

**EVALUASI PENGGANTIAN TANAH DAN INJEKSI
GROUTING SEMEN TERHADAP PENURUNAN TANAH**



Disusun oleh :

ARIEF ANDRIANSYAH

1925011008

**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2021**

Evaluasi Penggantian Tanah Dan Injeksi *Grouting* Semen Terhadap Penurunan Tanah

Arief Andriansyah

Magister Teknik Sipil Universitas Lampung

Email : ariefandriansyah20@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang proses stabilisasi tanah pada proyek Jalan Tol Trans Sumatera Bakauheni – Terbanggi Besar paket 2 Sidomulyo – Kotabaru. Pekerjaan penggantian (*replacement*) tanah dilakukan di sepanjang ± 24 km (setempat) sepanjang jalan tol. Pada tahap analisa daya dukung tanah asli, dilakukan pengujian *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* dan Tes Sondir guna mengetahui kedalaman tanah keras. Kemudian dilakukan penggantian (*replacement*) tanah dengan material sesuai spesifikasi. Penimbunan material tanah dilakukan secara bertahap dengan dilakukan pengujian *Sandcone* di setiap *layer*. Kemudian dilakukan penelitian dengan pengambilan *sample* tanah timbunan pada 68 titik lokasi. Setelah dilakukan pengambilan *sample*, selanjutnya dilakukan analisa di laboratorium mengenai daya dukung pada *sample* tanah tersebut. Parameter daya dukung yang dianalisa sebanyak 4 jenis, yaitu berat jenis tanah (*Specific Gravity*), kadar air (*Water Content*), analisa agregat (*Sieve Analysis*), dan batas konsistensi (*Atterberg Limit*). Mengacu pada parameter tanah, dilakukan pengklasifikasian jenis tanah sesuai AASHTO M145 & *Casagrande Soil Classification System*. Terdapat lokasi yang mengalami penurunan pasca penggantian (*replacement*) tanah, yaitu STA 52+000. Sehingga perlu dilakukan tindakan stabilisasi tambahan yaitu injeksi *grouting* semen. Peneliti menganalisis penurunan (*settlement*) tanah menggunakan metode interpretasi, hasilnya menunjukkan bahwa pelaksanaan penggantian (*replacement*) tanah dan injeksi *grouting* semen dapat memperkecil angka penurunan (*settlement*) tanah dari sebesar 15,07 cm menjadi sebesar 0,93 cm.

Kata Kunci : daya dukung tanah, penggantian tanah, injeksi *grouting* semen.

Evaluation of Soil Replacement and Cement Grout Injection in Soil Settlement

Arief Andriansyah

Master of Civil Engineering, University of Lampung

Email : ariefandriansyah20@gmail.com

ABSTRACT

This paper discusses the process of original soil stabilization in Trans Sumatra Bakauheni - Terbanggi Besar Toll Road Project Package 2 Sidomulyo - Kotabaru. The soil replacement process was conducted at approximately 24 kilometers along the toll's main road. At the original soil bearing capacity analysis stage were by performing a Dynamic Cone Penetrometer (DCP) and Sondir test to analyze of the deep of hard soil. A soil replacement was carried out to replace the original soil with soil that has appropriate specification. the piling up process was conducted in stages, which has Sandcone in such of layer. Research did about the landfill sample was retaken and collected at 68 points. The stockpile soil samples collection was then followed by the analysis which was conducted in the laboratory to find the soil bearing capacity. There are 4 types of bearing capacity parameters analyzed, namely specific gravity, water content, aggregate analysis (Sieve Analysis), and consistency limit (Atterberg Limit). Refer to it, then there was classification of soil types according to AASHTO M145 & Casagrande Soil Classification System. A point which has settlement after soil replacement is STA 52+000. So, there need to additional soil stabilization, that is cement grout injection. Reseacher analyzed the soil settlement by interpretation method. Results showed that soil replacement and cement grout injection could decrease a soil settlement about 15,07 cm to became 0,93 cm.

Keywords: *soil bearing capacity, soil replacement, cement grout injection*

**EVALUASI PENGGANTIAN TANAH DAN INJEKSI GROUTING SEMEN
TERHADAP PENURUNAN TANAH**

Oleh

Arief Andriansyah

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

MAGISTER TEKNIK

Pada

Program Magister Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2021

Judul Tesis

: **EVALUASI PENGGANTIAN TANAH DAN INJEKSI GROUTING SEMEN TERHADAP PENURUNAN TANAH**

Nama Mahasiswa

: **Arief Andriansyah**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **1925011008**

Program Studi

: **Magister Teknik Sipil**

Fakultas

: **Teknik**



Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Lusmeilia".

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Dyah".

Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A.
NIP 19650510 199303 2 008

Dr. Dyah Indriana Kusumastuti, S.t., M.Sc.
NIP 19691219 199512 2 001

Ketua Program Magister Teknik Sipil

A large, stylized handwritten signature in black ink, appearing to read "Endro P. Wahono".

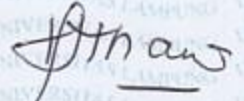
Dr. Endro P. Wahono, S.T., M.Sc.
NIP 19700129 199512 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

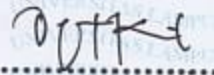
Ketua

: **Dr.Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A**



Sekretaris

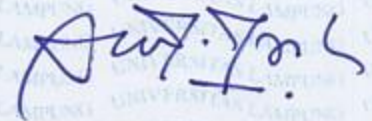
: **Dr. Dyah Indriana Kusumastuti, S.T., M.Sc**



Penguji

Bukan Pembimbing

: **Andius Dasa Putra, S.T., M.T., Ph.D**



Penguji

Bukan Pembimbing

: **Dr. Endro P. Wahono, S.T., M.Sc**



Dekan Fakultas Teknik

Prof. Dr. H. Suharno, M. Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng

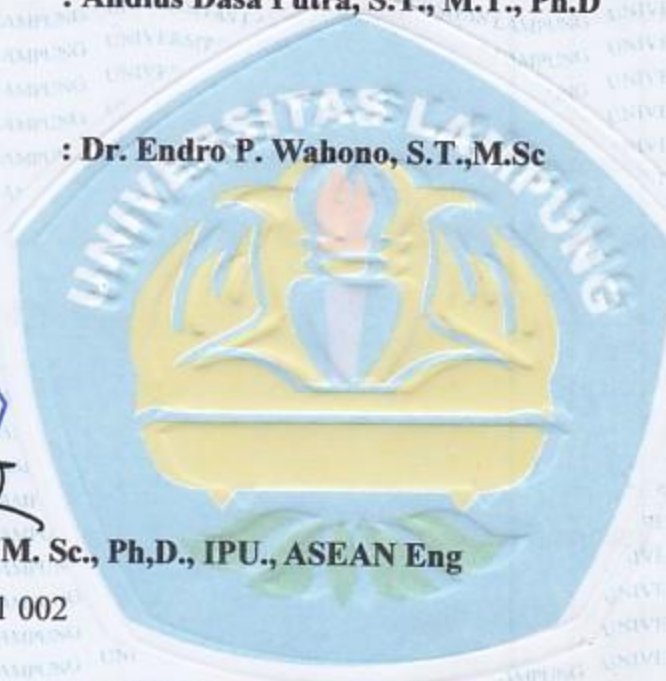
NP 19620717 198703 1 002

2. Dekan Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.

NP 19710415 199803 1 005

4. Tanggal Lulus Ujian Tesis : 9 Juli 2021



SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

1. Tesis dengan judul “EVALUASI PENGGANTIAN TANAH DAN INJEKSI GROUTING SEMEN TERHADAP PENURUNAN TANAH” adalah karya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai dengan etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau disebut plagiarism.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan sanggup dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 9 Juli 2021

Pembuat Pernyataan



Arief Andriansyah

NPM. 1925011008

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Arief Andriansyah lahir di kota Tegal, pada tanggal 20 Agustus 1991, merupakan anak ke dua dari dua bersaudara pasangan Bapak Arofah dan Ibu Siti Muzakiyah, penulis memiliki satu orang saudara perempuan bernama Mia Amalina.

