadap garis tengah timbunan digunakan di bawah lereng sisi timbunan untuk meningkatkan stabilitas geser. Nilai tipikal e/d untuk panel geser di bawah lereng sisi timbunan berkisar sekitar 0,2 hingga 0,35 dan nilai minimum 0,3 dipilih untuk contoh ini.

3.2 Menetapkan Rasio Perbaikan Bagian Tengah Timbunan

Tetapkan nilai percobaan dari $a_{s,pusat}$:

$$a_{s,pusat} \geq F_{cc} \frac{q}{2 S_{dm} f_v} = 1,3 \frac{5,2 \times 19,6 + 31,4}{2 \times 393 \times 0,95} = 0,194$$

Nilai tipikal dari $a_{s,pusat}$ stabilisasi tipe kolom untuk menopang timbunan berkisar antara 0,2 – 0,4. Maka nilai $a_{s,pusat} = 0,2$ dipilih.

3.3 Memperkirakan Rasio Perbaikan Dinding Geser

Estimasikan nilai minimum dari $a_{s,geser}$. Nilai tipikal dari $a_{s,shear}$ stabilisasi tipe kolom untuk menopang timbunan berkisar lebih besar atau sama dengan $a_{s,geser}$, yaitu antara 0,2 – 0,4. Untuk contoh ini $a_{s,geser} = 0,25$. Hitung nilai β :

$$\beta = 2 \arccos \left(1 - \frac{e}{d} \right) = 2 \arccos(1 - 0,3) = 1,59 \text{ radians}$$

Hitung nilai c/S_{geser} :

$$\frac{c}{S_{geser}} = \frac{2 a_{geser} \sin(\beta)}{\pi - \alpha + \sin(\beta)} = \frac{2 \times 0,25 \sin(1,59)}{\pi - 1,59 + \sin(1,59)} = 0,196$$

Nilai-nilai percobaan maksimal dan minimal dari parameter geometrik yang dibutuhkan untuk perancangan dapat dirangkum pada Tabel 10.

Tabel 10 – Contoh gambaran parameter geometrik

Parameter	Nilai Minimum	Nilai Maksimum
H _{dm}	7,6 m	
B	7,8 m	
D	0,9 m	1,8 m

Parameter	Nilai Minimum	Nilai Maksimum
e/d	0,3	
$s_{pusat} - d$		2,4 m
$s_{geser} - d$		3,7 m
$a_{s,pusat}$	0,2	
$a_{s,geser}$	0,25	
c/s_{geser}	0,196	

3.4 Mengevaluasi Penurunan

Evaluasi nilai M_{comp} menggunakan persamaan yang ditunjukkan pada perhitungan berikut.

$$M_{comp} = 0,2 \times 258.600 + (1 - 0,2) \times 1.198 = 52.690 \text{ kPa}$$

M_{soil} diasumsikan sama dengan 1.198 kPa untuk contoh ini dan dapat ditentukan dari uji odometer.

Perhitungan ΔH_{dm} didasarkan pada persamaan yang ditunjukkan dari perhitungan di bawah ini.

$$\Delta H_{dm} = H_{dm} \frac{q}{M_{comp}} = 7,6 \frac{5,2 \times 19,6 + 10}{52.690} = 0,016143 \text{ m} = 1,6 \text{ cm}$$

Sebagai contoh, diasumsikan bahwa pemampatan pasir padat adalah sangat kecil dan terjadi pada saat timbunan dibangun. Oleh karena itu, penurunan yang diestimasikan akan terjadi sama dengan 1,6 cm yang memampat dari zona campuran dalam, yang kurang dari penurunan yang diizinkan yaitu 10 cm.

