



TESIS - RC185401

**ANALISIS TAHANAN TARIK PAKU TANAH PADA
PEKERJAAN *SOIL NAILING* PROYEK PEMBANGUNAN
JALAN BARU BATAS KOTA SINGARAJA-MENGWITANI
DI PROVINSI BALI.**

PERI JONI
6012201061

Dosen Pembimbing :
Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.

Mentor Lapangan :
Rakhman Taufik, ST., M.Sc.
Izzudin Ismawanto, ST., MT.

Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2021



TESIS - RC185401

**ANALISIS TAHANAN TARIK PAKU TANAH PADA
PEKERJAAN *SOIL NAILING* PROYEK PEMBANGUNAN
JALAN BARU BATAS KOTA SINGARAJA-MENGWITANI
DI PROVINSI BALI.**

PERI JONI
6012201061

Dosen Pembimbing :
Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.

Mentor Lapangan :
Rakhman Taufik, ST., M.Sc.
Izzudin Ismawanto, ST., MT.

Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2021



TESIS - RC185401

ANALYSIS OF *PULLOUT* RESISTANCE IN THE *SOIL NAILING* WORK OF THE NEW ROAD DEVELOPMENT PROJECT, THE BOARD OF THE CITY OF SINGARAJA-MENGWITANI IN BALI PROVINCE

PERI JONI
6012201061

Dosen Pembimbing :
Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.

Mentor Lapangan :
Rakhman Taufik, ST., M.Sc.
Izzudin Ismawanto, ST., MT.

Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2021

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)

di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh :

Peri Joni
NRP.6012201061

Tanggal Ujian : 11 Januari 2022
Periode Wisuda : Maret 2022

Disetujui Oleh :

Pembimbing :

1. Dr. Yudhi Lastiasih, ST., MT.
NIP. 19770122 200501 2 002

.....

2. Rakhman Taufik, ST., M.Sc.
NIP. 19731008 200112 1 002

.....

3. Izzuddin Ismawanto, ST., MT.
NIP. 19730721 200604 1 004

.....

Penguji :

1. Prof. Ir. Noor Endah, M.Sc. Ph.D.
NIP. 19510708 197603 2 001

.....

2. Dr. Trihanyndio Rendy Satrya, ST. MT.
NIP. 19841010 200812 1 004

.....

Kepala Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan - ITS

Dr.techn. Umboro Lasminto, ST., M.Sc.
NIP. 19721202 199802 1 001

ANALISIS TAHANAN TARIK PAKU TANAH PADA PEKERJAAN *SOIL NAILING* PROYEK PEMBANGUNAN JALAN BARU BATAS KOTA SINGARAJA-MENGWITANI DI PROVINSI BALI

Nama Mahasiswa : Peri Joni
NRP : 6012201061
Pembimbing : Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.
Mentor Lapangan : Rakhman Taufik., ST., M.Sc.
Izzudin Ismawanto, ST., MT.

ABSTRAK

Sebagai bentuk dukungan pengembangan pariwisata di Bali, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) tengah membangun Jalan Pintas ruas Mengwitani-Singaraja dengan panjang sekitar 12,76 km. Jalan pintas (*shortcut*) tersebut akan memperpendek jarak tempuh dari Denpasar ke Singaraja dari 3 jam menjadi 2 jam dengan mengurangi jumlah kelokan yang ada. *Shortcut* dibangun dalam 10 seksi, dimana objek penelitian adalah pekerjaan *soil nailing* seksi 5 dan 6.

Untuk menjaga kualitas konstruksi *soil nailing* yang sudah dilaksanakan dilapangan perlu dilakukan pengujian tarik (*pullout*) dilapangan. permasalahan yang timbul adalah tidak semua *soil nailing* dilakukan uji *pullout*, hanya beberapa sampel sebesar 5% dari produksi *soil nailing* dilapangan. Selain itu, pengujian *pullout* membutuhkan biaya yang cukup besar sehingga membebani biaya konstruksi secara keseluruhan.

Metode penyelesaian dari permasalahan diatas adalah menganalisis nilai *pullout* menggunakan *software Plaxis* dibandingkan dengan hasil uji *pullout* dilapangan sehingga diperoleh rasio untuk memprediksi nilai uji *pullout soil nailing* lainnya dan untuk paket pekerjaan selanjutnya. Terkait sampel uji *pullout*, dilakukan analisis kecukupan minimum jumlah sampel yang mewakili pekerjaan *soil nailing* dengan membandingkan antara nilai *margin error* sampel uji existing sebesar 5% dengan sampel 2% (rekomendasi Geoguide7) yang dipilih secara simple random sampling.

Dari hasil studi, diperoleh rasio nilai *pullout* pada tanah dominan lanau sebesar 0.648 dan tanah dominan pasir diperoleh rasio sebesar 0.844 dari hasil perhitungan simulasi *Plaxis*. Analisis kecukupan minimum jumlah sampel uji dilapangan menunjukkan *margin error* sampel 2% dan 5% pada *confidence level* 95% sangat dekat, hanya selisih 0.057 mm. Oleh karena itu, pengambilan sampel sebanyak 2% dari jumlah produksi paku tanah dilapangan sudah mewakili jumlah total pemasangan *soil nailing*.

Kata Kunci: *Soil nailing, pullout test, , software Plaxis, rasio*

**ANALYSIS OF *PULLOUT* RESISTANCE IN THE *SOIL NAILING* WORK
OF THE NEW ROAD DEVELOPMENT PROJECT, THE BOARD OF THE
CITY OF SINGARAJA-MENGWITANI IN BALI PROVINCE**

Student Name : Peri Joni
NRP : 6012201061
Academic Adviser : Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.
Mentor : Rakhman Taufik., ST., M.Sc.
Izzudin Ismawanto, ST., MT.

ABSTRACT

As a form of support for tourism development in Bali, the Ministry of Public Works and Public Housing (PUPR) is building the Mengwitani-Singaraja section of the shortcut road with a length of about 12.76 km. This shortcut will shorten the distance from Denpasar to Singaraja from 3 hours to 2 hours by reducing the number of turns. Shortcuts are built in 10 sections, where the object of research is *soil nailing* sections 5 and 6.

To maintain the quality of *soil nailing* construction that has been carried out in the field, it is necessary to carry out a *pullout* test in the field. The problem that arises is that not all *soil nailing* is carried out with a *pullout* test, only a few samples of 5% of *soil nailing* production in the field. In addition, testing costs quite a lot so that it burdens the overall construction cost.

The method of solving the above problems is to analyze the *pullout* value using *Plaxis software* compared to the *pullout* test results in the field so that a ratio is obtained to predict the *pullout* value of other *soil nailing* and further work trials. Regarding the *pullout* test sample, an analysis of the adequacy of the number of samples representing *soil nailing* work was carried out by comparing between the *margin error* value of the existing test sample of 5% with sample of 2% (Geoguide7 recommendation) which was selected by simple random sampling.

From the results of the study, the drawdown ratio on the dominant silt soil is 0.648 and the dominant soil ratio is 0.844 from the calculation of the *Plaxis* simulation. The analysis of the adequacy of the number of test samples in the field shows that the margin of error of the 2% and 5% samples at the 95% *confidence level* is very close, only a difference of 0.057 mm. Therefore, sampling as much as 2% of the number of soil nails in the field already represents the total number of soil nailing installations

Keywords : *Soil nailing, pullout test, software Plaxis, ratio*

KATA PENGANTAR

Segala puji kehadiran Allah SWT, atas rahmat dan hidayah serta karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini tepat pada waktunya. Pada kesempatan kali ini penulis bermaksud mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu dalam penyelesaian Tesis ini, antara lain:

1. Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan membantu selama proses penyusunan Tesis.
2. Rakhman Taufik, ST., M.Sc., dan Izzudin Iswahanto, ST., MT. selaku mentor lapangan dari Kementerian PUPR – Ditjen Bina Marga yang telah membimbing dan membantu selama proses penyusunan Tesis.
3. Prof. Ir. Noor Endah, M.Sc. Ph.D. dan Dr. Trihanyndio Rendy Satrya, ST. MT. selaku dosen penguji yang telah memberi saran dan masukan untuk perbaikan tesis.
4. Prof. Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng selaku dosen wali yang telah banyak membimbing dan membantu selama proses perkuliahan.
5. Dosen-dosen bidang Geoteknik dilingkungan Departemen Teknik Sipil ITS yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan sehingga menunjang penyusunan Tesis
6. Keluarga Besar PT. Utama Karya (Persero) dan Kementerian PUPR atas dukungan dalam program beasiswa Magister Superspesialis Kementerian PUPR
7. Teristimewa kepada keluarga, teman-teman seangkatan dan semua pihak yang telah memberi motivasi dan bantuan dalam penyelesaian Tesis.

Penulis menyadari bahwa mungkin terdapat kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu Penulis mengharapkan saran dan masukan demi sempurnanya penyusunan tulisan ini. Semoga Tesis ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dan semua pihak

Surabaya, Desember 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan.....	6
1.4 Manfaat.....	6
1.5 Batasan Masalah.....	7
BAB II.....	9
TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 <i>Soil Nailing</i>	9
2.2 Persyaratan Teknis <i>Soil Nailing</i>	10
2.3 Persyaratan Material Komponen Dinding <i>Soil Nailing</i>	11
2.4 Persyaratan Tanah untuk <i>Soil Nailing</i>	13
2.5 Uji Tarik Paku Tanah	13
2.6 Hasil Uji Tarik Lapangan Paku Tanah Dibandingkan Teori.....	16
2.7 Prediksi Kapasitas Tahanan Tarik Paku Tanah	18
2.8 Parameter Tanah Input <i>Plaxis</i>	19
2.9 Analisis Parameter Paku Tanah.....	23
2.10 Analisis <i>Movement Pullout</i> Paku Tanah Menggunakan <i>Plaxis</i>	24
2.11 Kecukupan Jumlah Sampel Uji Tarik Paku Tanah Dilapangan	25
2.12 Statistik Deskriptif.....	26
BAB III	30
METODOLOGI.....	30

3.1	Diagram Alir (<i>Flow Chart</i>).....	30
3.2	Uraian Tahapan.....	31
BAB IV.....		35
DATA DAN ANALISA.....		35
4.1	Data Tanah.....	35
4.2	Parameter Soil Nail.....	42
4.3	Mapping Titik Uji <i>Pullout</i> Dilapangan.....	44
4.4	Analisis Perhitungan dengan <i>Plaxis</i>	49
4.5	Kecukupan Minimum Sampel Uji Dilapangan.....	53
BAB V.....		59
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		59
5.1	Perbandingan Hasil Uji <i>Pullout</i> Lapangan dengan Simulasi <i>Plaxis</i>	59
5.2	Analisis Output Perhitungan <i>Plaxis</i> Secara Statistik.....	64
5.3	Kecukupan Jumlah Minimum Sampel Uji Tarik Paku Tanah Dilapangan	70
BAB VI.....		78
KESIMPULAN DAN SARAN.....		78
6.1	Kesimpulan.....	78
6.2	Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA.....		81
LAMPIRAN		
Lampiran 1 <i>Soil Investigation (Borlog)</i>		83
Lampiran 2 <i>Summary Lab. Test</i>		97
Lampiran 3 <i>Cross Section As Build Drawing</i>		98
Lampiran 4 Perhitungan Parameter Tanah Input <i>Plaxis</i>		103
Lampiran 5 Hasil Uji <i>Pullout Soil nailing Existing</i>		121
Lampiran 6 Pemodelan <i>Plaxis</i>		160
Lampiran 7 Persamaan Regresi Linier.....		305