Penulis menempuh Pendidikan dasar di SDN Pekauman 8 Tegal yang diselesaikan pada tahun 2003 Pendidikan tingkat pertama ditempuh di SLTP N 7 Kota Tegal yang diselesaikan pada tahun 2006. Kemudian melanjutkan Pendidikan tingkat atas di SMA N 1 Kota Tegal. Penulis adalah mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro pada tahun 2009 dan lulus pada tahun 2014. Penulis melanjutkan studi di Magister Teknik Sipil Universitas Lampung tahun 2019.

Penulis bekerja sebagai karyawan perusahaan kontraktor di bidang konstruksi semenjak tahun 2016 sampai dengan sekarang.

SANWACANA

Alhamdulillah rabbil aalamiin, segala puji bagi Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga tesis ini dapat diselesaikan. Tesis dengan judul “Evaluasi Penggantian Tanah Dan Injeksi Grouting Semen Terhadap Penurunan Tanah” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof Dr. Karomani, M. Si, Selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T., Selaku Direktur Pasca Sarjana Universitas Lampung;
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Suharno, M. Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
4. Bapak Dr. Endro P. Wahono, S.T.,M.Sc Selaku Ketua Program Magister Teknik Sipil Universitas Lampung
5. Ibu Dr.Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A. Selaku Dosen Pembimbing I atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran, kritik dan semangat dalam proses penyelesaian tesis ini;
6. Ibu Dr. Dyah Indriana Kusumastuti, S.T., M.Sc. Selaku Dosen Pembimbing II atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran, kritik dan semangat dalam proses penyelesaian tesis ini;
7. Bapak Andius Dasa Putra, S.T., M.T., Ph.D. Selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan masukan dan saran-saran untuk kesempurnaan tesis ini;

8. Bapak Dr. Endro P. Wahono, S.T.,M.Sc. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan dan saran-saran untuk kesempurnaan tesis ini;
9. Bapak dan Ibu Dosen Magister Teknik Sipil Universitas Lampung, atas ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama perkuliahan;
10. Ayah dan Ibu Gelar ini kupersembahkan untuk kalian, terima kasih sebesar-besarnya atas didikan, doa, dan dukungannya selama ini.
11. Istri (Farida Nur Amalia) saya yang telah memberikan doa dan dukungan selama ini.
12. Ridwan M Abduh selaku Site Commercial and Risk Manager (SCARM) Proyek Jalan Tol Trans Sumatera Ruas Bakauheni – Terbanggi Besar paket 2 Sidomulyo – Kotabaru PT. Waskita Karya (Persero) Tbk, yang selalu memberikan dukungan.
13. Teman – teman tim Proyek PT. Waskita Karya (Persero) Tbk, yang telah membantu saya dalam menjalani proses pembelajaran selama masa perkuliahan.
14. Dan semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Bandar Lampung, 9 Juli 2021

Arief Andriansyah

DAFTAR ISI

BAB I	PENDAHULUAN	1
	1.1. Latar Belakang	1
	1.2. Rumusan Masalah	5
	1.3. Tujuan Penelitian	5
	1.4. Batasan Masalah	6
	1.5. Manfaat Penelitian	7
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	8
	2.1. Daya Dukung Tanah	8
	2.2. Stabilisasi Tanah	16
BAB III	METODE PENELITIAN	21
	3.1. Diagram Alir Penelitian	21
	3.2. Tahap-Tahap Penelitian	22
	3.2.1. Kajian Pustaka	22
	3.2.2. Pengumpulan Data Primer dan Sekunder	22
	3.2.3. Pengolahan Data	24
	3.2.4. Hasil & Analisis Data	25
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	26
	4.1. Lokasi Penelitian	26
	4.2. Data Penelitian	27
	4.2.1. Data Primer	27
	4.2.2. Data Sekunder	30

4.3. Penggantian (Replacement) Tanah.....	37
4.3.1. Penggalian / Pembuangan Material Tanah Jelek.....	37
4.3.2. Pemadatan Dasar Timbunan.....	38
4.3.3. Penimbunan Material Tanah.....	39
4.3.4. Uji Pemadatan Penggilasan (<i>Proof Rolling</i>).....	39
4.4. Daya Dukung Tanah Pasca Penggantian (<i>Replacement</i>) Tanah.....	40
4.5. Penurunan (<i>Settlement</i>) Tanah di STA 52+000.....	42
4.6. Evaluasi Tindakan Stabilisasi Tanah di STA 52+000.....	49
4.6.1. Kondisi Penurunan (<i>Settlement</i>) Tanpa Stabilisasi Tanah	49
4.6.2. Kondisi Penurunan (<i>Settlement</i>) dengan Penggantian Tanah	51
4.6.3. Kondisi Penurunan (<i>Settlement</i>) dengan Penggantian Tanah & Injeksi Grouting Semen.....	52
4.7. Rangkuman Pembahasan.....	53
BAB V PENUTUP.....	56
5.1. Kesimpulan.....	56
5.2. Saran.....	57

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Lapisan Perkerasan Jalan.....	1
Gambar 2.1	Kondisi Perkerasan Jalan Berdasarkan Daya Dukung <i>Subgrade</i>	9
Gambar 2.2	Contoh Hasil Percobaan CBR	12
Gambar 4.1	Proyek Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera	26
Gambar 4.2	Plan Profile Proyek JTTS Ruas Bakauheni – Terbanggi Besar paket 2 Sidomulyo – Kotabaru	27
Gambar 4.3	Hasil Pengujian <i>Standar Proctor Test</i> (SPT)	28
Gambar 4.4	Hasil Pengujian <i>Cone Penetrometer Test</i> (CPT).....	29
Gambar 4.5	Hasil Pengujian Laboratorium Karakteristik Tanah.....	30
Gambar 4.6	Hasil Pengujian <i>Dynamic Cone Penetrometer</i> (DCP).....	31
Gambar 4.7	Hasil Pengujian <i>Sandcone</i>	32
Gambar 4.8	Kedalaman Tanah Stabil/Keras di Lokasi Pengujian	36
Gambar 4.9	Penggalian Material Tanah Jelek.....	38
Gambar 4.10	Pemadatan Dasar Timbunan.....	38
Gambar 4.11	Proses Penghamparan dan Pemadatan Material Tanah Timbunan.....	39
Gambar 4.12	Uji <i>Proofrooling</i> Lapisan <i>Subgrade</i>	40
Gambar 4.13	Tipikal Penampang Melintang Jalur Utama.....	40
Gambar 4.14	Hasil <i>Sandcone</i> STA 52+000	43
Gambar 4.15	Grafik Standart Penetration Test (SPT) STA 52+000.....	43
Gambar 4.16	Data <i>Soil Properties</i> STA 52+000	44
Gambar 4.17	Penampang Melintang STA 52+000.....	45
Gambar 4.18	Elevasi Muka Air Banjir STA 52+000.....	45
Gambar 4.19	Dokumentasi Aliran Sungai di STA 52+000.....	45

Gambar 4.20 Peletakan Mesin Pompa Injeksi.....	47
Gambar 4.21 Teknik Grouting Bertingkat Injeksi Atas	48
Gambar 4.22 Area Cakupan Injeksi Grouting Semen.....	49
Gambar 4.23 Skema Penurunan (Settlement) Tanah di STA 52+000 Tanpa Tindakan Stabilisasi	50
Gambar 4.24 Skema Penurunan (Settlement) Tanah di STA 52+000 dengan Tindakan Penggantian (Replacement) Tanah	51
Gambar 4.25 Skema Penurunan (Settlement) Tanah di STA 52+000 dengan Tindakan Penggantian (Replacement) Tanah & Injeksi	53