Nilai H_{timb} 2x lebih besar dari jarak bersih maksimum yang diizinkan antara kolom yang berdekatan di bawah bagian tengah timbunan (yaitu $H_{timb} > 2(s_{pusat} - d) = 2(2,4) = 4,8 \text{ m}$). Karena itu, ada sedikit risiko ekspresi permukaan dari perbedaan penurunan yang terjadi di dasar timbunan dibangun, dan ketentuan khusus untuk platform transfer beban di dasar timbunan tidak diperlukan. Namun demikian, jika terdapat material buangan hasil pekerjaan pencampuran tanah-semen di lapangan, maka material tersebut dapat digunakan sebagai platform dasar timbunan untuk mengurangi risiko terjadinya perbedaan penurunan.

Pada sisi-sisi lereng timbunan, terdapat potensi perbedaan penurunan dari timbunan. Hal ini dikarenakan H_{timb} kurang dari 2x lebar bersih maksimum yang diizinkan antara dinding geser (yaitu $H_{timb} < 2(s_{geser} - d) = 2(3,7) = 7,4 \text{ m}$). Oleh karena itu, dibutuhkan pertimbangan dengan kontrol penurunan untuk mengukur penggunaan DMM untuk membuat platform transfer beban yang kuat di dasar timbunan bawah lereng.

3.5 Mengevaluasi Stabilitas

Pada langkah ini, geometri ditentukan pada tahap 4 untuk dianalisis stabilitasnya.

3.5.1 Stabilitas Lereng

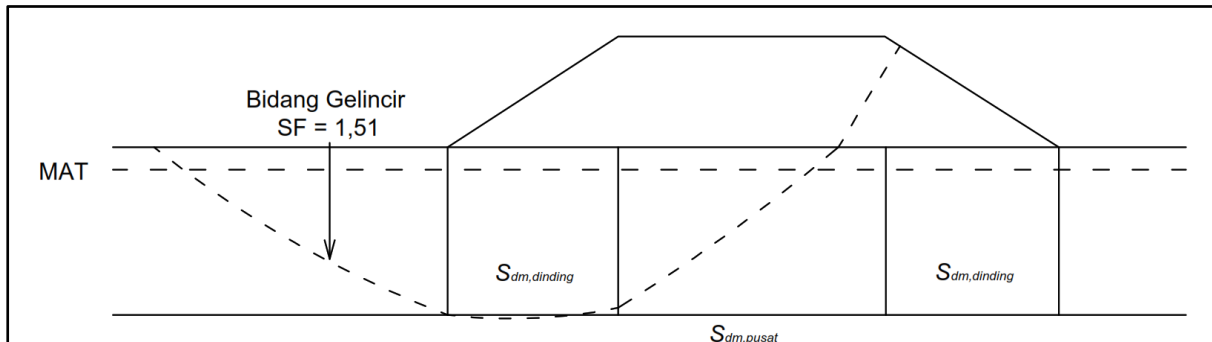
Analisis performa stabilitas lereng adalah untuk menentukan bidang runtuh kritis dan nilai faktor keamanannya. Tentukan kuat geser komposisi dari zona campuran dalam di bawah timbunan seperti perhitungan berikut ini.

$$S_{dm,dinding} = f_v a_{s,geser} S_{dm} = 0,83 \times 0,25 \times 393 = 81,54 \text{ kPa}$$

f_v adalah faktor kekuatan variabilitas yang ditentukan di tahap 3 sesuai dengan nilai perancangan $F_s = 1,5$.

$$\begin{aligned} S_{dm,pusat} &= \max\{a_{s,pusat} (71,82 \text{ kPa}) + (1 - a_{s,pusat}) S_{tanah}, S_{tanah}\} \\ &= \max\{0,2 (71,82) + (1 - 0,2) 16,8, 16,8\} = 27,804 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Hasil analisis stabilitas lereng diilustrasikan dalam Gambar 10.