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi dan pembagian seksi proyek pembangunan jalan baru batas kota Singaraja-Mengwitani di Bali (Satker PJN Wilayah III Provinsi Bali)...	2
Gambar 1.2 Stratigrafi tanah zona 1 STA 0+000 s/d 0+700.....	2
Gambar 1. 3 Tipikal potongan melintang galian tanah	3
Gambar 1. 4 Potongan dan detail <i>soil nailing</i>	3
Gambar 1.5 Dokumentasi existing lapangan lereng galian dengan perkuatan <i>soil nailing</i> (Satker PJN Wilayah III Provinsi Bali)	4
Gambar 1.6 Dokumentasi sebaran titik uji tarik paku tanah dilapangan pada zona 1 sisi Kiri Sta. 0+200 s/d 0+300 (Satker PJN Wilayah III Provinsi Bali)	5
Gambar 2.1 a) Potongan tipikal dinding <i>soil nailing</i> , b) detail sekitar kepala <i>nail</i> (Sumber : FHWA, 2015)	10
Gambar 2.2 Potongan Material pelengkap: a) <i>centralizer</i> (FHWA-NHI-14-007), b) paku tanah dibungkus <i>corrugated sheath</i> pada <i>soil nailing</i> permanen (FHWA0-IF-03-017), c) <i>corrugated sheath</i> (BS 8006-2, 2011)	12
Gambar 2.3 Set up peralatan uji Tarik pada paku tanah	14
Gambar 2.4 hasil tes <i>pullout soil nailing</i> di titik No. 60 pada zona 1 sisi kanan (trap ke-2) sta. 0+425 (Sumber : Laporan hasil uji test <i>pullout soil nailing</i>)	15
Gambar 2.5 Ilustrasi uji tarik paku tanah dilapangan (Bridges, Chris. “ <i>Soil nail Testing</i> ”, 2015)	16
Gambar 2.6 Gaya cabut versus plot perpindahan kepala paku tanah (Babu dkk, “ <i>Soil nails field pullout testing: Evaluation and applications</i> ”, 2010).....	17
Gambar 2.7. Ilustrasi Simplifikasi Pemodelan Geometri Tanah Disekeliling Soil nail (Zhang, L. L, dkk “ <i>Uncertainties of Field Pullout Resistance of Soil nails</i> ”, 2009).....	24
Gambar 2.8 (a) Pemodelan Geometri Secara Grafis, Set Material, <i>Soil nail</i> dan Gaya Tarik (b) <i>Generate Mesh</i> (c) (d) <i>Define Initial Conditiaon</i> (e) (f) <i>Define Calculate Phases</i> (g) <i>Calculate Output</i>	24
Gambar 2.9 Variasi <i>margin error</i> dengan prosentase tes Tarik dan jumlah total produksi paku tanah (Babu dkk, “ <i>Adequacy of field pullout testing of soil nails</i> ”, 2010).....	26
Gambar 3.1 Diagram Alir (Flow Chart).....	30
Gambar 4. 1 <i>Layout</i> titik borlog zona 1, 3, dan 4 pekerjaan <i>soil nailing</i>	35
Gambar 4. 2 <i>Long section</i> posisi borlog zona 1, 3, dan 4 pekerjaan <i>soil nailing</i> ..	36
Gambar 4. 3 Stratigrafi tanah zona 1 uji <i>pullout</i> Sta. 0+200 s/d 0+450.....	36
Gambar 4. 4 Stratigrafi tanah zona 3 uji <i>pullout</i> Sta. 0+925 s/d 0+975.....	37
Gambar 4. 5 Stratigrafi tanah zona 4 uji <i>pullout</i> Sta. 1+525 s/d 1+700.....	37
Gambar 4. 6 Ilustrasi posisi titik uji <i>pullout</i> no. 24, 11, dan 44 dan lapisan tanah titik borlog mr. 1 di <i>cross section</i> sta 0+200	39
Gambar 4. 7 Layout pembagian zona uji <i>pullout</i> pekerjaan <i>soil nailing</i> (Sumber : Satker PJN Wilayah III Provinsi Bali).....	44

Gambar 4. 8 <i>Output calculate</i> nilai <i>movement</i> titik tinjau <i>pullout</i> No. 44 Sta. 0+200.....	49
Gambar 4. 9 <i>Output calculate</i> perbandingan nilai <i>movement</i> dan waktu <i>pullout</i> di titik tinjau <i>pullout</i> No. 44 Sta. 0+200.....	50
Gambar 5. 1 Bar chart nilai <i>mean</i> dan standar deviasi pada <i>movement</i> nail uji <i>pullout</i> , simulasi <i>plaxis</i> , dan <i>criteria</i> at VTL paku tanah.....	68
Gambar 5. 2 Variasi <i>margin error</i> pada sampel uji 5% dan 2% di beberapa jumlah produksi <i>soil nail</i> dilapangan	73
Gambar 5. 3 Perbandingan nilai <i>mean</i> dan <i>margin error</i> dengan <i>criteria</i> at VTL uji <i>pullout</i> soil nail.....	74
Gambar 5. 4 Variasi jumlah sampel uji dan produksi <i>soil nail</i> dilapangan pada sampel 5% dan 2%	75

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perkiraan nilai γ_{sat} dari harga NSPT untuk tanah dominan pasir (Teng, 1962)	20
Tabel 2. 2 Perkiraan nilai γ_{sat} dari harga NSPT untuk tanah dominan lanau	20
Tabel 2. 3 Koefisien permeabilitas tanah (k)	21
Tabel 2. 4 <i>Range of Values : Modulus of Elasticity, E</i>	21
Tabel 2. 5 Nilai perkiraan Angka poisson tanah (ν)	22
Tabel 2. 6 Taksiran harga kekuatan geser undrained, C_u dari harga N-SPT untuk tanah dominan Lanau dan Lempung	22
Tabel 2. 7 Perkiraan nilai sudut geser (ϕ) dari harga N-SPT untuk tanah dominan pasir (Teng, 1962)	23
Tabel 2. 8 Perkiraan nilai sudut geser (ϕ) dari nilai konsistensi tanah untuk tanah dominan Lanau dan Lempung	23
Tabel 4. 1 Pengelompokan lapisan tanah dari data borlog lapangan MR 1	38
Tabel 4. 2 Perhitungan parameter tanah input <i>Plaxis</i> dari data borlog lapangan MR.1	40
Tabel 4. 3 Perhitungan nilai parameter <i>nail</i>	42
Tabel 4. 4 Perhitungan nilai parameter <i>grout</i>	43
Tabel 4. 5 Perhitungan modulus elastisitas ekuivalen (E_{eq}), <i>axial stiffness</i> (EA), dan <i>bending stiffness</i> (EI)	43
Tabel 4. 6 Monitoring titik uji pullout pada zona 1, 3, dan 4	44
Tabel 4. 7 Hasil tes <i>pullout soil nailing</i> zona 1 sisi Kanan dilapangan	45
Tabel 4. 8 Hasil tes <i>pullout soil nailing</i> zona 1 sisi Kiri dilapangan	45
Tabel 4. 9 Hasil Tes <i>Pullout Soil nailing</i> Zona 3 Sisi Kanan Dilapangan	46
Tabel 4. 10 Hasil Tes <i>Pullout Soil nailing</i> Zona 3 Sisi Kiri Dilapangan	47
Tabel 4. 11 Hasil Tes <i>Pullout Soil nailing</i> Zona 4 Sisi Kanan Dilapangan	47
Tabel 4. 12 Hasil Tes <i>Pullout Soil nailing</i> Zona 4 Sisi Kiri Dilapangan	48
Tabel 4. 13 Hasil simulasi <i>Plaxis</i> zona 1 sisi Kanan	50
Tabel 4. 14 Hasil simulasi <i>Plaxis</i> zona 1 sisi Kiri	51
Tabel 4. 15 Hasil simulasi <i>Plaxis</i> zona 3 sisi Kanan	51
Tabel 4. 16 Hasil simulasi <i>Plaxis</i> zona 3 sisi Kiri	52
Tabel 4. 17 Hasil simulasi <i>Plaxis</i> zona 4 sisi Kanan	52
Tabel 4. 18 Hasil simulasi <i>Plaxis</i> zona 4 sisi Kiri	53
Tabel 4. 19 Penyebaran sampel uji tarik paku tanah dilapangan sebesar 5%	54
Tabel 4. 20 <i>Simple random sampling</i> uji <i>pullout soil nail</i> dilapangan pada sampel 2%	56
Tabel 5. 1 Perbandingan <i>movement</i> uji <i>pullout</i> lapangan dengan simulasi <i>Plaxis</i> pada tanah lanau	59
Tabel 5. 2 Hasil perhitungan <i>movement</i> menggunakan <i>Plaxis</i> pada pasir	61
Tabel 5. 3 Hasil analisis statistik deskriptif pada tanah lanau	64
Tabel 5. 4 Hasil analisis statistik deskriptif pada tanah pasir	66

Tabel 5. 5 Rekapitulasi hasil analisis statistik nilai <i>mean</i> dan standar deviasi pada tanah lanau dan pasir	67
Tabel 5. 6 Hasil persamaan regresi linier untuk memprediksi nilai <i>movement</i> uji <i>pullout</i>	70
Tabel 5. 7 Hasil statistik deskriptif dan margin of error sampel uji 5%.....	71
Tabel 5. 8 Hasil statistik deskriptif dan margin of error pada sampel uji 2%.	71
Tabel 5. 9 Rekapitulasi dan <i>margin error</i> produksi soil nail dilapangan pada sampel 5% dan 2%	72
Tabel 5. 10 Rekapitulasi nilai mean dan margin error sampel uji pada produksi soil nail 1.312 titik dilapangan.	74

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan jalan sangat berpengaruh dalam kehidupan dari berbagai sisi dan aspek, masyarakat akan mendapatkan berbagai keuntungan dalam pembangunan jalan, karena setiap aktifitas masyarakat tidak terlepas dari jalan. Adakalanya jalan yang sudah ada tidak sanggup menampung pertumbuhan kendaraan yang sangat cepat dan geometri jalan seringkali tidak memadai (sempit dan berkelok-kelok) sehingga menyebabkan sering menyebabkan kemacetan dan waktu tempuh yang lama. Salah satu alternatif penyelesaian masalah diatas, dikembangkan pembangunan jalan pintas (*shortcut*) untuk mengurangi kemacetan, memperpendek jarak tempuh, dan mengurangi jumlah kelokan yang ada.

Sebagai bentuk dukungan pengembangan pariwisata di Bali, khususnya yang menghubungkan kawasan Bali bagian Selatan dan Utara, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) tengah membangun Jalan Pintas ruas Mengwitani-Singaraja dengan panjang sekitar 12,76 km. Jalan pintas tersebut akan memperpendek jarak tempuh dari Denpasar ke Singaraja dari 3 jam menjadi 2 jam dengan mengurangi jumlah kelokan yang ada. Pembangunan jalan ini dapat meningkatkan faktor keamanan pengendara karena rancangan jalan mengurangi jumlah kelokan dari 15 kelokan dengan kemiringan tanjakan 10-15 derajat menjadi 5 kelokan yang lebih landai menjadi 6 derajat.

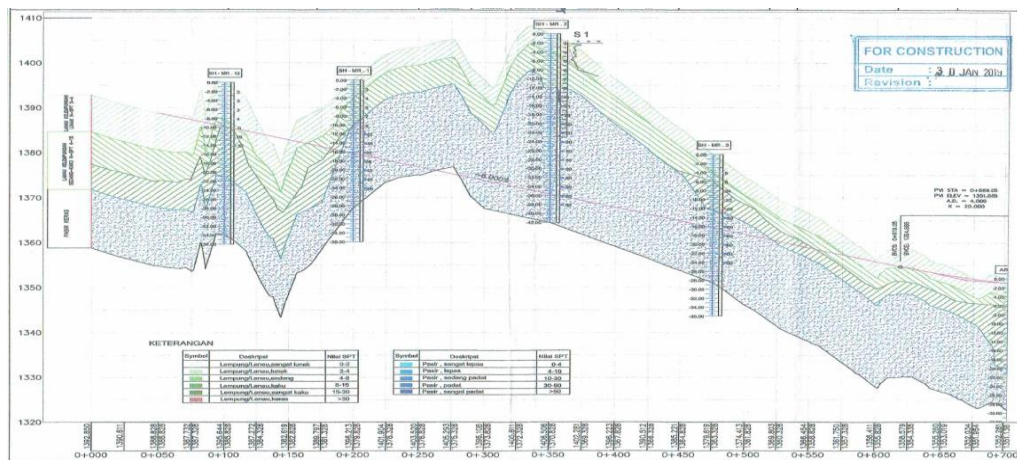
Jalan pintas tersebut akan dibangun pada 10 lokasi, seksi 1 s/d 4 dibangun di wilayah kabupaten Tabanan dan seksi 5 s/d 10 dibangun di wilayah kabupaten Buleleng seperti terlihat pada Gambar 1.1 dibawah. Uraian pembangunan fisik proyek tersebut sebagai berikut :

- Zona 3,4,5,6 (*shortcut*) sudah selesai dan mulai beroperasi pada Desember 2019
- Zona 7 dan 8 pengerjaan fisik pada bulan Agustus 2021.
- Zona 1,2,9 dan 10 rencana akan dibangun secara bertahap setelah tahun 2021.