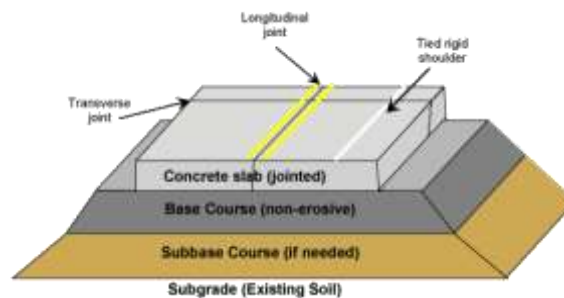
DAFTAR TABEL

TABEL 2.1	Beban Standar Percobaan CBR.....	11
TABEL 2.2	Koefisien Nilai Permeabilitas Tanah.....	13
TABEL 2.3	Angka Pori Sesuai Tipe Tanah.....	14
TABEL 2.4	Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah	16
TABEL 4.1	Rekapitulasi Hasil Pengujian Dynamic Cone Penetrometer (DCP) dan Cone Penetrometer Test (CPT)	33
TABEL 4.2	Perhitungan Pembebanan Jalan Tol	49
TABEL 4.3	Parameter Tanah Tanpa Tindakan Stabilisasi	50
TABEL 4.4	Parameter Tanah dengan Tindakan Penggantian (Replacement) Tanah.....	51
TABEL 4.5	Parameter Tanah dengan Tindakan Penggantian (Replacement) Tanah & Injeksi Grouting Semen.....	52

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini marak dilaksanakan pembangunan jalan tol. Jalan tol ini dibebani berbagai macam jenis kendaraan. Perkerasan jalan tol terdiri dari berbagai macam lapisan, yaitu lapisan subgrade (tanah), lapisan base course, lapisan lean concrete, dan kemudian paling atas adalah lapisan concrete slab (perkerasan kaku).



Gambar 1.1 Lapisan Perkerasan Jalan

Setiap lapisan dalam perkerasan jalan harus berperan dengan baik dalam menyalurkan beban transportasi dan beban lainnya yang berada di atas permukaan jalan tersebut. Jika salah satu lapisan perkerasan tidak melaksanakan tugasnya dengan baik, maka akan terjadi kerusakan. Banyak kerusakan jalan yang sudah diperbaiki tapi terjadi kerusakan serupa di beberapa waktu kemudian. Hal tersebut terjadi karena beberapa hal, yaitu :

1. Beban transportasi yang melalui jalan tersebut melampaui beban rencana.

2. Bahan penyusun lapis perkerasan tidak sesuai spesifikasi yang direncanakan.
3. Kondisi tanah yang tidak memenuhi standar sebagai lapisan tanah subgrade.

Banyak perbaikan lapisan jalan hanya terbatas pada lapisan permukaan atau lapisan base / subbase. Sedangkan kerusakan juga dapat disebabkan oleh kondisi tanah subgrade yang kurang baik, sehingga kerusakan jalan tersebut terjadi secara berulang-ulang. Perbaikan tanah terbagi atas dua kelompok, yakni perbaikan tanah secara kimiawi dan perbaikan tanah secara fisik (Darwis, 2017). Kedua cara tersebut memiliki kesamaan dalam tujuan dan sasaran yang ingin dicapai, namun banyak perbedaan dalam metode maupun bahan pencampur (*additive*) yang dipergunakan.

Teknik perbaikan tanah memiliki prinsip dasar bahwa kapasitas tanah yang kurang baik (dalam berbagai aspek) dapat diperbaiki melalui peningkatan sifat-sifat (*properties*) dari tanah, sesuai dengan tujuan perbaikan yang diinginkan (Darwis, 2017). Penelitian dilakukan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera Bakauheni - Terbanggi Besar Paket 2 Sidomulyo – Kotabaru. Penelitian membahas tentang kondisi tanah asli di area jalan tol sepanjang ± 24 km (setempat – setempat) dari total panjang proyek ± 40 km yang memiliki nilai daya dukung rendah atau angka California Bearing Ratio (CBR) kurang dari 6% beserta tindakan penanganannya, yaitu penggantian (*replacement*) tanah.

Guna memperbaiki daya dukung tanah yang rendah, maka dilakukan pekerjaan penggantian (*replacement*) tanah dengan material tanah sesuai spesifikasi kontrak oleh Pihak PT. Waskita Karya (persero), Tbk. Sesuai Modul 4 Diklat Spesifikasi Umum Pekerjaan Jalan dan Jembatan Bab Spesifikasi Tanah

Kementerian PUPR tahun 2016, beberapa syarat yang harus dipenuhi dalam pekerjaan tanah sebagai :

1. Tanah subgrade memiliki minimal nilai *California Bearing Ratio* (CBR) sebesar 6%.
2. Semua material hingga kedalaman 30 cm di bawah elevasi *subgrade* harus memiliki kepadatan minimal 100 % dari kepadatan kering maksimum sesuai dengan AASHTO T 99 pada rentang kadar air - 3% sampai dengan +1% dari kadar air optimum di laboratorium.
3. Material ini harus bebas dari bahan-bahan organik dalam jumlah yang merusak, seperti daun, rumput, akar dan kotoran.
4. Tanah timbunan yang terpilih sebaiknya bukan termasuk tanah berplastisitas tinggi, yang diklasifikasikan sebagai A-7-6 menurut AASHTO M145 atau CH menurut "*Unified atau Casagrande Soil Classification System*".
5. Jika tanah berplastisitas tinggi tidak dapat dihindarkan penggunaannya, bahan tersebut hanya diperbolehkan pada bagian dasar pada timbunan atau pada penimbunan kembali yang tidak membutuhkan daya dukung atau gaya geser yang tinggi. Jenis tanah ini tidak untuk digunakan pada *subgrade*, kecuali memenuhi angka minimum CBR yang disyaratkan.
6. Tanah sangat expansive yang memiliki nilai aktif minimal 1.25, atau derajat pengembangan yang diklasifikasikan oleh AASHTO T258 sebagai "very high" atau "extra high", harus tidak diperbolehkan menjadi sebagai bahan timbunan. Nilai aktif adalah perbandingan antara Indeks Plastisitas / PI - (AASHTO T 90) dan persentase kadar lempung (AASHTO T 89). Borrow material pilihan yang digunakan di lokasi material ini disebutkan atau seperti

yang disetujui tertulis oleh Konsultan Pengawas, material ini harus tersusun dari bahan tanah atau batu, jika diuji sesuai dengan AASHTO T193, memiliki CBR paling sedikit 15% (lima belas persen) sesuai 4 hari perendaman jika dipadatkan sampai 100% kepadatan kering maksimum sesuai dengan AASHTO T99.

7. Lapisan yang berada minimal 20 cm di bawah tanah dasar harus memiliki kepadatan mencapai 95% terhadap kepadatan kering maksimum sesuai ketentuan AASHTO T 99. Bagi semua jenis tanah, kecuali material urugan batu yang mengandung minimal 10% material oversize yang tertahan pada ayakan 19,0 mm (3/4 inci), kepadatan kering maksimum yang didapat harus terkoreksi sesuai jumlah kandungan material oversize tersebut. Penghamparan dan pemadatan lapisan berikutnya dilarang untuk dilaksanakan sebelum lapisan sebelumnya selesai dipadatkan secara sempurna dan disetujui oleh Konsultan Pengawas.

Selain memenuhi spesifikasi, ternyata terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi daya dukung tanah, salah satunya yaitu Muka Air Tanah (MAT) Karena terdapat salah satu lokasi yang telah mengalami penggantian tanah tetapi tetap mengalami penurunan (*settlement*). Hal tersebut diindikasikan terjadi karena Muka Air Tanah (MAT) yang cukup tinggi, sehingga perlu dilakukan tindakan perbaikan tanah tambahan, yaitu injeksi grouting semen. Hal tersebut bertujuan menciptakan material tanah yang bersifat lebih kedap air sehingga meminimalkan proses infiltrasi tanah.