Gambar 10 – Ilustrasi hasil stabilitas lereng

Sesuai dengan rekomendasi pada subbab 5.6, metode *Spencer* sebaiknya digunakan untuk analisis stabilitas lereng. Sebagai contoh, hanya kegagalan permukaan yang melewati atau di bawah zona dinding geser campuran dalam yang dianalisis. Stabilitas dari kemiringan lereng timbunan 1,5H:1V akan ditingkatkan dengan perkuatan geosintetik atau metode stabilisasi lainnya yang dapat memberikan nilai parameter kekuatan $\phi = 35$ derajat dan $c = 0$. Lereng yang relatif curam dipilih untuk contoh ini untuk menggambarkan kemampuan pencampuran dalam untuk menstabilkan timbunan yang tinggi pada lempung lunak.

Nilai minimum F_s untuk keruntuhan permukaan kritis pada dan di bawah dinding geser campuran dalam adalah 1,51, nilai tersebut melampaui nilai kriteria desain 1,5. Permukaan keruntuhan kritis untuk contoh ini, yang ditunjukkan pada Gambar 10, melewati sebagian dan sebagian lagi di bawah zona dinding geser campuran dalam. Untuk kasus timbunan yang sama pada lempung lunak asli sebelum pencampuran dalam, faktor keamanan minimum yang dihasilkan adalah 0,77.

3.5.2 Kombinasi Guling dan Daya Dukung

- Pilih nilai perancangan F_o . Contoh, $F_o = 1,3$.
- Tentukan nilai-nilai parameter kuat geser yang termobilisasi untuk setiap lapisan dan di dalam zona dinding geser campuran dalam menggunakan Persamaan 17 dan Persamaan 18 untuk parameter kekuatan total serta Persamaan 19 dan Persamaan 20 untuk parameter kekuatan efektif.

Kuat geser dari lempung lunak dikarakteristikan dari tegangan total seperti yang ditunjukkan perhitungan berikut ini.

$$c_m = \frac{c}{F_o} = \frac{16,8}{1,3} = 12,92 \text{ kPa}$$

$$\phi_m = \arctan \frac{\tan \phi}{F_o} = \arctan \frac{\tan 0^\circ}{1,3} = 0^\circ$$

Kuat geser campuran dari pusat zona campuran stabilisasi tanah-semen tipe kolom dikarakteristikan tegangan total yang ditunjukkan berikut ini.

$$c_m = \frac{c}{F_o} = \frac{s_{dm,pusat}}{F_o} = \frac{27,804}{1,3} = 21,4 \text{ kPa}$$

Kuat geser dari material timbunan dikarakteristikan oleh tegangan efektif.

$$c'_m = \frac{c'}{F_o} = \frac{0}{1,3} = 0 \text{ kPa}$$

$$\phi'_m = \arctan \frac{\tan \phi'}{F_o} = \arctan \frac{\tan 35^\circ}{1,3} = 28,3^\circ$$

Kuat geser dari lapisan pasir padat dikarakteristikan oleh tegangan efektif.

$$\phi'_m = \arctan \frac{\tan \phi'}{F_o} = \arctan \frac{\tan 37^\circ}{1,3} = 30,1^\circ$$

- c. Hitung nilai dari P_a , h_a , V_a , P_p , h_p , dan V_p menggunakan nilai-nilai parameter kekuatan yang termobilisasi

Hitung gaya aktif yang didasarkan parameter kuat geser termobilisasi dari material timbunan dan pusat zona campuran dalam.

$$K_{a,timb} = \tan^2(45^\circ - \frac{\phi'_m}{2}) = \tan^2(45^\circ - \frac{28,3^\circ}{2}) = 0,357$$

$$P_{a,timb} = 0,5 K_{a,timb} \gamma H_{timb}^2 = 0,5 \times 0,357 \times 19,6 \times 5,2^2 = 94,6 \text{ kPa}$$

$$h_{a,timb} = H_{dm} + \frac{H_{timb}}{3} = 7,6 + \frac{5,2}{3} = 9,3 \text{ m}$$

$$P_{a,qs} = K_{a,timb} q_s H_{timb} = 0,357 \times 10 \times 5,2 = 19,5 \text{ kN/m}$$