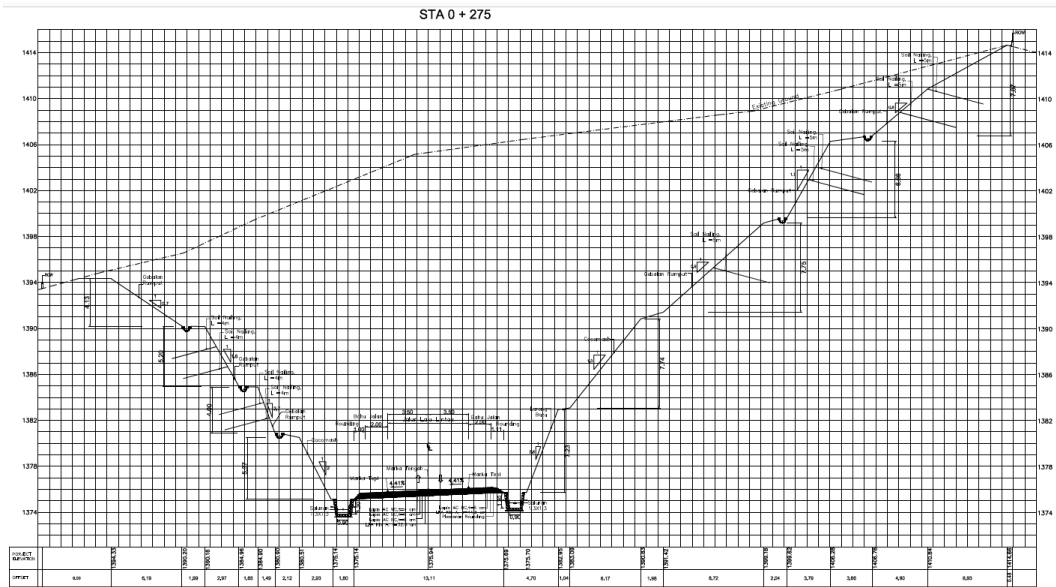
Gambar 1.1 Lokasi dan pembagian seksi proyek pembangunan jalan baru batas kota Singaraja-Mengwitani di Bali (Satker PJN Wilayah III Provinsi Bali)

Objek penelitian pekerjaan *soil nailing* pada seksi 5 dan 6 proyek pembangunan jalan baru batas kota Singaraja-Mengwitani (lokasi di desa Wanagiri-Pegayam, kecamatan Sukasada, Buleleng) yang selesai dibangun pada Desember 2019. Berikut Gambar 1.2 stratigrafi tanah zona 1 Sta. 0+000 s/d 0+700.



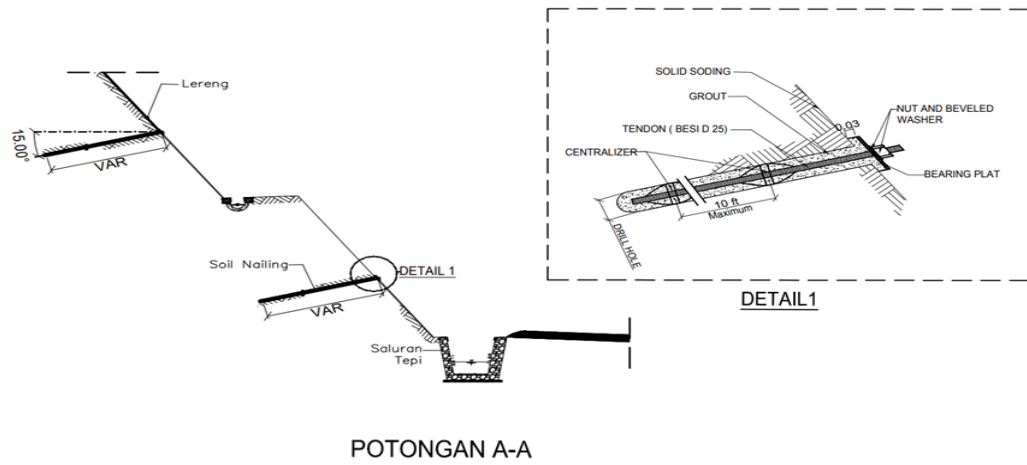
Gambar 1.2 Stratigrafi tanah zona 1 Sta. 0+000 s/d 0+700 (Satker PJN Wilayah III Provinsi Bali)

Gambar 1.2 menampilkan stratigrafi tanah pada zona 1, terlihat lapisan tanah dominan pasir keras dengan lapisan tanah di atasnya terdiri dari lanau kelepungan lunak, sedang, dan kaku. Berikut Gambar 1.3 tipikal potongan melintang lereng galian tanah.



Gambar 1. 3 Tipikal potongan melintang galian tanah
(Satker PJN Wilayah III Provinsi Bali)

Gambar 1.3 menampilkan tipikal potongan melintang galian tanah, terlihat lereng galian curam dengan ketinggian sekitar 38 meter dari as jalan menggunakan perkuatan lereng *soil nailing*. *Soil nailing* adalah sistem perkuatan lereng yang bersifat pasif, artinya tanpa gaya prategang. Berikut Gambar 1.4 potongan dan detail *soil nailing*.



Gambar 1. 4 Potongan dan detail *soil nailing*
(Satker PJN Wilayah III Provinsi Bali)

Gambar 1.4 menampilkan sistem perkuatan *soil nailing* utamanya terdiri atas sejumlah paku tanah yang dipasang di dalam tanah dengan cara dibor atau dipancang/ditekan, dan dinding muka berupa besi plat sebagai komponen dasar dinding muka. Berikut Gambar 1.5 dokumentasi existing lapangan lereng galian dengan perkuatan *soil nailing*.



Gambar 1.5 Dokumentasi existing lapangan lereng galian dengan perkuatan *soil nailing* (Satker PJN Wilayah III Provinsi Bali)

Pada Gambar 1.5 terlihat perkuatan lereng galian existing menggunakan *soil nailing* tanpa ditutup beton semprot (*shotcrete*) di permukaan lerengnya. Hal tersebut karena tanah pada lereng existing merupakan *cemented soil*, yaitu bentuk tanah yang disatukan oleh bahan pengikat secara alami dan tekanan eksternal tetapi tetap mempertahankan elastisitas internalnya, sementara bagian luarnya tetap keras. Kondisi tersebut menyebabkan permukaan lereng dapat menyalurkan air hujan dan limpasan dengan baik ke saluran air di samping jalan.

Salah satu pengujian pekerjaan *soil nailing* yang selesai dilaksanakan dilapangan adalah uji tarik (*pullout test*) pada paku tanah. Uji tarik pada paku tanah dilakukan untuk verifikasi bahwa gaya paku tanah maksimum (T_{max}) dapat ditahan tanpa terjadi pergerakan yang berlebihan, dengan faktor keamanan yang cukup. Uji tarik dilapangan menggunakan *hydraulic jack* yang dilengkapi dengan *load cell* untuk mengukur gaya tarik dengan *pressure gauge* sebagai alat ukur gaya kedua.

Berikut Gambar 1.6 dokumentasi sebaran titik uji tarik paku tanah dilapangan pada zona 1 sisi Kiri Sta. 0+200 s/d 0+300.



Gambar 1.6 Dokumentasi sebaran titik uji tarik paku tanah dilapangan pada zona 1 sisi Kiri Sta. 0+200 s/d 0+300 (Satker PJN Wilayah III Provinsi Bali)

Sampel uji tarik dilapangan tersebar di beberapa titik paku tanah dengan total sampel uji tarik sebesar 5% dari jumlah produksi paku tanah dilapangan yaitu sebanyak 67 sampel. Terkait kondisi tersebut, terdapat dua permasalahan yang timbul, yaitu :

1. Berapa prediksi nilai uji tarik paku tanah lainnya yang tidak dilakukan pengujian tarik dilapangan karena keterbatasan jumlah sampel uji dilapangan.
2. Berapa kecukupan minimum sampel uji tarik dilapangan yang mewakili pekerjaan *soil nailing*, mengingat biaya uji per titiknya cukup mahal.

Berdasarkan permasalahan point 1 diatas, perlu dilakukan analisis terkait nilai tahanan tarik paku tanah menggunakan *software Plaxis 2D* dibandingkan dengan hasil uji tarik lapangan, sehingga diperoleh rasio dan persamaan regresi linier untuk memprediksi nilai uji tarik paku tanah lainnya. Terkait permasalahan point 2, perlu dianalisis kecukupan minimum sampel uji berdasarkan perbedaan nilai *margin error* antara sampel uji existing 5% dengan jumlah sampel uji standar lainnya seperti Geoguide 7 yang merekomendasikan sampel uji hanya 2%. Penentuan analisis berdasarkan nilai uji tarik paku tanah lapangan karena menurut penelitian Babu, G.L. Sivakumar, dkk (2010) dalam kajian tentang “*Adequacy of*

field pullout testing of soil nails” menyatakan pengujian cabut paku tanah di lapangan adalah metode yang diterima secara luas untuk kontrol kualitas konstruksi dan penilaian kinerja dinding paku tanah.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan umumnya adalah bagaimana menentukan jumlah titik sampel yang harus diuji pullout dilapangan. Berdasarkan permasalahan umum yang ada, maka rumusan masalah yang akan dikaji pada penelitian ini adalah :

1. Berapa rasio dan persamaan regresi linier nilai *movement* tahanan tarik paku tanah jika dianalisis menggunakan *software Plaxis 2D* dibandingkan dengan hasil uji tarik existing dilapangan?
2. Berapa kecukupan minimum jumlah sampel uji Tarik paku tanah dilapangan yang dapat mewakili dari pekerjaan *soil nailing*?

1.3 Tujuan

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut :

1. Melakukan analisis perhitungan tahanan tarik paku tanah menggunakan *software Plaxis 2D* dibandingkan dengan nilai uji Tarik paku tanah yang dilaksanakan dilapangan.
2. Menentukan kecukupan jumlah minimum sampel uji Tarik paku tanah dilapangan yang dapat mewakili dari pekerjaan *soil nailing*.

1.4 Manfaat

Penelitian ini dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan analisis perhitungan tahanan tarik paku tanah yang diolah secara statistik untuk memprediksi nilai uji tahanan Tarik paku tanah yang dilaksanakan dilapangan menggunakan *software Plaxis 2D*.
2. Menentukan kecukupan jumlah minimum sampel uji Tarik paku tanah dilapangan yang dapat mewakili dari pekerjaan *soil nailing*.

1.5 Batasan Masalah

1. Objek penelitian adalah pekerjaan *soil nailing* pada proyek Pembangunan Jalan Baru Batas Kota Singaraja-Mengwitani (seksi 5 dan 6) di propinsi Bali.
2. Data-data tanah, *as build drawing*, hasil uji Tarik lapangan paku tanah menggunakan data existing yang ada di proyek.
3. Analisis numerik perhitungan tahanan tarik paku tanah dan pemodelan perhitungan tahanan tarik pada paku tanah menggunakan *software Plaxis 2D*
4. Analisis statistik secara statistik deskriptif menggunakan Data Analysis Add-Ins ToolPak pada *software Ms. Excel*

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

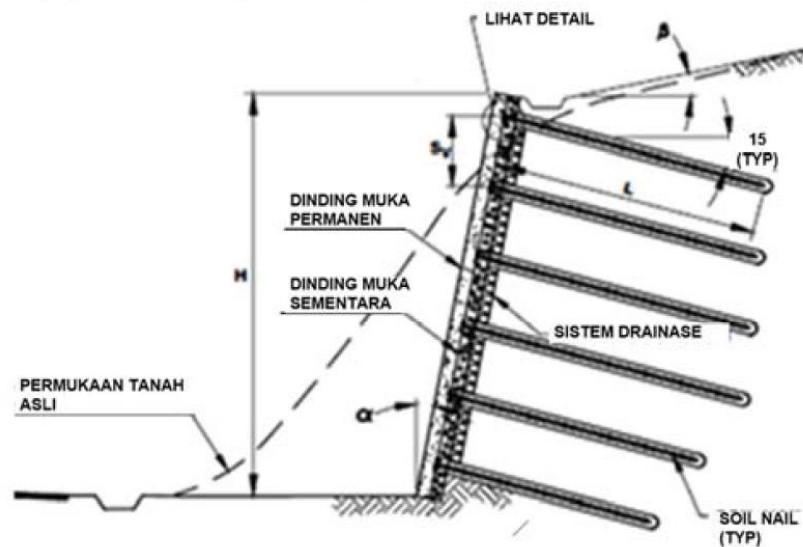
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

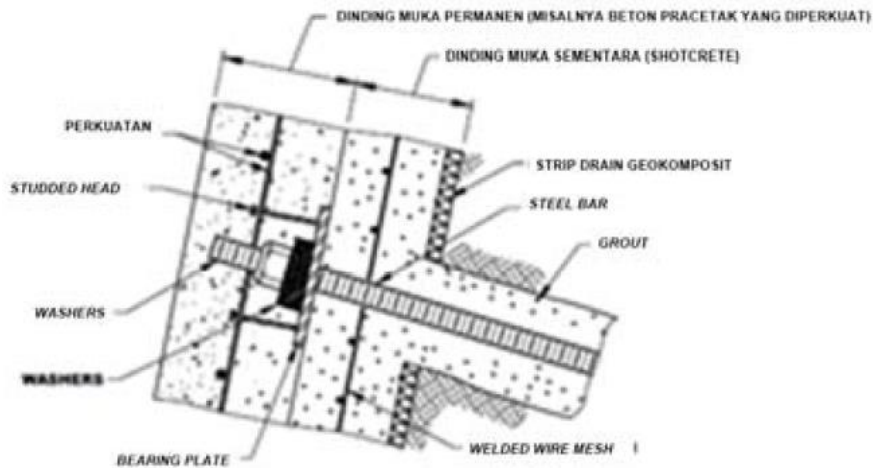
2.1 *Soil Nailing*

Soil nailing adalah sistem perkuatan lereng yang bersifat pasif, artinya tanpa gaya prategang. Sistem perkuatan ini utamanya terdiri atas sejumlah paku tanah yang dipasang di dalam tanah dengan cara dibor atau dipancang/ditekan, dan dinding muka berupa beton semprot yang diperkuat (*reinforced shotcrete*) sebagai komponen dasar dinding muka.