1.2. Rumusan Masalah

Beberapa parameter tanah antara lain persentase Kadar Air (*Water Content*), Berat Jenis (*Specific Gravity*), Analisa Saringan (*Percent Lose No. 200*) serta Batas Konsistensi (*Atterberg Limit*) yang terdiri dari Batas Cair (*Liquid Limit*), Batas Plastis (*Plastic Limit*) dan Indeks Plastis (*Plasticity Index*), dan nilai permabilitas akan disajikan guna menunjukkan daya dukung tanah dalam menahan beban transportasi dan beban konstruksi. Tahapan proses penggantian (*replacement*) tanah dan dampaknya terhadap lingkungan merupakan hal yang harus dicermati. Tindakan *replacement* tanah tentunya bukan merupakan hal yang mudah karena akan terkait biaya dan waktu. Selain itu, guna menanggulangi penurunan (*settlement*) tanah, juga akan dijelaskan mengenai tindakan perbaikan tanah injeksi *grouting* semen.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian secara mendalam dilakukan pada tahap stabilisasi tanah beserta hasil pengujian daya dukung tanah pada Proyek JTTS Ruas Bakauheni – Terbanggi Besar paket 2 Sidomulyo - Kotabaru. Hal tersebut dilaksanakan dengan tujuan sebagai berikut :

1. Menganalisis dan mengevaluasi daya dukung tanah asli sesuai spesifikasi jalan tol yang berlaku. Hal ini dimaksudkan bagi para engineer agar lebih meninjau kondisi tanah asli sebelum mengambil tindakan perbaikan.
2. Menjelaskan prosedur dan tahapan pekerjaan penggantian (*replacement*) tanah secara lebih mendetil agar menghasilkan lapisan tanah (*subgrade*) dan timbunan tanah yang lebih baik.

3. Mengevaluasi kondisi permukaan jalan tol pasca penggantian (*replacement*) tanah.
4. Mengevaluasi angka penurunan yang terjadi di STA 52+000 sesuai tindakan stabilisasi tanah yang dilaksanakan.

1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini membahas mengenai permasalahan daya dukung lapisan tanah maka ditentukan beberapa poin yang menjadi pokok permasalahan yang akan dikaji. Batasan – batasan masalah yaitu sebagai berikut :

1. Parameter stabilitas tanah yang akan disajikan meliputi persentase Kadar Air (*Water Content*), Berat Jenis (*Spesific Gravity*), Analisa Saringan (*Percent Lose No. 200*) serta Batas Konsistensi (*Atterberg Limit*) yang terdiri dari Batas Cair (*Liquid Limit*), Batas Plastis (*Plastic Limit*) dan Indeks Plastis (*Plasticity Index*), angka *California Bearing Ratio* (CBR), Data Sondir, Data Standart Penetration Test (SPT), serta Nilai Permeabilitas tanah.
2. Pengujian yang dilakukan untuk memperoleh nilai daya dukung tanah asli yaitu pengujian *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) dan Tes Sondir.
3. Pengujian untuk mendapatkan nilai daya dukung tanah timbunan adalah Tes *Sandcone* dan *Standard Penetration Test* (SPT).
4. Pengambilan sampel borlog dilakukan pada 68 titik.
5. Penjelasan mengenai stabilisasi tanah yaitu berupa prosedur dan tahapan pelaksanaan penggantian (*replacement*) tanah dan injeksi *grouting* semen.

1.5. Manfaat Penelitian

Melihat semakin gencarnya program pemerintah dalam meningkatkan pembangunan jalan-jalan tol, menandakan mata pencaharian di bidang konstruksi semakin luas terbuka. Dibutuhkan banyak *engineer* yang memiliki kompetensi yang cukup handal dalam melaksanakan pembangunan dan pengelolaan jalan – jalan tol. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan pengetahuan tentang standart spesifikasi tanah subgrade pada jalan tol. Semakin bertambahnya pengetahuan para engineer dan kalangan penerus bangsa tentang apa saja parameter yang dapat mempengaruhi stabilisasi tanah pada perkerasan jalan, membuat mereka dapat mengambil tindakan perbaikan terhadap kerusakan jalan dengan langkah tepat dan efektif. Penelitian ini juga mengajarkan kepada para stakeholder proyek konstruksi untuk menaati peraturan perundang-undangan pemerintah mengenai aspek lingkungan dan mengaplikasikan hal tersebut dalam mengawal jalannya proyek konstruksi di negara ini.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

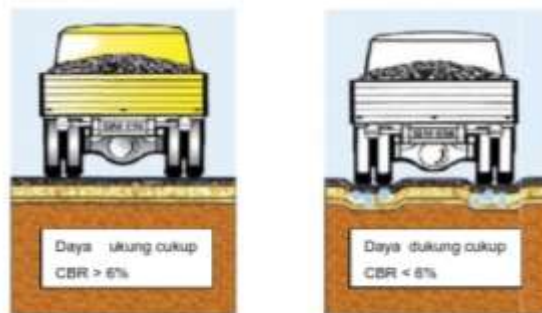
2.1. Daya Dukung Tanah

Pengkajian teori tidak akan terlepas dari kajian pustaka atau studi pustaka karena teori secara nyata dapat diperoleh melalui studi atau kajian kepustakaan. Nazir (2005: 93) menyatakan bahwa studi kepustakaan, selain dengan mencari sumber data sekunder yang akan mendukung penelitian, juga dibutuhkan untuk mengetahui hingga tahap mana ilmu yang berhubungan dengan penelitian telah berkembang, hingga tahap mana terdapat kesimpulan dan generalisasi yang pernah dibuat sehingga situasi yang dibutuhkan diperoleh.

Menurut Hardiyatmo (2002), dalam pandangan teknik sipil, tanah merupakan himpunan mineral, bahan organik, dan endapan yang relative lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Sedangkan daya dukung tanah ialah kemampuan tanah untuk memikul tekanan dan / atau melawan penurunan yang disebabkan oleh pembebanan, yaitu tahanan geser yang disebar oleh tanah disepanjang bidang gesernya (Darwis, 2017).

Struktur perkerasan jalan sangat tergantung dari daya dukung subgrade yang kondisinya dibentuk oleh lapisan tanah dasar di bawahnya (lapisan tanah/batuan setempat). Lapisan tanah dasar yang berupa tanah problematik (meliputi : tanah lunak, ekspansif dan gambut) akan mempengaruhi *overall-stability* terhadap kemantapan perkerasan jalan yang berada di atasnya. Tanah

ekspansif ialah tanah dengan sensitifitas tinggi terhadap air, sehingga mengakibatkan tanah akan mudah menyusut dan mengembang. (Pradipta dan Kusuma, 2020). Menurut Hermawan dan Syahril (2016), kerusakan akibat tanah ekspansif diantaranya retak-retak, pengangkatan tanah atau cembungan pada perkerasan jalan, penurunan perkerasan jalan, longsor, dll



Gambar 2.1. Kondisi Perkerasan Jalan Berdasarkan Daya Dukung Subgrade
Sumber : Modul Diklat Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Parameter untuk mengetahui daya dukung tanah dapat diperoleh dengan hasil material *test* sebagai berikut :

1. Kadar Air (*Water Content*)

Kadar air yaitu perbandingan antara berat air dengan berat kering atau bahan padat contoh tanah, yang biasanya dinyatakan dalam persen.

Sumber : Pedoman Penyelidikan dan Pengujian Tanah Dasar untuk Pekerjaan jalan No. 003 - 03/BM/2006

2. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis tanah yaitu perbandingan antara berat tanah di udara (yang mempunyai volume tertentu) pada suhu tertentu terhadap berat air destilasi di udara yang mempunyai volume sama dengan volume tanah. Pengujian berat jenis digunakan untuk menghubungkan volume dengan berat tanahnya. Berat isi tanah basah (diperlukan pada pemecahan persoalan tegangan, penurunan

dan stabilitas) dapat dihitung apabila berat jenis, derajat kejenuhan dan rasio rongga diketahui.

Sumber : Pedoman Penyelidikan dan Pengujian Tanah Dasar untuk Pekerjaan jalan No. 003 - 03/BM/2006

3. Analisa Saringan (*Percent Lose No. 200*)

Analisa saringan adalah pengujian untuk menentukan distribusi butir individu dalam contoh tanah, yang disajikan dalam persen berat contoh. Hasil pengujian berguna untuk klasifikasi tanah.