$$h_{a,qs} = H_{dm} + \frac{H_{timb}}{2} = 7,6 + \frac{5,2}{2} = 10,2 \text{ m}$$

$$P_{a,clay,rect} = H_{dm}(q_s + \gamma H_{timb} - 2c_m) = 7,6(10 + 19,6 \times 5,2 - 2 \times 21,4) = 525,3 \text{ kN/m}$$

$$h_{a,clay,rect} = \frac{H_{dm}}{2} = \frac{7,6}{2} = 3,8 \text{ m}$$

$$P_{a,clay,tri} = 0,5 \gamma H_{dm}^2 = 0,5 \times 14,1 \times 7,6^2 = 407,2 \text{ kN/m}$$

$$h_{a,clay,tri} = \frac{H_{dm}}{3} = \frac{7,6}{3} = 2,53 \text{ m}$$

$$P_a = P_{a,emb} + P_{a,qs} + P_{a,clay,rect} + P_{a,clay,tri} = 94,6 + 19,5 + 525,3 + 407,2 = 1.046,6 \text{ kN/m}$$

$$h_a = \frac{H_{a,emb} P_{a,emb} + H_{a,qs} P_{a,qs} + H_{a,clay,rect} P_{a,clay,rect} + H_{a,clay,tri} P_{a,clay,tri}}{P_a}$$

$$= \frac{9,3 \times 94,6 + 10,2 \times 19,5 + 3,8 \times 407,2 + 2,53 \times 407,2}{1.046,6} = 3,5 \text{ m}$$

Hitung gaya geser samping (aktif dan pasif) didasarkan parameter kekuatan termobilisasi dari lapisan lempung lunak.

$$V_a = c_m H_{dm} = 12,92 \times 7,6 = 98,2 \text{ kN/m}$$

$$V_p = c_m H_{dm} = 12,92 \times 7,6 = 98,2 \text{ kN/m}$$

Hitung gaya pasif didasarkan parameter kekuatan termobilisasi dari lapisan lempung lunak.

$$P_{p, \text{clay, rect}} = H_{dm}(2c_m) = 7,6(2 \times 12,92) = 196,4 \text{ kN/m}$$

$$H_{p, \text{clay, rect}} = \frac{H_{dm}}{2} = \frac{7,6}{2} = 3,8 \text{ m}$$

$$P_{a, \text{clay, tri}} = 0,5 \gamma H_{dm}^2 = 0,5 \times 14,1 \times 7,6^2 = 407,21 \text{ kN/m}$$

$$H_{p, \text{clay, tri}} = \frac{H_{dm}}{3} = \frac{7,6}{3} = 2,53 \text{ m}$$

$$P_p = P_{p, \text{clay, rect}} + P_{p, \text{clay, tri}} = 196,4 + 407,2 = 603,61 \text{ kN/m}$$

$$h_p = \frac{H_{p, \text{clay, rect}} P_{p, \text{clay, rect}} + H_{p, \text{clay, tri}} P_{p, \text{clay, tri}}}{P_p} = \frac{3,8 \times 196,4 + 2,53 \times 407,21}{603,61} = 2,94 \text{ m}$$

d. Tentukan gaya resultan, N. Tentukan W dan lokasi x_w .

$$W_{timb} = 0,5 B \gamma H_{timb} = 0,5 \times 7,8 \times 19,6 \times 5,2 = 397,5 \text{ kN/m}$$

$$x_{timb} = \frac{2B}{3} = \frac{2 \times 7,8}{3} = 5,2 \text{ m}$$

$$W_{dm} = B \gamma H_{dm} = 7,8 \times 14,1 \times 7,6 = 835,8 \text{ kN/m}$$

$$x_{dm} = \frac{B}{2} = \frac{7,8}{2} = 3,9 \text{ m}$$

$$W = W_{timb} + W_{dm} = 397,5 + 835,8 = 1.233 \text{ kN/m}$$

$$x_w = \frac{x_{timb} W_{timb} + x_{dm} W_{dm}}{W} = \frac{5,2 \times 397,5 + 3,9 \times 835,8}{1.233} = 4,3 \text{ m}$$

$$N = W + V_a - V_p = 1.233 + 98,2 - 98,2 = 1.233 \text{ kN/m}$$

Kekuatan geser tanah di bawah dasar zona campuran dalam dikarakteristikan oleh tegangan normal efektif. Hitung N' menggunakan Persamaan 22. Tentukan nilai U dan x_u .