Paku tanah tersebut dipasang dengan sudut kemiringan mendekati horizontal. Kepala *nail* tersambung dengan dinding muka dengan perantara bearing plate yang diletakkan di atas dinding muka dan baut pengikat, sehingga tekanan tanah pada dinding muka dapat diteruskan ke *nail bar*. Gambar 2.1 menyajikan potongan tipikal dinding *soil nailing* dan detail di sekitar kepala *nail*.



(a) Potongan tipikal dinding *soil nailing*



(b) Detail

Gambar 2.1 a) Potongan tipikal dinding *soil nailing*, b) detail sekitar kepala *nail*
(Sumber : FHWA, 2015)

2.2 Persyaratan Teknis *Soil Nailing*

Kemiringan dinding akan sedikit memperpendek kebutuhan panjang paku tanah. Kemiringan 10% dari vertikal ($\sim 80^\circ$ terhadap bidang horizontal) mengurangi kebutuhan panjang paku tanah 10% sampai dengan 15% dibandingkan dengan dinding yang tegak. Kemiringan tipikal dinding *soil nailing* berkisar antara 80° sampai dengan 90° terhadap bidang horizontal.

Kemiringan tipikal paku tanah berkisar antara 10° sampai dengan 20° di bawah bidang horizontal. Kemiringan *nail bar* $< 10^\circ$ harus dihindari karena akan menyebabkan terbentuknya pori (*void*) di dalam *grout*, yang akan mengurangi kapasitas tarik paku tanah dan menurunkan proteksi terhadap korosi. Sebaliknya, kemiringan paku tanah yang besar menyebabkan paku tanah tidak efektif menahan gaya lateral.

Panjang tipikal paku tanah berkisar antara $0,6H$ sampai dengan $1,2H$, dimana H adalah kedalaman galian atau tinggi timbunan. Jarang dijumpai panjang paku tanah $< 0,6H$ karena biasanya tidak memenuhi stabilitas terhadap *sliding*. Sebaliknya, hasil analisis yang memberikan hasil panjang paku tanah $> 1,2H$

menunjukkan bahwa tanah pada lokasi *site* tidak cocok atau terlalu lunak untuk *soil nailing*.

Paku tanah biasanya dipasang mengikuti pola *grid*. Spasi horizontal dan vertikal biasanya sama. Tipikal spasi paku tanah adalah 1,5 m untuk “*drilled and grouted soil nailing*” dan 1 m sampai dengan 1,2 m untuk “*driven soil nailing*”. Paku tanah baris pertama harus dipasang tidak lebih dalam dari 1,1 m di bawah puncak dinding, untuk mengurangi potensi longsor pada bagian awal tahapan galian dan mengurangi efek kantilever pada dinding. Untuk “*drilled and grout soil nailing*”, tipikal diameter lubang bor bervariasi dari 100 mm sampai dengan 200 mm.

2.3 Persyaratan Material Komponen Dinding *Soil Nailing*

Paku tanah menggunakan *deformed bar* BJTD 40 (*yield strength* 400 MPa) dengan diameter ≥ 25 mm. paku tanah dapat dipasang mengikuti pola segi empat atau pola segitiga. Sekalipun jarang digunakan di Indonesia, kadang-kadang digunakan *coated* paku tanah untuk memberikan proteksi tingkat rendah terhadap korosi. Tingkat proteksi yang lebih tinggi adalah dengan membungkus paku tanah dengan *corrugated sheath*.

Bearing plate terbuat dari pelat baja berukuran tipikal 200 mm x 200 mm sampai dengan 250 mm x 250 mm, dengan tebal 19 mm. Material *grout* dibuat dari semen tipe 1, dengan tipikal rasio air/semen (*w/c ratio*) 0,4 – 0,5. Persyaratan kuat tekan *grout* dalam 28 hari adalah 21 MPa. Bahan tambah umumnya tidak digunakan kecuali *plasticizer* untuk memperbaiki *workability*.

Beton semprot atau *shotcrete* dinding muka mempunyai tebal tipikal 75 mm – 100 mm, dilengkapi dengan 1 lapis *wiremesh* M6 (ukuran 6 mm). Beton semprot disyaratkan mempunyai kuat tekan $f_c' \geq 18$ MPa. Beton semprot yang diperkuat ini merupakan komponen dasar dinding muka. Komponen akhir dinding muka dipasang di atas beton semprot, berupa panel beton pracetak, beton *cast in place*, dan beton semprot yang diperkuat. Komponen akhir dinding muka ini memberikan aspek keindahan bagi tampak muka dinding *soil nailing*.

Material pelengkap pada pekerjaan *soil nailing* adalah :

- *Centralizer*

Centralizer dipasang secara beraturan sepanjang paku tanah dengan interval $\leq 2,5$ m, dan berjarak 0,5 m dari kedua ujung paku tanah, untuk menjamin minimum *grout cover* terpenuhi. *Centralizer* terbuat dari PVC atau material sintetik lainnya

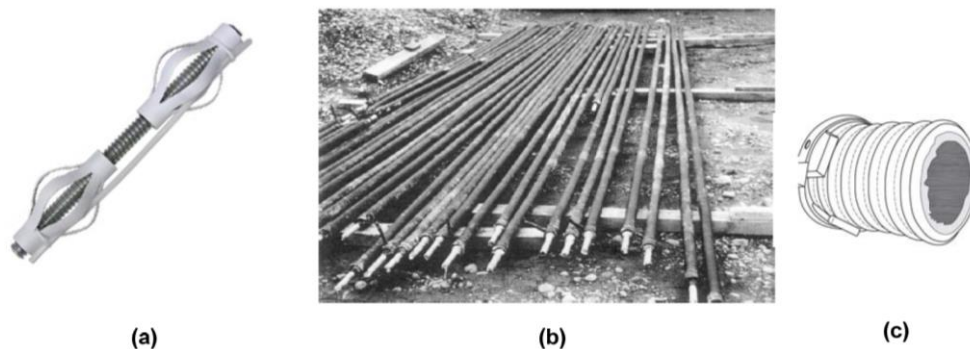
- Proteksi korosi

Jika dibutuhkan proteksi korosi tingkat tinggi, misalnya pada *soil nailing* permanen, ditambahkan *corrugated sheath* dari material sintetik (HDPE atau PVC) yang menyelimuti paku tanah. Spasi antara *corrugated sheath* dan paku tanah, terlebih dulu diisi dengan *grout* sebelum paku tanah dimasukkan ke dalam lubang bor

- *Vertical drain strip*

Vertical drain strip dengan lebar 300 mm - 400 mm dipasang di belakang dinding muka dan menempel pada permukaan tanah. *Vertical drain strip* yang digunakan adalah *vertical drain* dengan satu muka terbuka dan muka yang lain tertutup plastik. Bagian yang terbuka menempel pada tanah, sedangkan bagian yang tertutup plastik menempel pada beton semprot. Spasi horizontal dari strip sama dengan spasi horizontal dari paku tanah.

Vertical drain strip ini dipasang dari level muka air tanah sampai dasar dinding, dengan maksud menangkap air tanah dan menyalurkannya ke saluran tepi pada dasar galian, sehingga air tanah praktis tidak menekan dinding.



Gambar 2.2 Potongan material pelengkap: a) *centralizer* (FHWA-NHI-14-007), b) paku tanah dibungkus *corrugated sheath* pada *soil nailing* permanen (FHWA0-IF-03-017), c) *corrugated sheath* (BS 8006-2, 2011)

2.4 Persyaratan Tanah untuk *Soil Nailing*

Tanah yang cocok untuk *soil nailing* adalah :

- Tanah untuk *soil nailing* harus dapat berdiri vertikal tanpa penyangga setinggi 1 m - 2 m, selama 1 hari - 2 hari untuk memberikan kesempatan pemasangan paku tanah dan penyemprotan beton semprot.
- Tanah kohesif dengan konsistensi *medium stiff*, dengan NSPT ≥ 5 .
- Tanah pasir yang cocok adalah pasir dengan kepadatan *medium dense*, dengan N SPT ≥ 10 , yang menunjukkan adanya kohesi *apparent* atau sementasi natural.

Tanah yang tidak cocok untuk *soil nailing* adalah tanah-tanah dengan kondisi sebagai berikut :

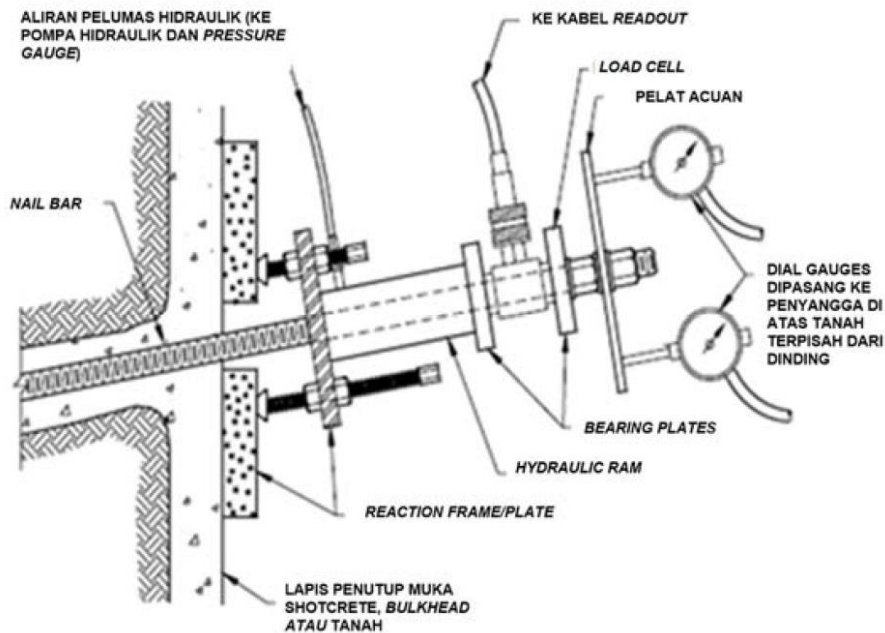
- Tanah-tanah yang tidak memenuhi persyaratan yang disebutkan pada point tanah yang tidak cocok untuk *soil nailing* diatas.
- Tanah organik
- Tanah yang mengandung bongkahan batu bongkah dan batu bulat (*cobbles*)
- Tanah dengan air tanah yang sangat korosif

Semakin tinggi permukaan air tanah semakin sulit pengerjaan *soil nailing*. Karena itu daerah dengan muka air tanah yang tinggi kurang cocok untuk dinding *soil nailing*. Selain itu, pada masa umur layan dinding muka tidak boleh menerima tekanan air tanah, karena pada umumnya dinding ini tidak dirancang untuk menahan tekanan air tanah. Jika dipaksakan, harus disediakannya sistem drainase yang komprehensif.