Sumber : Pedoman Penyelidikan dan Pengujian Tanah Dasar untuk Pekerjaan jalan No. 003 - 03/BM/2006

4. Batas Konsistensi (*Atterberg Limit*)

Pada percobaan batas Atterberg diperoleh suatu gambaran secara umum sifat-sifat tanah yang bersangkutan. Tanah dengan batas cair tinggi pada umumnya mempunyai sifat teknik yang buruk, yaitu sulit dalam pemadatan, kekuatan/daya dukungnya rendah, dan pemampatannya (*compressibility*) tinggi.

Batas *Atterberg* terdiri dari :

1. Batas cair (*liquid limit*) yaitu kadar air ketika konsistensi tanah berubah dari cair menjadi plastis (Hardiyatmo, 2002).
2. Batas plastis (*plastic limit*) yaitu kadar air ketika konsistensi tanah berubah dari plastis menjadi semi padat (Hardiyatmo, 2002).
3. Indeks plastis (*plasticity index*) adalah selisih antara batas plastis dan batas cair, dimana tanah tersebut dalam keadaan plastis (Hardiyatmo, 2002).

5. Angka California Bearing Ratio (CBR)

Angka California Bearing Ratio CBR yaitu perbandingan antara beban percobaan (*test load*) dengan beban standar (*standard load*) dan disajikan dalam persentase (Soedarmo & Purnomo, 1993).

$$\text{C.B.R.} = \frac{P_T}{P_S} \times 100\%$$

Keterangan :

P_T : beban percobaan (*test load*)

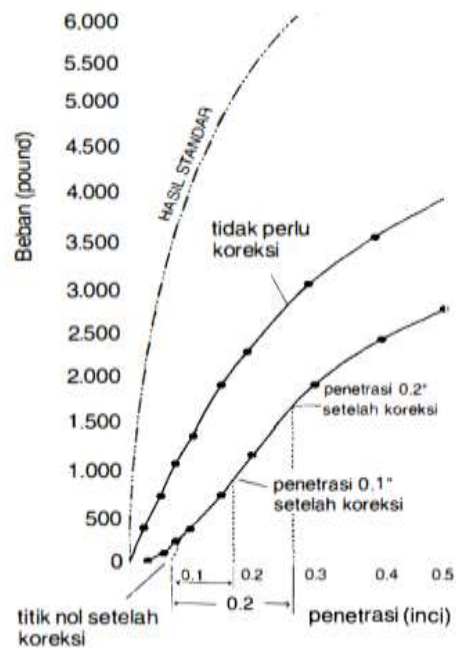
P_S : beban standar (*standard load*)

Angka California Bearing Ratio (CBR) menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berbentuk batu pecah dengan nilai CBR sebesar 100%.

Tabel 2.1. Beban Standar Percobaan CBR

Penetrasi Plunyer (in)	Beban Standar (lb)	Penetrasi Plunyer (mm)	Beban Standar (kg)	Beban Standar (kN)
0,10	3.000	2,50	1.370	13,50
0,20	4.500	5,00	2.055	20,00
0,30	5.700	7,50	2.630	25,50
0,40	6.900	10,00	3.180	31,00
0,50	7.800	12,50	3.600	35,00

Sumber: Mekanika Tanah 1



Gambar 2.2 Contoh Hasil Percobaan CBR
Sumber: Mekanika Tanah 1

Pengujian CBR terdiri dari 2 jenis di antaranya:

1. Pengujian CBR Laboratorium

Bertujuan untuk menentukan nilai daya dukung tanah dalam kepadatan maksimum.

CBR laboratorium dapat dibedakan atas 2 jenis :

- a. CBR laboratorium rendaman (*Soaked laboratory / Soaked design CBR*).
- b. CBR laboratorium tanpa rendaman (*Unsoaked laboratory / Unsoaked Design CBR*).

2. Pengujian CBR Lapangan

Hal ini bertujuan untuk mendapatkan angka CBR asli lapangan sesuai kondisi tanah saat itu. Biasanya pengujian CBR lapangan digunakan dalam perencanaan tebal lapis perkerasan di mana lapisan tanah dasar

sudah tidak akan dipadatkan lagi. Pemeriksaan dilakukan ketika kadar air tanah tinggi (musim penghujan) atau saat kondisi terburuk lainnya.

Menurut Sriharyani, L dkk (2016) langkah cepat untuk mendapatkan nilai CBR dalam melaksanakan evaluasi kekuatan tanah dasar dan lapis pondasi yaitu dengan melakukan pengujian *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP). Pengujian DCP dapat dijadikan sebagai cara alternatif apabila pengujian CBR lapangan sulit dilakukan.

6. Koefisien Permeabilitas

Menurut Maro'ah (2011), permeabilitas tanah yaitu kemampuan tanah untuk meloloskan air. Struktur, tekstur, serta unsur organik lainnya ikut berperan dalam menaikkan laju permeabilitas tanah. Sedangkan infiltrasi adalah proses meresapnya air dari permukaan tanah melalui pori-pori tanah.

Koefisien permeabilitas tergantung pada ukuran rata-rata pori yang dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikel, bentuk partikel dan struktur tanah. Secara garis besar, ukuran partikel semakin kecil, maka semakin kecil pula ukuran pori, dan juga semakin rendah koefisien permeabilitas.

Tabel 2.2 Koefisien Nilai Permeabilitas Tanah

Jenis Tanah	K (cm/s)	Keterangan
Kerikil	$>10^{-1}$	Permeabilitas tinggi
Kerikil halus / pasir	$10^{-1} - 10^{-3}$	Permeabilitas sedang
Pasir sangat halus Pasir lunak Lanau tidak padat	$10^{-3} - 10^{-5}$	Permeabilitas rendah
Lanau padat Lanau lempung Lanau tidak murni	$10^{-5} - 10^{-7}$	Pemreabilitas sangat rendah
Lempung	$<10^{-7}$	Tidak tembus air

Suimber : Syaifuddin, dkk

Menurut Syaifuddin, dkk, konduktivitas hidrolis atau koefisien permeabilitas (k) adalah nilai koefisien yang menunjukkan kemampuan media berpori meloloskan air sepanjang media yang permeable melalui rongga pori yang besarnya dipengaruhi oleh porositas dan sifat fisik air.

7. Angka Pori (e)

Angka pori (e) diartikan sebagai perbandingan antara volume rongga (V_v) dengan volume butiran (V_s), biasanya dinyatakan dalam decimal (Hardiyatmo, 2002).

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Keterangan :

V_v : Volume rongga

V_s : Volume butiran

Tabel 2.3 Angka Pori Sesuai Tipe Tanah

Type Tanah	Angka Pori (e)	Kadar air dalam keadaan jenuh	Berat volume kering	
			Lb/ft ³	kN/m ³
Pasir lepas dengan butiran seragam (loose uniform sand)	0,8	30	92	14,5
Pasir padat dengan butiran seragam (dense uniform sand)	0,45	16	115	18
Pasir berlanau yang lepas dengan butiran bersudut (dense angular grained silty sand)	0,65	25	102	16
Pasir berlanau yang padat dengan butiran bersudut (dense angular grained silty sand)	0,4	15	121	19
Lempung kaku (stiff clay)	0,6	21	108	17
Lempung lembek (soft clay)	0,9 – 1,4	30 – 50	73–93	11,5–14,5
Tanah (loess)	0,9	25	86	13,5
Lempung organik lembek (soft organic clay)	2,5 – 3,2	90 – 120	38–51	6–8
Glacial till	0,3	10	134	21

Sumber : Das, Jilid 1 hal. 38

8. Berat Volume Tanah

Berat volume lembab atau basah (γ_b) diartikan sebagai perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume total tanah (V) (Hardiyatmo, 2002).

$$\gamma_b = \frac{W}{V} = \frac{w_c \cdot G_s \cdot \gamma_w}{1 + e} = \frac{G_s \cdot \gamma_w (w_c + 1)}{1 + e}$$

Keterangan :

W : Berat total (termasuk air dan udara)

V : Volume total tanah

W_c : Kadar air (%)

G_s : Berat Spesific

γ_w : Berat volume air = 9.81 kN/m³

e : Angka pori

9. Modulus Young (E)

Nilai Modulus Young menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari Triaxial Test. Nilai modulus elastisitas (E_s) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir.