$$U = 6,7 \gamma_w B = 6,7 \times 9,81 \times 7,8 = 512,7 \text{ kN/m}$$

$$x_u = \frac{B}{2} = \frac{7,8}{2} = 3,9 \text{ m}$$

$$N' = N - U = 1.233 - 512,7 = 720,3 \text{ kN/m}$$

e. Tentukan nilai x_N .

$$x_N = \frac{P_p h_p + W x_W + V_a B - P_a h_a}{N} = \frac{603,61 \times 2,94 + 1.233 \times 4,3 + 98,2 \times 7,8 - 1.046,6 \times 3,5}{1.233} = 3,4 \text{ m}$$

$$x_{N'} = \frac{N x_N - U x_U}{N'} = \frac{1.233 \times 3,4 - 512,7 \times 3,9}{720,3} = 3 \text{ m}$$

f. Tegangan geser tanah di bawah dinding campuran dalam dikarakteristikan oleh tegangan normal efektif. Hitung q_{toe} .

$$\frac{B}{3} \leq x_{N'} \leq \frac{B}{2}, \frac{7,8}{3} \leq 3 \leq \frac{7,8}{2}, 2,6 \leq 3 \leq 3,9$$

$$q_{kaki} = \frac{N'}{B} \left(\frac{3}{a_{s,geser}} - \frac{6x_{N'}}{Ba_{s,geser}} + 1 \right) \text{ untuk } \frac{B}{3} \leq x_{N'} \leq \frac{B}{2} = \frac{720,3}{7,8} \left(\frac{3}{0,2} - \frac{6 \times 3}{7,8 \times 0,2} + 1 \right) = 412 \text{ kPa}$$

g. Kekuatan geser tanah di bawah dinding campuran dalam dikarakteristikan oleh tegangan normal efektif. Hitung q_{izin} .

$$q_{izin} = c'_m N'_c + \frac{1}{2} \gamma_{a,bawah} b_{min} N'_\gamma + \gamma_{a,atas} D N'_q$$

$$q_{izin} = 0 \times 30,4 + \frac{1}{2} \times 10,6 \times 0,82 \times 22,7 + 137,7 \times 18,6 = 2660 \text{ kPa}$$

Nilai $q_{toe} = 412 \text{ kPa}$, kurang dari nilai $q_{all} = 2.660 \text{ kPa}$. Oleh karena itu, desainnya cukup untuk mencegah kombinasi guling dan kegagalan daya dukung dinding geser campuran dalam.

3.5.3 Pengecekan Terhadap Resiko Hancurnya Dinding Geser Campuran Dalam Di Luar

Dasar dari perbaikan tanah-semen berdiri diatas lapisan tanah yang keras. Oleh karena itu, desain diperiksa terhadap resiko hancurnya dasar dinding geser campuran dalam.

Karena faktor keamanan, $F_o = F_c$, gunakan nilai tengah dari langkah 6.2 pada langkah sekarang, di mana $q_{kaki} = 412 \text{ kPa}$ dan $\phi'_m = 30,1$ derajat.