2.5 Uji Tarik Paku Tanah

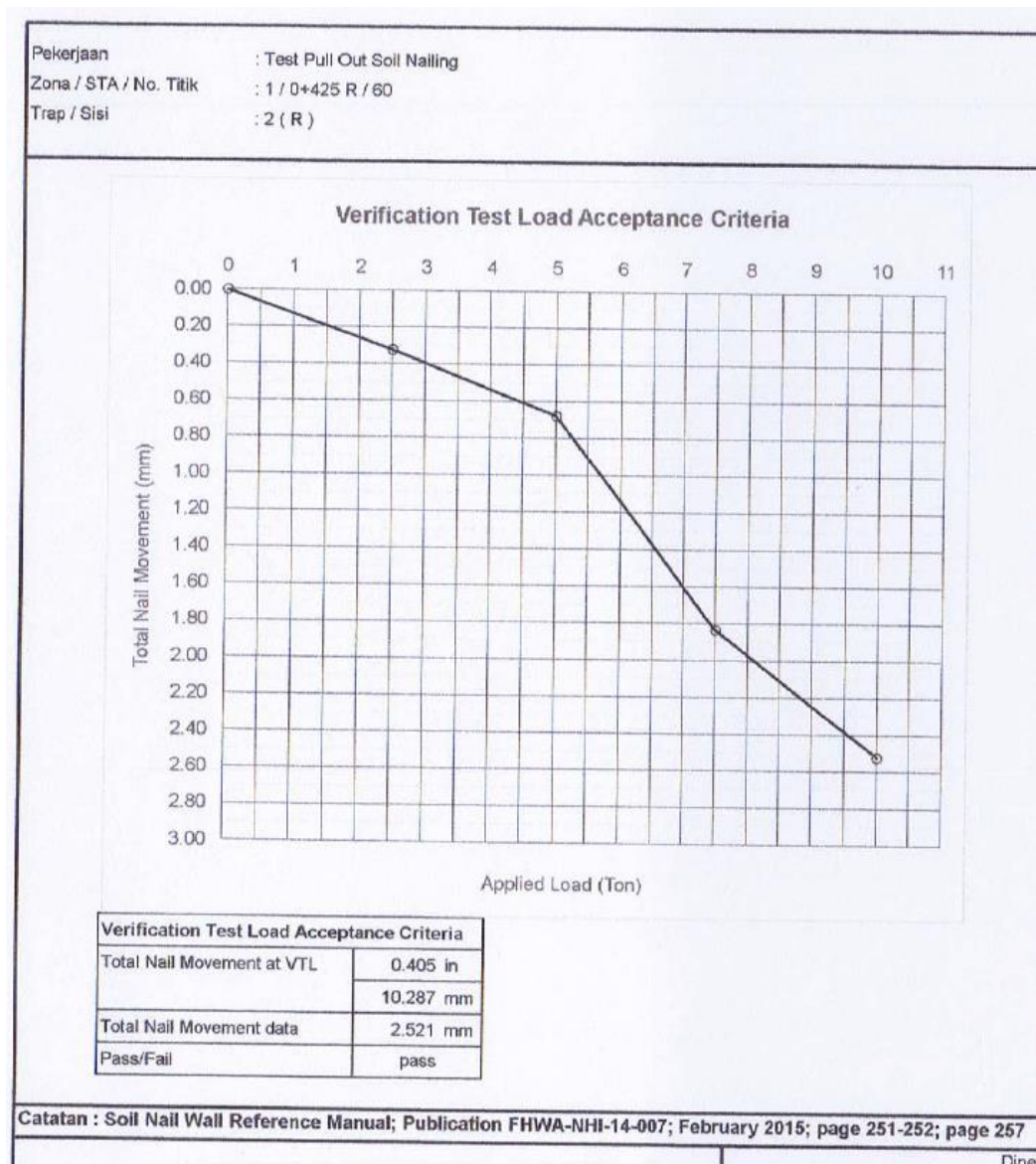
Uji tarik pada tulangan paku tanah dilakukan untuk verifikasi bahwa gaya paku tanah maksimum (T_{max}) dapat ditahan tanpa terjadi pergerakan yang berlebihan, dengan faktor keamanan yang cukup. Gaya tarik diberikan oleh *hydraulic jack* yang dilengkapi dengan *load cell* untuk mengukur gaya tarik dengan *pressure gauge* sebagai alat ukur gaya kedua. Untuk mengukur pergerakan paku

tanah, digunakan paling tidak 2 buah *dial gauge*. Gambar 2.5 menyajikan ilustrasi pemasangan *hydraulic jack* dan alat-alat pengukur gaya dan pergerakan paku tanah.



Gambar 2.3 Set up peralatan uji tarik pada paku tanah
(FHWA0-IF-03-017)

Uji tarik pada paku tanah dilakukan pada 5% dari jumlah produksi dilapangan. Data existing hasil tes *pullout soil nailing* dilapangan sebanyak 67 titik pada zona 1, 3 dan 4 di Sta. 0+200 – 1+700. Panjang *soil nail* bervariasi dari 6 m hingga 12 m. Gaya tarik (*pullout*) bervariasi dari 10 – 12 ton, diberikan selama 10 menit, dimana total pergerakan *movement* kriterianya paku tanah (total *nail movement* at verification test load) maksimal 10.287 mm (FHWA-NHI-14-007). Berikut Gambar hasil tes *pullout soil nailing* di titik No. 60 pada zona 1 sisi kanan (trap ke-2) sta. 0+425



Gambar 2.4 Hasil tes *pullout soil nailing* di titik No. 60 pada zona 1 sisi kanan (trap ke-2) sta. 0+425 (Sumber : Laporan hasil uji test *pullout soil nailing*)

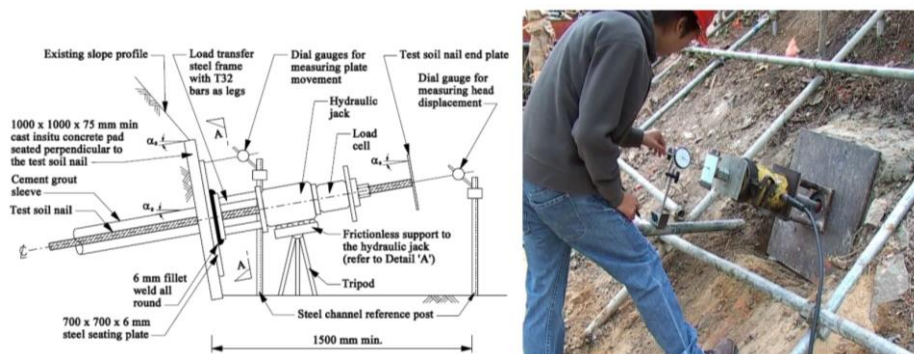
Ada 3 cara di mana paku tanah bisa gagal karena stabilitas internal:

- Kegagalan tarik dari tulangan paku tanah
- Kegagalan antara *grouting* dengan tulangan paku tanah
- Kegagalan antara *grouting* dan tanah

Dua mekanisme kegagalan yang pertama secara umum didefinisikan dengan baik tetapi kegagalan kapasitas antara muka *grouting* dan tanah sulit untuk diprediksi. faktor – faktor penyebabnya antara lain :

- Teknik pengeboran
- Metode *grouting*
- Kondisi tanah

Oleh karena itu, penting untuk mendapatkan informasi lapangan yang spesifik melalui uji lapangan pada paku tanah yang dipasang dengan cara yang sama seperti pada saat produksi paku tanah



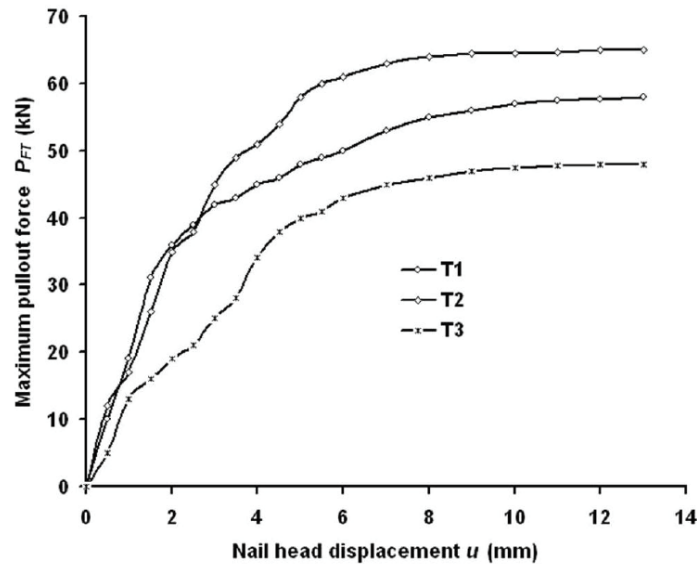
Gambar 2.5 Ilustrasi uji tarik paku tanah dilapangan
(Bridges, Chris. “Soil nail Testing”, 2015)

2.6 Hasil Uji Tarik Lapangan Paku Tanah Dibandingkan Teori

Babu, dkk (2009) melakukan studi untuk menyoroti pentingnya aplikasi praktik uji tarik lapangan dalam desain dan penilaian kinerja dinding paku tanah. Kekuatan ikatan paku tanah antarmuka adalah parameter penting dalam desain dinding paku tanah.

Uji penarikan lapangan memberikan masukan berharga untuk pemilihan kekuatan ikatan desain yang sesuai. Dalam penelitian tersebut, metodologi berbasis reliabilitas untuk evaluasi dan pemilihan yang sesuai uji penarikan lapangan diusulkan untuk menentukan kekuatan ikatan desain. Metodologi yang diusulkan diilustrasikan dengan mengacu pada uji penarikan lapangan pada paku tanah yang

dilakukan di lokasi setempat. Variasi gaya cabut versus perpindahan kepala paku untuk 3 sampel uji ditunjukkan pada Gambar 2.7 dibawah ini :



Gambar 2.6 Gaya cabut versus plot perpindahan kepala paku tanah (Babu dkk, “Soil nails field pullout testing: Evaluation and applications”, 2010)

Hasil uji penarikan lapangan dapat digunakan untuk penentuan parameter antarmuka paku-tanah. Uji Tarik lapangan paku tanah mampu memberikan sejumlah besar informasi yang diinginkan untuk analisis, desain dan kinerja jangka panjang dari struktur paku tanah.

Perbandingan hasil deformasi *soil nailing* melalui pemodelan analisis *Plaxis 2D V8* dibandingkan dengan data hasil pemantauan lapangan *soil nailing* pernah diteliti oleh Zolqadr, Emad, dkk, (2015), “*Analysis of soil nail walls performance*”. Lokasi pengujian dilakukan pada *soil nailing* di lereng tanah dengan ketinggian 29.3 m di proyek Yas, Taheran, Iran dengan titik pantau sebanyak 40 titik. Tanah di area proyek umumnya terdiri dari pasir dan kerikil dengan sedikit lempung dan lanau dari lapisan padat hingga sangat padat. Hasilnya menunjukkan deformasi horizontal pemodelan *Plaxis* umumnya lebih besar dari data nilai pemantauan lapangan.

Jenis tanah sangat berpengaruh pada nilai uji *pullout soil nail*, hal ini pernah diteliti oleh Ghadimi, Amir Shahraki, dkk, (2017), “*Effect of soil type on*

nail pull-out resistance". Penelitian tersebut dilatarbelakangi karena dalam perencanaan desain *soil nail* seringkali digunakan faktor keamanan yang tinggi sehingga desain aman tetapi terkadang tidak ekonomis. Lokasi pengujian dilakukan pada 5 lokasi yang berbeda di Taheran, Iran dengan sampel uji sebanyak 20 *soil nail*. Hasilnya terdapat pengaruh jenis tanah dan kedalaman tanah (tekanan *overburden*) pada nilai *movement pullout soil nail*.

Moayed, R.Z, dkk (2019) telah melakukan serangkaian penelitian tentang evaluasi tahanan tarik paku tanah dilapangan dengan jumlah sampel uji sebanyak 42 titik pada empat lokasi yang berbeda pada tanah berbutir kasar dan lempung di Taheran, Iran. Hasil yang diperoleh dibandingkan dengan kriteria standar konvensional (FHWA-NHI-14-007) disimpulkan bahwa tahanan tarik berdasarkan SPT adalah metode yang lebih konservatif untuk mengevaluasi tahanan tarik paku tanah. Selain itu, tahanan tarik paku tanah sangat dipengaruhi oleh kualitas konstruksi. Ketika kualitas konstruksi berkurang, maka tahanan tarik paku tanah juga berkurang.

2.7 Prediksi Kapasitas Tahanan Tarik Paku Tanah

Franzen, dkk (1998) menyatakan perkiraan akurat dalam menentukan kapasitas tarik paku tanah akan menghasilkan desain yang ekonomis dan aman. Perkiraan tersebut dapat berupa hasil uji Tarik lapangan secara penuh dan simulasi numerik. Kapasitas cabut paku tanah bergantung pada parameter sebagai berikut :

- Luas permukaan paku tanah
- Gesekan tanah/paku
- Tegangan normal yang bekerja pada paku tanah

Ada berbagai parameter yang harus diperhatikan untuk mendapatkan korelasi yang baik, diantaranya : variasi kondisi tanah, variasi dalam situasi tegangan dan variasi bentuk paku. Lebih lanjut, banyak parameter akan berubah karena pemasangan paku dan juga lamanya waktu konstruksi. Prediksi terbaik dari gaya tarik dapat diperoleh dari uji Tarik yang dilakukan dilapangan sebelum desain atau untuk pekerjaan selanjutnya dengan karakteristik tanah yang sama dengan pekerjaan yang sudah dilaksanakan.