Tabel 2.4 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (sumber : Bowles,1997)

Macam Tanah	E (Kg/cm ²)
LEMPUNG	
Sangat Lunak	3 – 30
Lunak	20 – 40
Sedang	45 – 90
Berpasir	300 – 425
PASIR	
Berlanau	50 – 200
Tidak Padat	100 – 250
Padat	500 – 1000
PASIR & KERIKIL	
Padat	800 – 2000
Tidak Padat	500 – 1400
LANAU	20 – 200
LOESS	150 – 600
CADAS	1400 - 14000

2.2. Stabilisasi Tanah

Dalam merencanakan suatu konstruksi, sifat tanah yang ada di lapangan tidak selalu sesuai dengan harapan, sehingga apabila terdapat tanah yang sifatnya jelek maka tanah tersebut harus distabilisasikan untuk memenuhi syarat teknis yang diperlukan.

Semua tindakan mengubah sifat-sifat asli dari pada tanah, untuk disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi adalah merupakan tindakan yang dapat

dikategorikan sebagai upaya stabilisasi tanah. Secara khusus pengertian stabilisasi tanah dapat dilihat dari berbagai definisi yang dikemukakan beberapa ahli, salah satunya Menurut Panguriseng (2001), stabilisasi tanah merupakan metode yang diperlukan untuk meningkatkan kemampuan daya dukung suatu lapisan tanah, dengan cara memberikan perlakuan khusus terhadap lapisan tanah tersebut. Tujuan stabilisasi tanah adalah minimal untuk memenuhi satu dari empat sasaran , yaitu :

1. Memperbaiki (meningkatkan) daya dukung tanah
2. Memperbaiki (memperkecil) penurunan lapisan tanah
3. Memperbaiki (menurunkan) permeabilitas dan swelling potensial tanah
4. Menjaga (mempertahankan) potensi tanah yang ada (existing strength)

Dari 4 sasaran, sangat jarang dapat dicapai secara bersamaan, akan tetapi harus selalu diupayakan agar dapat tercapai parameter yang diinginkan secara bersamaan. Secara garis besar, tindakan stabilisasi tanah jika ditinjau dari segi mekanisme global , maka klasifikasi stabilisasi tanah dapat dibedakan atas dua macam, yaitu :

1. Perbaikan tanah (*soil improvement*), yaitu jenis stabilisasi tanah yang bertujuan untuk memperbaiki dan/atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan menggunakan bahan additive (kimiawi), pengeringan tanah (*dewatering*), pencampuran tanah (*re-gradation*) atau melalui penyaluran energi statis/dinamis ke dalam lapisan tanah.
2. Perkuatan tanah (*soil reinforcement*) ; yaitu suatu jenis stabilisasi tanah yang bertujuan untuk mempertahankan dan/atau memperbaiki kinerja dan

kemampuan tanah sesuai syarat teknis yang diperlukan dengan memberikan sisipan material ke dalam lapisan tanah.

Dalam makalah ini, peneliti akan lebih memfokuskan kepada tindakan stabilisasi tanah dengan metode perbaikan tanah. Perbaikan tanah (*soil improvement*), relevan dengan stabilisasi kimia dan stabilisasi fisik. Apabila mengacu pada klasifikasi dari stabilisasi tanah sesuai yang telah diuraikan sebelumnya, maka ruang lingkup dari perbaikan tanah meliputi dua klasifikasi, yaitu :

1. Perbaikan tanah dengan metode kimiawi ; yang selanjutnya dapat dibedakan dalam beberapa sudut tinjauan, antara lain :
 - a. Ditinjau dari jenis bahan pencampur (*additive*) ; perbaikan tanah dengan metode kimiawi, dibedakan atas :
 - 1) Perbaikan tanah dengan bubuk (*powder stabilization*).
 - 2) Perbaikan tanah dengan larutan (*solvent stabilization*).
 - b. Ditinjau dari jenis material bubuk (*powder*) ; perbaikan tanah dengan metode kimiawi, dibedakan atas :
 - 1) Perbaikan tanah dengan semen (*soil cement*).
 - 2) Perbaikan tanah dengan kapur (*soil lime*).
 - 3) Perbaikan tanah dengan abu (*soil ash*).
 - c. Ditinjau dari cara pencampuran ; perbaikan tanah dengan metode kimiawi, dibedakan atas :
 - 1) Perbaikan tanah dengan metode pengadukan (*mixing method*).
 - 2) Perbaikan tanah dengan metode penyuntikan (*grouting method*).

2. Perbaiki tanah dengan metode fisik ; yang bila ditinjau dari aspek metode pelaksanaannya dapat dibedakan dalam beberapa jenis, antara lain :
 - a. Pemadatan tanah (*compaction*),
 - b. Konsolidasi tanah (*consolidation or preloading*),
 - c. Pengeringan tanah (*dewatering*),
 - d. Penggantian tanah (*replacement*),
 - e. Peretakan partikel tanah (*permeation resin*), dan lain-lain.

Dalam merekayasa konstruksi bangunan sipil, tidak jarang ditemukan lapisan tanah asli (*subgrade*) berdaya dukung rendah (*low strength*), hal tersebut sangat berpengaruh terhadap tahapan rancang-bangun konstruksi, baik dalam tahap perencanaan (*design*), tahap pelaksanaan (*perform*), maupun tahap operasional dan pemeliharaan (*Operational and Maintenance*). Jenis lapisan tanah berdaya dukung rendah di suatu tempat, sangat dipengaruhi oleh minerologi tanah, di mana proses pelapukan material batuan (unorganik) dan/atau material organik menjadi proses awal. Hasil pelapukan material organik maupun anorganik yang membentuk lapisan tanah pada suatu tempat merupakan material lapukan yang terangkut dari tempat lain (*transported soil*), dan/atau material lapukan setempat (*residual soil*).

Teknik penggantian lapisan tanah lunak yang kompresibel diganti dengan tanah yang bergradasi baik, dilakukan penggantian sebagian atau seluruhnya sesuai ketinggian tanah lunak. Penggunaan tanah pengganti di bawah pondasi dangkal dapat mengurangi penurunan konsolidasi (*Consolidation Settlement*), sekaligus dapat meningkatkan daya dukung tanah (Muchlisin & Roestaman : 2019). Mobilisasi penekanan juga dilakukan selama proses

penggantian sehingga lambat laun akan mempercepat proses penurunan. Tujuan dari metode ini adalah:

1. Bila penurunan tanah disebabkan oleh peristiwa konsolidasi tanah, maka dapat dilakukan dengan pengantian tanah pada jalur bangunan
2. Mempertimbangkan kekuatan tanah sebagai daya dukung.