Kekuatan geser tanah di bawah tanah campuran dalam ditandai dengan tekanan normal efektif. Hitung σ'_h saat diam, seperti yang ditunjukkan berikut ini.

$$K_0 = 1 - \sin \phi'_m = 1 - \sin(30,1^\circ) = 0,499$$

$$\sigma'_v = (14,1)0,9 + (14,1 - 9,81)6,9 = 42,3 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_h = K_0 \sigma'_v = 0,499 \times 42,3 = 21,1 \text{ kPa}$$

Tentukan q_{all} didasarkan Persamaan 30.

$$q_{all} = \frac{2s_{dm}f_v}{F_c} + \sigma'_h = \frac{2 \times 393 \times 0,95}{1,3} + 21,1 = 595,5 \text{ kPa}$$

f_v adalah faktor kemampuan variabilitas sesuai dengan nilai perancangan $F_c = 1,3$.

Nilai $q_{toe} = 412 \text{ kPa}$, kurang dari nilai $q_{all} = 595,5 \text{ kPa}$. Oleh karena itu, desain cukup untuk mencegah resiko hancurnya dasar dinding geser campuran dalam.

3.5.4 Geser Pada Bidang Vertikal Dinding Geser Campuran Dalam

- a. Tentukan nilai V_p , N , dan x_N sesuai dengan nilai F_v . Karena Faktor keamanan, $F_o = F_c$.

$$V_p = 98,2 \text{ kN/m}$$

$$N = 1.233 \text{ kN/m}$$

$$X_N = 3 \text{ m}$$

- b. Hitung τ_v pada kondisi bidang vertikal kritis zona campuran dalam.

$$\frac{B}{3} \leq x_N \leq \frac{B}{2}, \frac{7,8}{3} \leq 3,4 \leq \frac{7,8}{2}, 2,6 \leq 3,4 \leq 3,9$$

$$\tau_v = \frac{V_p}{H_{dm}} + \frac{3N}{4H_{dm}} \left(1 - \frac{2x_N}{B}\right) = \frac{98,2}{7,6} + \frac{3 \times 1.233}{4 \times 7,6} \left(1 - \frac{2 \times 3}{7,6}\right) = 38,5 \text{ kPa}$$

- c. Hitung $\tau_{v,all}$ zona campuran dalam menggunakan Persamaan 34.

$$\tau_{v,all} = \frac{f_v(c/S_{shear})S_{dm}}{F_v} = \frac{0,95(0,196)393}{1,3} = 56,3 \text{ kPa}$$

f_v adalah faktor kemampuan variabilitas sesuai dengan nilai perancangan $F_c = 1,3$.

Nilai $\tau_v = 814 \text{ lb/ft}^2$ (39 kPa), kurang dari $\tau_{v,all} = 1.180 \text{ lb/ft}^2$ (56 kPa). Oleh karena itu, desain cukup untuk mencegah keruntuhan geser bidang vertikal dinding geser campuran dalam.

3.5.5 Ekstrusi Tanah Antara Dinding Geser Campuran Dalam

Periksa $s_{shear} - d$ untuk memastikan bahwa ekstrusi lempung lunak tidak dapat terjadi di antara dinding geser. Sebagai contoh, prosedur yang digunakan diilustrasikan menggunakan ekstrusi seluruh ketebalan lempung lunak.

$$s_{geser} - d \leq \frac{1}{\left[\frac{1,3(\sigma_{va} - \sigma_{vp})}{2c_e} - 2 \right] \frac{1}{B} - \frac{1}{H_e}}$$

$$s_{geser} - d \leq \frac{1}{\left[\frac{1,3(165,2 - 53,8)}{2 \times 16,8} - 2 \right] \frac{1}{7,8} - \frac{1}{7,6}} = 6 \text{ m}$$

Oleh karena itu, jarak bersih maksimum yang diperbolehkan sebesar 3,7 m antara kolom dinding geser yang dibuat pada langkah 3 cukup untuk mencegah ekstrusi lempung lunak karena kurang dari nilai 6,0 m.

3.6 Persiapkan Rencana dan Spesifikasi

Menggabungkan parameter desain akhir, termasuk $q_{dm, spek} = 862 \text{ kPa}$ dan parameter geometrik yang tercantum dalam Tabel 10, dalam rencana dan spesifikasi proyek.