2.8 Parameter Tanah Input *Plaxis*

Data tanah yang dipakai dalam penelitian menggunakan data hasil pengujian lapangan sebagai berikut :

- Data Bor Dalam, untuk mengetahui jenis tanah beserta kedalamannya.
- Data SPT, untuk mengetahui nilai NSPT dalam menentukan konsistensi tanah
- Data UDS (*Undisturb Sample*), untuk mengetahui berat volume, angka pori, batas-batas *Atterberg*, analisa ayakan, kohesi dan sudut geser

Pengambilan data sampel *undisturb* tidak dilakukan pada seluruh lapisan tanah, hanya pada kedalaman yang bervariasi pada masing-masing titik antara 1.5 - 8 m. Berdasarkan hal tersebut, beberapa parameter tanah yang belum ada datanya diambil menggunakan korelasi terhadap nilai NSPT dan referensi lainnya.

Korelasi nilai NSPT dengan parameter tanah seperti kohesi (c), Sudut geser (ϕ), dan berat volume tanah pernah diteliti oleh Padagi, E. A, dkk (2015), dimana terdapat korelasi yang kuat antara NSPT dengan sifat-sifat fisik dan mekanis tanah dengan nilai regresi mencapai ≥ 0.75 . Pada tanah lanau dan pasir peningkatan nilai N-SPT diikuti dengan meningkatnya kuat geser tanah seperti nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah meningkat. Selanjutnya peningkatan N-SPT akan diikuti oleh meningkatnya nilai daya dukung tanah seperti berat volume tanah kering maupun berat volume tanah basah.

Analisis tahanan tarik paku tanah menggunakan nilai NSPT pernah diteliti oleh Moayed, R.Z, dkk (2019), dimana evaluasi tahanan tarik paku tanah dilapangan berdasarkan NSPT adalah metode yang lebih konservatif untuk mengevaluasi tahanan tarik paku tanah. Berikut beberapa korelasi parameter tanah yang dianalisis untuk data input *Plaxis* :

1. Berat Volume Jenuh (γ_{sat})

Berat volume jenuh merupakan berat tanah dalam kondisi ruang pori udara terisi penuh oleh air. Berikut persamaan untuk menghitung berat volume jenuh :

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{(1 + e)} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

G_s = *Spesific gravity*

e = angka pori

γ_w = berat volume air

Pada kondisi kedalaman tanah yang tidak diambil sampel undisturb, maka digunakan Tabel korelasi perkiraan berat volume tanah jenuh terhadap nilai NSPT (Teng, 1962) seperti terlihat pada Tabel 2.1 untuk tanah dominan pasir. Sedangkan untuk tanah dominan lanau menggunakan Tabel korelasi perkiraan berat volume tanah jenuh terhadap nilai NSPT seperti terlihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 1 Perkiraan nilai γ_{sat} dari harga NSPT untuk tanah dominan pasir (Teng, 1962)

Kondisi Kepadatan	Relative Density (Kepadatan Relatif) R_d	Perkiraan Harga N-SPT	Perkiraan Harga ϕ ($^\circ$)	Perkiraan Berat Volume Jenuh, γ_{sat} (ton/m ³)
<i>Very loose</i> (sangat renggang)	0% s/d 15%	0 s/d 4	0 s/d 28	< 1.60
<i>Loose</i> (renggang)	15% s/d 35%	4 s/d 10	28 s/d 30	1.50 – 2.0
<i>Medium</i> (menengah)	35% s/d 65%	10 s/d 30	30 s/d 36	1.75 – 2.10
<i>Dense</i> (padat)	65% s/d 85%	30 s/d 50	36 s/d 41	1.75 – 2.25
<i>Very dense</i> (sangat padat)	85% s/d 100%	> 50	41*	

Sumber : Mochtar, 2009

Tabel 2. 2 Perkiraan nilai γ_{sat} dari harga NSPT untuk tanah dominan lanau

N-SPT	Konsistensi	q_u tons/ft ²	γ_{sat} kN/m ³
< 2	<i>Very soft</i>	< 0.25	16 – 19
2 – 4	<i>Soft</i>	0.25 – 0.50	16 – 19
4 – 8	<i>Medium</i>	0.50 – 1.00	17 – 20
8 – 15	<i>Stiff</i>	1.00 – 2.00	19 – 20
15 – 30	<i>Very stiff</i>	2.00 – 4.00	19 – 22
> 30	<i>Hard</i>	> 4.00	19 – 22

Sumber : Terzaghi & Peck

2. Koefisien Permeabilitas (k)

Koefisien permeabilitas tanah (k) merupakan besaran kecepatan air mengalir dalam lapisan tanah dalam keadaan jenuh. Berikut Tabel 2.3 Koefisien permeabilitas tanah (k)

Tabel 2. 3 Koefisien permeabilitas tanah (k)

Soil type	Description		k, m/s	Drainage
Cobbles and boulders	Flow may be turbulent, Darcy's law may not be valid		1	Very good
Gravels	Coarse	Uniformly graded coarse aggregate	10 ⁻¹	
	Clean		10 ⁻²	
Gravel sand mixtures	Clean	Well graded without fines	10 ⁻³	
Sands	Clean, very fine Silty Stratified clay/silts	Fissured, desiccated, weathered clays Compacted clays – dry of optimum	10 ⁻⁴	Good
			10 ⁻⁵	
			10 ⁻⁶	
Silts	Homogeneous below zone of weathering	Compacted clays – wet of optimum	10 ⁻⁷	Poor
			10 ⁻⁸	
Clays			10 ⁻⁹	Practically impermeable
			10 ⁻¹⁰	
Artificial	Bituminous, cements stabilized soil Geosynthetic clay liner / Bentonite enriched soil concrete		10 ⁻¹¹ 10 ⁻¹²	

Sumber : Burt, G Look

3. Modulus Elastisitas (E)

Modulus elastisitas tanah (E) merupakan angka yang menghubungkan antara regangan dan tegangan dalam elemen-elemen tanah. Berikut Tabel 2.4 Range nilai modulus elastisitas tanah (E).

Tabel 2. 4 Range of Values : Modulus of Elasticity, E

Soil	Es (kPa)		
	Lower Limit	Upper Limit	Average
Sand, <i>loose</i>	9000	25000	17000
Sand, <i>dense</i>	45000	80000	62500
Sand, <i>silty</i>	7000	21000	14000
Sand and gravel, <i>loose</i>	45000	145000	95000
Sand and gravel, <i>dense</i>	90000	180000	135000
Silt	2400	20000	11200
Loess	15000	50000	32500
Clay, <i>soft</i>	500	5000	2750
Clay, <i>medium</i>	4000	10000	7000
Clay, <i>firm</i>	7000	20000	13500
Clay, <i>sandy</i>	25000	40000	32500

Sumber : McCarthy, 1998

4. Poisson Ratio (v)

Angka poisson merupakan besarnya perbandingan antara regangan lateral dan regangan aksial akibat beban. Berikut Tabel 2.5 Nilai perkiraan Angka poisson tanah (v)

Tabel 2. 5 Nilai perkiraan Angka poisson tanah (ν)

Macam Tanah	ν (Angka Poisson Tanah)
Lempung Jenuh	0.40 – 0.50
Lempung Tak Jenuh	0.10 – 0.30
Lempung Berpasir	0.20 – 0.30
Lanau	0.30 – 0.35
Pasir Padat	0.20 – 0.40
Pasir Kasar	0.15
Pasir Halus	0.25
Batu	0.10 – 0.40
Loess	0.10 – 0.30

Sumber : Bowles, 1997

5. Kohesi (c)

Kohesi adalah gaya tarik menarik antar molekul yang memiliki sifat kohesif. Salah satu aspek yang mempengaruhi kohesi adalah kerapatan dan jarak antar molekul dalam suatu benda, sehingga kohesi juga dipengaruhi oleh distribusi ukuran butiran yang dapat menyebabkan kerapatan yang lebih besar antar partikel tanah. Berikut Tabel 2.6 Taksiran harga kekuatan geser *undrained*, C_u dari harga N-SPT untuk tanah dominan Lanau dan Lempung

Tabel 2. 6 Taksiran harga kekuatan geser undrained, C_u dari harga N-SPT untuk tanah dominan Lanau dan Lempung

Konsistensi Tanah	Taksiran harga kekuatan geser undrained, C_u		Taksiran harga NSPT
	kPa	Ton/m ²	
Sangat lunak (<i>very soft</i>)	0 – 12.5	0 – 1.25	0 – 2.5
Lunak (<i>soft</i>)	12.5 – 25	1.25 – 2.5	2.5 – 5
Menengah (<i>medium</i>)	25 – 50	2.5 – 5	5 – 10
Kaku (<i>stiff</i>)	50 – 100	5 – 10	10 – 20
Sangat kaku (<i>very stiff</i>)	100 – 200	10 – 20	20 – 40
Keras (<i>hard</i>)	> 200	> 20	> 40

Sumber : Mochtar, 2006 (revised 2012)

6. Sudut geser (ϕ)

Sudut geser (ϕ) merupakan sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah. Berikut Tabel 2.7 Perkiraan nilai sudut geser (ϕ) dari harga N-SPT untuk tanah dominan

pasir, sedangkan untuk tanah dominan lanau dan lempung dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2. 7 Perkiraan nilai sudut geser (ϕ) dari harga N-SPT untuk tanah dominan pasir (Teng, 1962)

Kondisi Kepadatan	Relative Density (Kepadatan Relatif) R_d	Perkiraan Harga N-SPT	Perkiraan Harga ϕ ($^\circ$)	Perkiraan Berat Volume Jenuh, γ_{sat} (ton/m ³)
<i>Very loose</i> (sangat renggang)	0% s/d 15%	0 s/d 4	0 s/d 28	< 1.60
<i>Loose</i> (renggang)	15% s/d 35%	4 s/d 10	28 s/d 30	1.50 – 2.0
<i>Medium</i> (menengah)	35% s/d 65%	10 s/d 30	30 s/d 36	1.75 – 2.10
<i>Dense</i> (padat)	65% s/d 85%	30 s/d 50	36 s/d 41	1.75 – 2.25
<i>Very dense</i> (sangat padat)	85% s/d 100%	> 50	41*	

Sumber : Mochtar, 2009

Tabel 2. 8 Perkiraan nilai sudut geser (ϕ) dari nilai konsistensi tanah untuk tanah dominan Lanau dan Lempung

Type	Soil Description/State	Effective Cohesion (kPa)	Friction Angle (Degrees)
Cohesive	<i>Soft - organic</i>	5-10	10-20
	<i>Soft – non organic</i>	10-20	15-25
	<i>Stiff</i>	20-50	20-30
	<i>Hard</i>	50-100	25-30

Sumber : Burt G Look

2.9 Analisis Parameter Paku Tanah

Soil nailing yang digunakan berupa tanah yang di bor dengan diameter 100 mm yang berisi besi berdiameter 25 mm, rongga antara besi dengan tanah diisi beton (*grout*) dengan kuat tekan (f_c) 21 Mpa. Modulus elastisitas yang digunakan adalah modulus elastisitas ekuivalen antara besi dengan bahan *grout*.