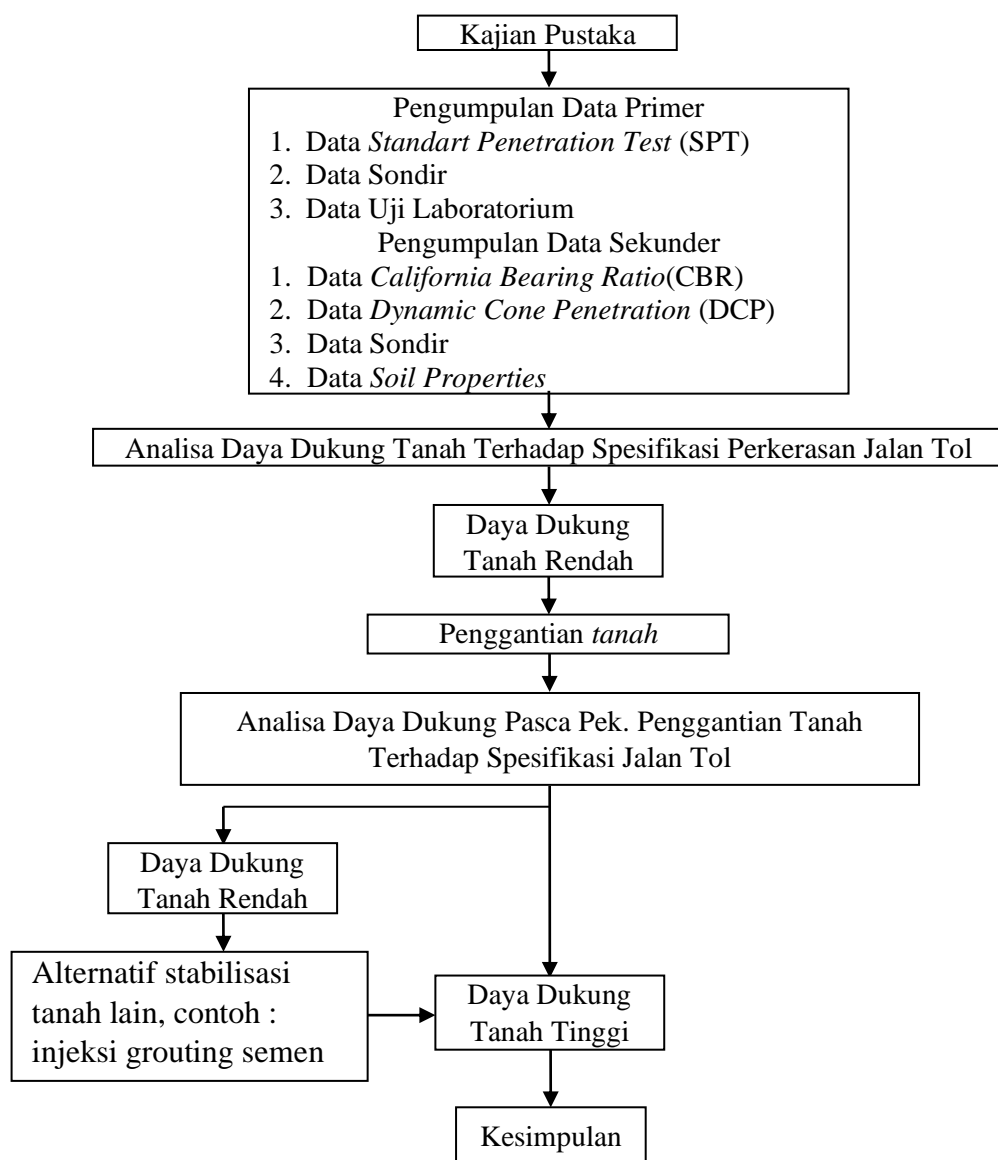
Metode penggantian (*replacement*) tanah dibagi menjadi 2 jenis:, yaitu :

1. Metode pemindahan tanah dengan bantuan alat berat, dan tanah diganti dengan material tanah yang sesuai dengan spesifikasi rencana bangunan.
2. Metode Underfill, dengan dilakukannya proses desakan pada jalur /area letak tanah lunak yang kemudian ditimbun bagian atasnya dengan bahan material tanah sesuai spesifikasi dan dilanjutkan dengan metode relative, dengan menyiapkan parit disepanjang sisi timbunan untuk memudahkan pemindahan lumpur yang terdesak.

Muchlisin (2019) menganalisis bahwa metode perbaikan tanah berupa pergantian tanah (*soil replacement*) dapat meningkatkan nilai *safety factor* dan memperkuat tanah dasar timbunan. *Safety factor* merupakan perbandingan antara kekuatan geser yang dimobilisasi tanah dengan kekuatan geser yang ditimbulkan masa tanah.

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2. Tahap-Tahap Penelitian

3.2.1. Kajian Pustaka

Beberapa poin yang menjadi data primer dan sekunder akan dikaji berdasarkan teori-teori terdahulu. Poin – poin tersebut yaitu :

- Angka California Bearing Ratio (CBR)
- Kadar Air (Water Content)
- Berat Jenis (*Spesific Gravity*)
- Analisa Saringan (*Percent Lose No. 200*)
- Batas Konsistensi (Atterberg Limit)
- Penggantian (*replacement*) Tanah
- Nilai Permeabilitas tanah
- Angka Pori (e)
- γ saturated dan γ unsaturated
- Modulus Young (E)
- Position Ratio (v)
- Kohesi (Cu)
- Sudut Geser (ϕ)
- Konsistensi / Relative Density

3.2.2. Pengumpulan Data Primer dan Sekunder

Dalam penelitian ini, pengumpulan data dilakukan dengan pengambilan data-data pendukung *properties* tanah yang dilakukan di Proyek Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera paket 2 Sidomulyo –

Kotabaru. Data tersebut menjelaskan variabel – variabel yang akan berpengaruh terhadap daya dukung tanah. Data – data tersebut yaitu :

1. Angka *California Bearing Ratio* (CBR) tanah eksisting
2. *Cone Penetration Test* (CPT) atau Sondir tanah eksisting

Cone Penetration Test atau CPT atau lebih dikenal Tes Sondir adalah suatu uji dengan melakukan penetrasi konus ke dalam tanah yang bertujuan untuk mengetahui daya dukung tanah tiap kedalaman tertentu berdasarkan parameter-parameter perlawanan tanah terhadap ujung konus dan hambatan akibat lekatan tanah dengan selubung konus. Test Sondir ini juga telah diatur dalam SNI 2827:2008 mengenai Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan Alat Sondir.

3. Data *Sandcone* tanah timbunan

Sand cone test adalah pemeriksaan kepadatan tanah di lapangan dengan menggunakan pasir Ottawa sebagai parameter kepadatan tanah yang mempunyai sifat kering, bersih, keras, tidak memiliki bahan pengikat sehingga dapat mengalir bebas. Pasir Ottawa yang digunakan adalah lolos saringan no.10 dan tertahan di saringan no.200. Metode ini hanya terbatas untuk lapisan atas tanah yaitu antara 10 – 15 cm.

4. Data properties tanah (*soil properties*)

Data properties di proyek ini menyediakan beberapa parameter daya dukung tanah, yaitu :

1. *Water Content* (kadar air)
2. *Spesific Gravity* (berat jenis (Gs))
3. Analisa Saringan (*Percent Loss No. 200*)

4. *Atterberg Limit* (PL, LL, PI)
5. *Data Standart Penetration Test* (SPT)

Data didapatkan melalui uji *Standart Penetration Test* (SPT) menggunakan bor mesin yang dilakukan pada kedalaman tiap 2 meter.

3.2.3. Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan secara berurutan dan terdiri dari beberapa tahapan, yaitu :

1. Penyajian data *California Bearing Ratio* (CBR) dan Sondir, kemudian menganalisis kesesuaian data tersebut dengan spesifikasi jalan tol.
2. Penjelasan mengenai tahapan-tahapan pekerjaan penggantian (*replacement*) tanah.
3. Penyajian data uji *Standart Penetration Test* (SPT)
4. Penyajian data properties tanah timbunan pasca penggantian (*replacement*) tanah berupa data *Water Content* (kadar air), *Specific Gravity* (Gs), *Percent Loss No. 200*, *Atterberg Limit*.
5. Menganalisis kesesuaian daya dukung tanah hasil penggantian (*replacement*) dengan spesifikasi jalan tol.
6. Evaluasi kerusakan pada permukaan jalan tol pasca penggantian (*replacement*) tanah.
7. Penjelasan mengenai tahapan perbaikan injeksi *grouting* semen.
8. Analisa parameter tanah dengan metode interpretasi.
9. Evaluasi penurunan (*settlement*) tanah sesuai tindakan stabilisasi.

3.2.4. Hasil dan Analisis Data

Setelah menyajikan daya dukung tanah sebelum dan sesudah dilaksanakannya penggantian (*replacement*) tanah, dapat dilihat bahwa nilai parameter daya dukung tanah mengalami perubahan ke arah yang lebih baik sehingga memenuhi standart sesuai spesifikasi tanah subgrade jalan tol. Prosedur penggantian (*replacement*) tanah akan dijelaskan secara detil sesuai kondisi di lapangan dari tahap pengambilan nilai CBR tanah asli hingga pelaksanaan uji proof rooling tanah subgrade. Pada lokasi penelitian yang mengalami penurunan (*settlement*), dilakukan analisa dengan metode interpretasi yang menjelaskan kondisi (*settlement*) pada tiga kondisi, yaitu kondisi tanpa stabilisasi, kondisi dengan stabilisasi penggantian (*replacement*) tanah, dan kondisi dengan stabilisasi penggantian (*replacement*) tanah dan injeksi *grouting* semen.

BAB V. PENUTUP

5.1. KESIMPULAN

Dalam bab sebelumnya, telah dibahas mengenai pokok permasalahan dan penanganan terhadap permasalahan tentang daya dukung tanah asli yang tidak memenuhi standart dan dilakukannya penggantian (*replacement*) tanah guna memperbaikinya. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Setelah dilakukan pengujian dengan uji Dynamic Cone Penetration (DCP) dan perhitungan angka California Bearing Ratio (CBR), data sample tanah sebanyak ± 24 km (setempat-setempat) dari ± 40 km panjang lahan tanah asli Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera Ruas Bakauheni – Terbanggi Besar paket 2 Sidomulyo - Kotabaru memiliki angka di bawah 6% yang terletak di antara STA 39+400 - 44+000, STA 42+225 - 45+150, STA 47+000 - 47+900, STA 52+000 – 55+250, STA 58+000 – 59+000, STA 59+475 – 62+150, STA 63+050 – 68+150, STA 70+550 – 73+875 sehingga belum memenuhi standart sebagai lapisan tanah (subgrade) jalan tol.
2. Penelitian ini telah menjelaskan bahwa penggantian (*replacement*) tanah terdiri dari beberapa tahap, yaitu terdiri dari penggalian material tanah dasar yang tidak memenuhi spesifikasi, pemadatan pada dasar timbunan, penimbunan secara bertahap, dan pemadatan penggilasan (*proof rolling*).

3. Setelah dilaksanakan penggantian (*replacement*) tanah, maka dilakukan pengujian *Standart Penetration Test* (CBR), Tes Sondir, dan karakteristik tanah (*soil properties*). Hasilnya menunjukkan bahwa lapisan tanah (*subgrade*) di jalan tol sudah memenuhi standart spesifikasi jalan tol. Tetapi setelah dilaksanakan evaluasi permukaan jalan tol, ternyata terjadi penurunan (*settlement*) tanah pada STA 52+000.
4. Berdasarkan analisa menggunakan metode interpretasi dengan membandingkan beberapa kondisi sesuai jenis stabilisasi tanah, menunjukkan bahwa dengan metode penggantian (*replacement*) tanah dan injeksi *grouting* semen mampu menurunkan angka penurunan (*settlement*) tanah di STA 52+000 dari yang pada awalnya sebesar 15,07 cm menjadi 0,93 cm.

5.2. SARAN

Dalam makalah ini masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki. Beberapa saran yang dapat disampaikan kepada para penulis makalah selanjutnya yaitu sebagai berikut :

1. Peralatan untuk berbagai uji tanah harus dipersiapkan dengan matang dan terkalibrasi dengan baik.
2. Perlu dilakukan analisa lebih mendalam mengenai faktor-faktor yang berkaitan dengan pelaksanaan penggantian (*replacement*) tanah.
3. Perlu melakukan evaluasi lebih mendetil mengenai dampak dari pelaksanaan penggantian (*replacement*) tanah terhadap kelestarian lingkungan sekitar.

4. Dengan persiapan tanah dasar yang baik dan sesuai prosedur, diharapkan pekerjaan lapisan perkerasan yang berada di atas tanah juga dilaksanakan secara optimal sehingga menghasilkan permukaan jalan tol yang berkualitas.
5. Perlu dilakukan perbandingan antar teknik stabilisasi tanah dari segi biaya, waktu, dan mutu sehingga bisa ditentukan teknik stabilisasi tanah mana yang paling efektif.
6. Perlu dilaksanakan uji geolistrik guna mengukur Muka Air Tanah (MAT) di lingkungan sekitar lokasi timbunan material tanah. Sehingga bisa dilakukan klasifikasi mengenai metode perbaikan tanah seperti apa yang paling efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. *Modul 3 Permasalahan Kerusakan Jalan dan Perencanaan-Penanganannya Sebagai Tanah Dasar*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 122 hlm
- _____. 2006. *Pedoman Penyelidikan dan Pengujian Tanah Dasar untuk Pekerjaan Jalan*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta. 40 hlm.
- _____. 2005. *Pedoman Umum Pengelolaan Lingkungan Hidup Bidang Jalan*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta. 54 hlm.
- Atmanto, Indrastono Dwi. 2013. *Pengenalan Stabilisasi Tanah dengan Jet Grouting*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang.
- Darwis, H. 2017. *Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah*. Pustaka AQ. Yogyakarta. 238 hlm.
- Dunston, Phillip S. 2017. *Proof Rolling of Foundation Soil and Prepared Subgrade During Construction*. Purdue University. West Lafayette.
- Hardiyatmo, Hary C. 2002. *Mekanika Tanah 1*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta. 398 hlm.
- Hermawan, Totok. dan Syahril. *Kajian Perbaikan Subgrade Dari Tanah Ekspansif Menggunakan Spent Catalyst Rcc 15 Dan Abu Batok Kelapa Sawit*. Jurusan Teknik Sipil Program Magister Terapan Politeknik Negeri Bandung. Bandung.

- Lengkong, Prisila I. L. dan Sartje, Monintja. dan Sompie, O.B.A. dan Sumampouw, J.E.R. 2013. Hubungan Nilai CBR Laboratorium dan DCP pada Tanah yang Dipadatkan pada Ruas Jalan Wori – Likupang Kabupaten Minahasa Utara. Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Maro'ah, Siti. 2011. Kajian laju Infiltrasi dan Permeabilitas Tanah pada Beberapa Model tanaman. Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret. Solo.
- Muchlisin, Taufik. dan Roestaman. 2019. *Analisis Stabilitas Timbunan dengan Geotextile Woven*. Jurnal Konstruksi Sekolah Tinggi Teknologi Garut. Garut.
- Panguriseng, Darwis. 2001. Stabilisasi Tanah. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas "45". Makasar.
- Pradipta, Rafie. dan Kusuma W, Mila. 2020. Penggunaan Kombinasi Replacement, Shear Key Dan Timbunan Sebagai Salah Satu Alternatif Perbaikan Tanah Ekspansif Untuk Jalan Raya. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi AdhiTama. Surabaya.
- Soedarmo, G. Djatmiko. dan Purnomo, Eddy. 1993. *Mekanika Tanah 1*. Kanisius. Malang. 303 hlm.
- Sriharyani, Leni. dan Oktami, Diah. 2016. Kajian Penggunaan Dynamic Cone Penetrometer (DCP) untuk Uji Lapangan pada Tanah Dasar Pekerjaan Timbunan Apron (Studi Kasus di Bandar Udara Radin Inten II Lampung). Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro. Lampung.
- Sumirin, Rifqi Brilyanto Arief. 2017. Analisa Efektivitas Model Perkuatan dengan Injeksi Semen untuk Peningkatan Angka Keamanan Lereng. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung. Semarang.
- Sutarman, Encu. 2017. Settlement Khas Beberapa Jenis Tanah. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Langlang Buana. Bandung.

- Syaifuddin, Mohamad. dan Niswatul Khasanah, Ulfa. dan Ponco Saputro, Bakti. dan Hazar Brilliana, Viona. dan Hastu Christianti, Kurnia. dan Suweni Muntini, Melania. Pembuatan Alat Ukur Koefisien Permeabilitas Tanah Berbasis Arduino Duemilanove Untuk Analisa Ketahanan Tanggul Sungai Bengawan Solo. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Wardana, I.G.N. 2011. Pengaruh Perubahan Muka Air Tanah dan terasering Terhadap Perubahan Ketabilan Lereng. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana. Denpasar.
- Yanto, Fendi hary. 2015. Analisis Perkerasan Kaku pada Tanah Lunak dengan Perkuatan Kolom Soil Cement. Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret . Surakarta.
- Yuwono, Bambang Darmo. 2013. Korelasi Penurunan Muka Tanah Dengan Penurunan Muka Air Tanah Di Kota Semarang. Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Univesitas Diponegoro. Semarang.