Pemodelan *soil nailing* pada *Plaxis* menggunakan *Plate*, dimana dalam perhitungan nilai EA dan EI sudah memperhitungkan jarak horizontal antar paku tanah. Berikut persamaan untuk menghitung modulus elastisitas ekuivalen (E_{eq}), *axial stiffness* (EA), dan *bending stiffness* (EI).

$$E_{eq} = E_n \frac{A_n}{A} + E_g \frac{A_g}{A} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$EA = \frac{E_{eq}}{S_H} \times \frac{\pi D_{DH}^2}{4} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$EI = \frac{E_{eq}}{S_H} \times \frac{\pi D_{DH}^4}{64} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

E_n = modulus elastisitas *nail*

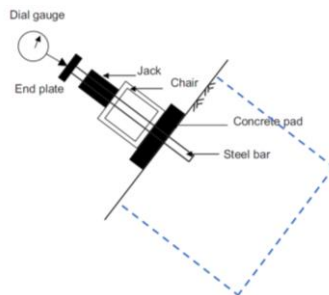
E_g = modulus elastisitas bahan grout

$A = 0.25\pi D_{DH}^2$

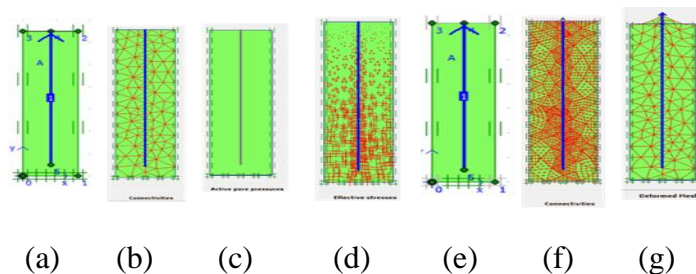
D_{DH} = diameter lubang bor

2.10 Analisis *Movement Pullout* Paku Tanah Menggunakan *Plaxis*

Pemodelan dan perhitungan *movement* paku tanah dianalisis menggunakan *Plaxis* 2D dengan simplifikasi pemodelan geometri tanah disekeliling *soil nail* dapat dilihat pada Gambar 2.7, sedangkan pemodelan dan tahapan analisis *Plaxis* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.7. Ilustrasi Simplifikasi Pemodelan Geometri Tanah Disekeliling *Soil nail* (Zhang, L. L, dkk “Uncertainties of Field *Pullout* Resistance of *Soil nails*”, 2009)



Gambar 2.8 (a) Pemodelan Geometri Secara Grafis, Set Material, *Soil nail* dan Gaya Tarik (b) *Generate Mesh* (c) (d) *Define Initial Condition* (e) (f) *Define Calculate Phases* (g) *Calculate Output*

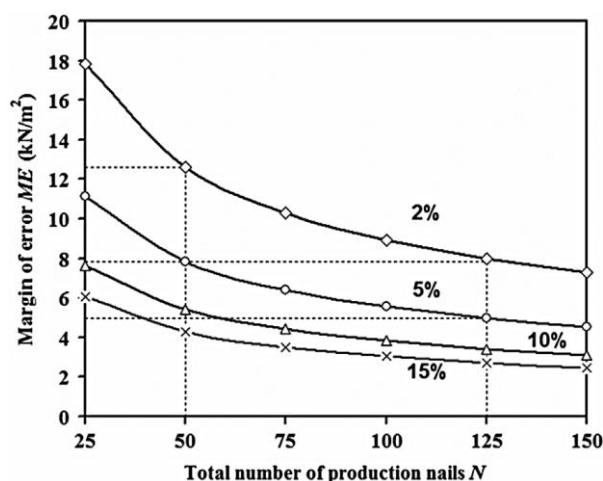
Pada Gambar 2.7 dan 2.8, terlihat ilustrasi pemodelan *Plaxis*, dimana di ujung *nail* diberikan gaya tarik temporary selama 10 menit sesuai gaya tarik masing-masing titik uji (10 dan 12 Ton). Berikut tahapan-tahapan dalam pemodelan dan analisis *Plaxis*, yaitu :

- a. Pembuatan model geometri secara grafis (*define geometri*)
- b. Pembentukan jaring elemen (*generate mesh*)
- c. *Define initial condition*
- d. *Define calculate phases*
- e. *Calculate*
- f. *Inspect result*

2.11 Kecukupan Jumlah Sampel Uji Tarik Paku Tanah Dilapangan

Berbagai pedoman praktik pemakuan tanah yang digunakan dalam berbagai negara menyarankan rekomendasi yang berbeda-beda dalam menentukan jumlah minimum uji cabut pada paku tanah dilapangan. Misalnya, FHWA (2003) merekomendasikan bahwa pengujian penarikan paku tanah harus dilakukan pada 5% dari paku produksi dilapangan. Di sisi lain, Geoguide 7 (2008) merekomendasikan bahwa jumlah uji penarikan lapangan sekitar 2%

Babu, G.L. Sivakumar, dkk (2010) dalam kajian tentang “Adequency of Field *Pullout Testing of Soil nails*” menyatakan pengujian cabut paku tanah di lapangan adalah metode yang diterima secara luas untuk kontrol kualitas konstruksi dan penilaian kinerja dinding paku tanah. Pada tahap desain, uji penarikan lapangan memberikan informasi yang berguna tentang kekuatan ikatan desain antarmuka tanah paku dan penentuan panjang paku tanah minimum. Untuk mendapatkan perkiraan yang andal dan representatif dari kekuatan ikatan desain, perlu dilakukan uji penarikan lapangan dalam jumlah yang cukup. Hasil penelitiannya berupa variasi *margin error* dengan prosentase sampel uji dan jumlah total produksi paku tanah dilapangan dapat dilihat pada Gambar 2.9 dibawah.



Gambar 2.9 Variasi *margin error* dengan prosentase tes tarik dan jumlah total produksi paku tanah (Babu dkk, “*Adequacy of field pullout testing of soil nails*”, 2010)

Gambar 2.9 menyajikan plot dari *margin error* sampel 2%, 5%, 10%, dan 15% versus jumlah total produksi paku tanah dengan asumsi *confidence level* 95%. Terlihat bahwa untuk proyek kecil dengan jumlah paku produksi sebesar 50 titik atau kurang, pada sampel penarikan 2% atau 5% menghasilkan margin kesalahan yang sangat besar. Seiring dengan bertambahnya jumlah produksi dan sampel paku tanah dilapangan, maka *margin error* sampel 2% dan 5% semakin dekat.

Untuk contoh ini, pada proyek dengan jumlah paku produksi yang banyak, penggunaan sampel 2% dan 5% dari pengujian penarikan paku tanah di lapangan menghasilkan interval kepercayaan yang sangat dekat untuk kekuatan ikatan akhir. Secara praktis, jumlah biaya yang signifikan dalam melakukan penarikan tes dapat diefisiensi dengan melakukan tes penarikan hanya pada pada sampel 2% dari produksi bukannya 5%. Namun, kasusnya mungkin berbeda dari satu proyek ke proyek lainnya.

2.12 Statistik Deskriptif

Statistik Deskriptif (*Statistic Descriptive*) adalah cabang ilmu statistika yang mempelajari tentang cara pengumpulan dan penyederhanaan data-data yang diperoleh kemudian menyajikan data-data tersebut menjadi informasi yang bermanfaat dan lebih menarik serta mudah dimengerti. Informasi yang diperoleh

dari Analisis Statistik Deskriptif antara lain adalah Pemusatan data (*Mean*, Median, Modus), Penyebaran data (Standar Deviasi, Varian, Range) dan kecenderungan sekelompok data.

Analisis statistik deskriptif menggunakan Data Analysis di program Ms. Excel. Pengertian dan interpretasi output statistik deskriptifnya adalah sebagai berikut :

- a. *Mean* adalah nilai rata-rata sebuah kelompok data
- b. Standar Error adalah indeks yang menggambarkan sebaran rata-rata sampel terhadap rata-rata dari rata-rata keseluruhan kemungkinan sampel (rata-rata populasi).
- c. Median adalah nilai yang berada di tengah-tengah dari sekumpulan data, jika data tersebut diurutkan baik dari nilai terkecil ke nilai terbesar maupun dari nilai terbesar ke nilai terkecil.
- d. Mode adalah nilai yang paling sering muncul dari sekumpulan data.
- e. Standar Deviasi adalah suatu indeks yang menggambarkan sebaran data terhadap rata-ratanya,
- f. Varians digunakan dalam statistik untuk menggambarkan penyebaran antara kumpulan data dari nilai rata-ratanya
- g. Covariance (koefisien variasi) adalah perbandingan Simpangan Baku (Standar Deviasi) dengan Rata-rata Hitung dan dinyatakan dalam bentuk persentase. Kegunaan koefisien variasi adalah untuk melihat sebaran/distribusi data dari rata-rata hitungnya. Semakin kecil koefisien variasi maka data semakin homogen (seragam), sedangkan semakin besar koefisien variasi maka data semakin heterogen (bervariasi).
- h. Range adalah rentang atau jarak antara nilai maksimum dan nilai minimum
- i. Minimum adalah nilai paling rendah atau paling kecil diantara semua anggota dalam sebuah kelompok data
- j. Maksimum adalah nilai paling tinggi atau besar diantara semua anggota dalam sebuah kelompok data

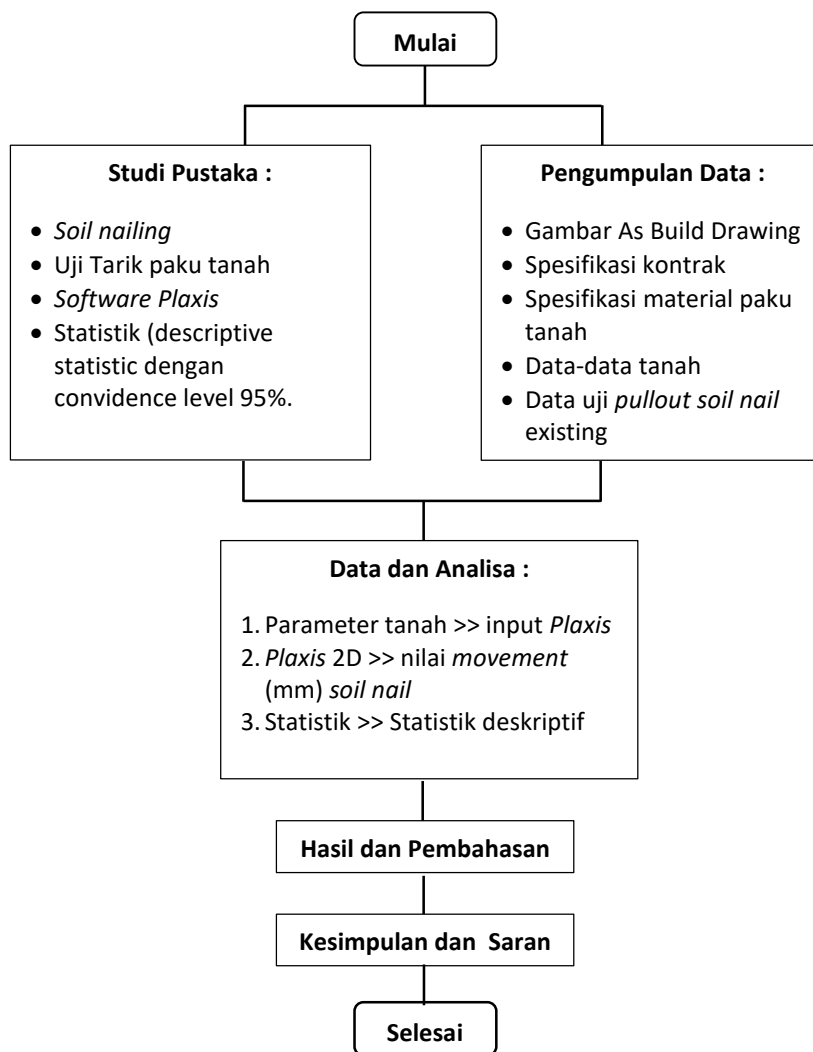
- k. Sum adalah Jumlah nilai semua anggota dalam sebuah kelompok data
- l. Count dalah banyaknya anggota sampel atau observasi di dalam sebuah kelompok data.
- m. *Confidence level* menggambarkan tingkat kepercayaan terhadap hasil kalkulasi
- n. *Margin error* adalah nilai yang dapat menunjukkan perkiraan persentase, atau “perkiraan interval”, yang mengelilingi tebakan yang terkait dengan nilai sebenarnya dari populasi.
- o. Confidence Interval adalah rentang antara dua nilai di mana nilai suatu *Sample Mean* tepat berada di tengah-tengahnya

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir (*Flow Chart*)

Gambar dibawah ini merupakan diagram alir dalam penelitian analisis tahanan tarik paku tanah pada pekerjaan *soil nailing* proyek pembangunan jalan baru batas kota Singaraja-Mengwitani pada seksi 5 dan 6.



Gambar 3.1 Diagram Alir (*Flow Chart*)

3.2 Uraian Tahapan

Tahapan penelitian secara umum dapat dilakukan dengan lima tahap yaitu terdiri dari studi pustaka, pengumpulan data, analisis data, hasil dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran. Adapun tahapan penelitian secara lebih rinci adalah sebagai berikut :

1. Studi pustaka

Melakukan studi pustaka terkait dengan topik dan lokasi penelitian diantaranya studi jurnal-jurnal teknik yang berkaitan antara lain :

- *Soil nailing*
- Uji tarik paku tanah dilapangan
- *Software Plaxis*
- Statistik deskriptif

2. Pengumpulan data

Data yang digunakan dalam penelitian diperoleh dari Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah III Propinsi Bali pada proyek Pembangunan Jalan Baru Batas Kota Singaraja-Mengwitani, antara lain :

- Data stratigrafi tanah.
- Gambar cross section pada *As Build Drawing* pekerjaan *soil nailing*
- Spesifikasi kontrak
- Spesifikasi material paku tanah
- Data-data tanah berupa data borlog (*soil investigation*) dan *summary laboratory test*
- Data hasil uji Tarik paku tanah existing

3. Data dan analisa

- a. Data existing hasil tes *pullout soil nailing* dilapangan sebanyak 67 titik (sampel 5% dari jumlah produksi paku tanah) pada zona 1, 3 dan 4 di Sta. 0+200 s/d 1+700. Panjang *soil nail* bervariasi dari 6 m hingga 12 m. Variasi gaya tarik (*pullout*) 10 - 12 ton.

- b. Parameter tanah yang dipakai pada perhitungan menggunakan nilai hasil pengujian SPT dengan sampel undisturb diambil pada kedalaman yang bervariasi pada masing-masing titik antara 1.5 - 8 m. Pada kondisi kedalaman tanah yang tidak diambil sampel undisturb, maka digunakan tabel korelasi sesuai sub bab 2.8 parameter tanah input *Plaxis*. Parameter tanah yang diinput dalam *Plaxis* adalah parameter tanah dalam kondisi efektif karena tanah yang dianalisis lereng alami dan dominan pasir.
- c. Analisis parameter paku tanah
Soil nailing yang digunakan terdiri tanah yang di bor dengan diameter 100 mm yang berisi besi berdiameter 25 mm, rongga antara besi dengan tanah diisi beton (*grout*) dengan kuat tekan (f_c) 21 Mpa. Modulus elastisitas yang digunakan adalah modulus elastisitas ekuivalen antara besi dengan bahan *grout*. Pemodelan *soil nailing* pada *Plaxis* menggunakan *Plate*
- d. Analisis perhitungan dengan *Plaxis* 2D :
- Pembuatan model geometri secara grafis (*define geometri*)
 - Pembentukan jaring elemen (*generate mesh*)
 - *Define initial condition*
 - *Define calculate phases*
 - *Calculate*
 - *Inspect result*
- e. Analisis statistik deskriptif
Data-data yang diperoleh dari hasil perhitungan *Plaxis* dan data uji Tarik existing diolah secara statistik menggunakan statistik deskriptif pada Data Analysis di program excel add-ins toolpak dengan *confidence level* 95%. Tahapan pekerjaannya adalah sebagai berikut :
- Klik menu Tool, kemudian klik Data Analysis.
 - Pilih “Descriptive Statistics”
 - Pada menu input box Descriptive Statistics pilih Input Range sesuai data yang akan diolah. Pada menu Output Options centang Summary Statistics dan *Confidence level for Mean* 95%. Pilih lokasi penempatan Output Range dan Tekan OK.

4. Hasil dan pembahasan

Hasil analisis statistik dan persamaan regresi linier dapat digunakan untuk memprediksi nilai tahanan tarik paku dilapangan yang tidak dilaksanakan uji penarikan dan mengontrol keandalan konstruksi dilapangan. Untuk menganalisis kecukupan jumlah sampel uji *soil nail* dilapangan ada berbagai pedoman praktik pemakuan tanah yang digunakan dalam berbagai negara menyarankan rekomendasi yang berbeda-beda dalam menentukan jumlah minimum uji cabut pada paku tanah dilapangan. Pada penelitian ini penulis membandingkan sampel 5% existing dari paku produksi dilapangan dengan sampel 2% (rekomendasi Geoguide 7, 2008) secara acak sederhana.

5. Kesimpulan dan saran

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diperoleh beberapa kesimpulan dan saran yang menambah wawasan serta rekomendasi yang bermanfaat dalam memprediksi nilai tahanan tarik paku tanah dilapangan dan kecukupan jumlah sampel uji dalam pekerjaan *soil nailing* untuk mengefisiensi biaya konstruksi dengan mutu pekerjaan tetap terkontrol dengan baik.

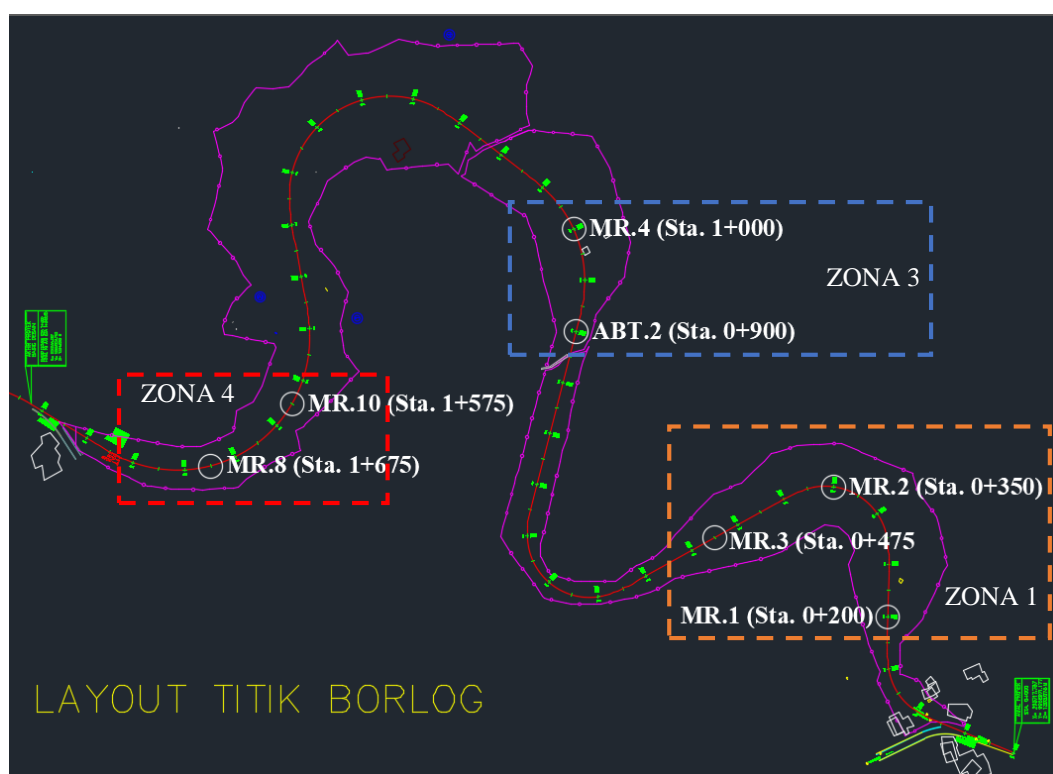
“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

BAB IV

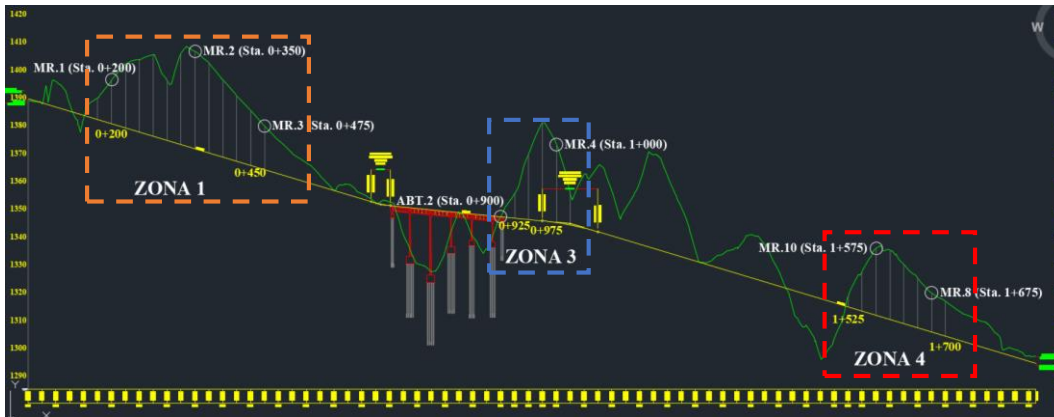
DATA DAN ANALISA

4.1 Data Tanah

Data tanah menggunakan data borlog (Lampiran 1) dan *summary laboratory test* (Lampiran 2) di titik tinjau uji *pullout* atau area terdekat dari titik yang dianalisis, kemudian di plot kedalam tampilan *cross section* yang memuat titik uji *pullout* dan konsistensi tanah per layer. Gambar *cross section* yang digunakan mengacu pada gambar *As Build Drawing* (Lampiran 3). Layout titik borlog di zona 1, 3, dan 4 pekerjaan *soil nailing* seksi 5-6 dapat dilihat pada Gambar 4.1, sedangkan tampilan *long section*nya dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 1 Layout titik borlog zona 1, 3, dan 4 pekerjaan *soil nailing*

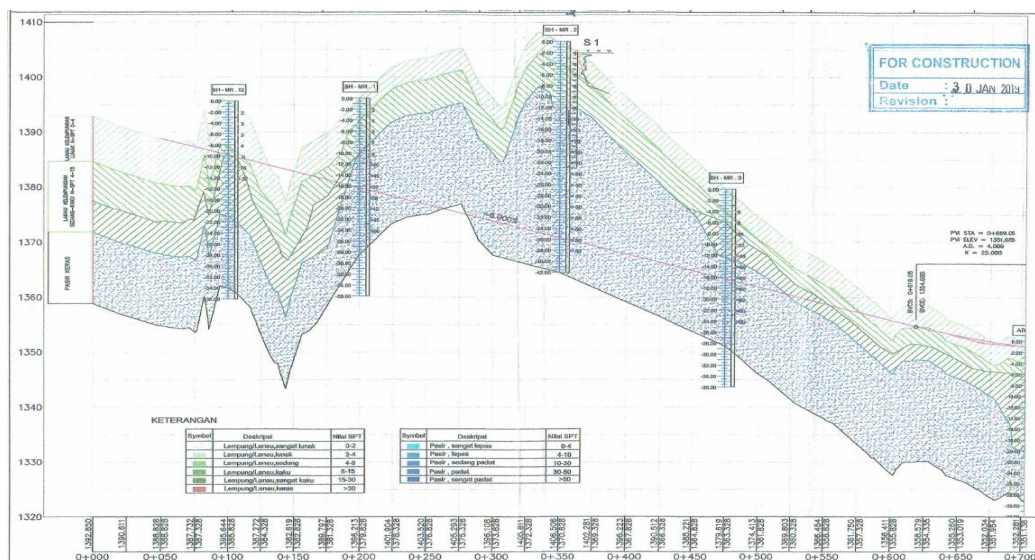


Gambar 4. 2 Long section posisi borlog zona 1, 3, dan 4 pekerjaan soil nailing

Gambar 4.1 dan 4.2 menampilkan sebaran titik borlog tanah pada masing-masing zona, yaitu :

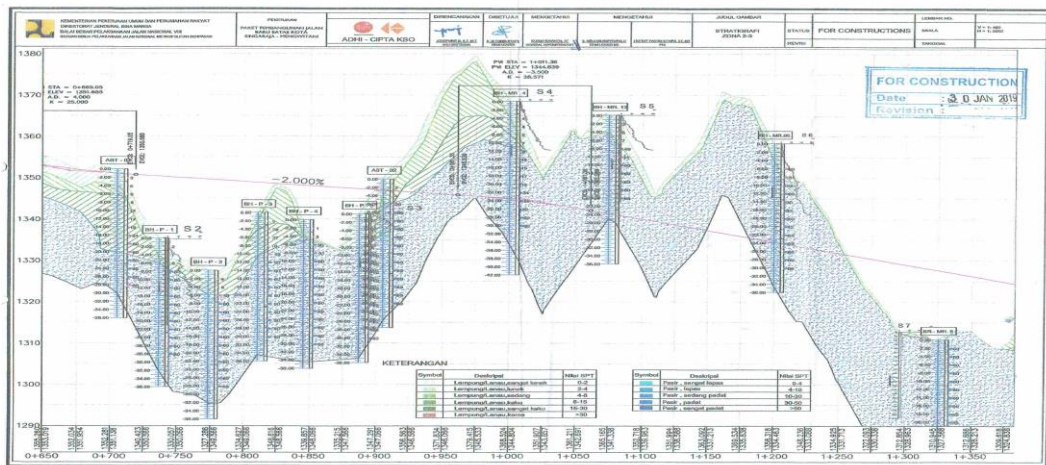
- Pada zona 1 terdapat 3 titik borlog, yaitu MR.1, MR.2, dan MR.3
- Pada zona 3 terdapat 2 titik borlog, yaitu ABT.2 dan MR.4
- Pada zona 4 terdapat 2 titik borlog, yaitu MR.10 dan MR.8

Analisis *Plaxis* menggunakan parameter tanah di titik borlog atau titik borlog yang berdekatan dengan titik *pulout* yang ditinjau. Stratigrafi tanah pada zona 1, 3, dan 4 dapat dilihat pada gambar 4.3 s/d 4.5.

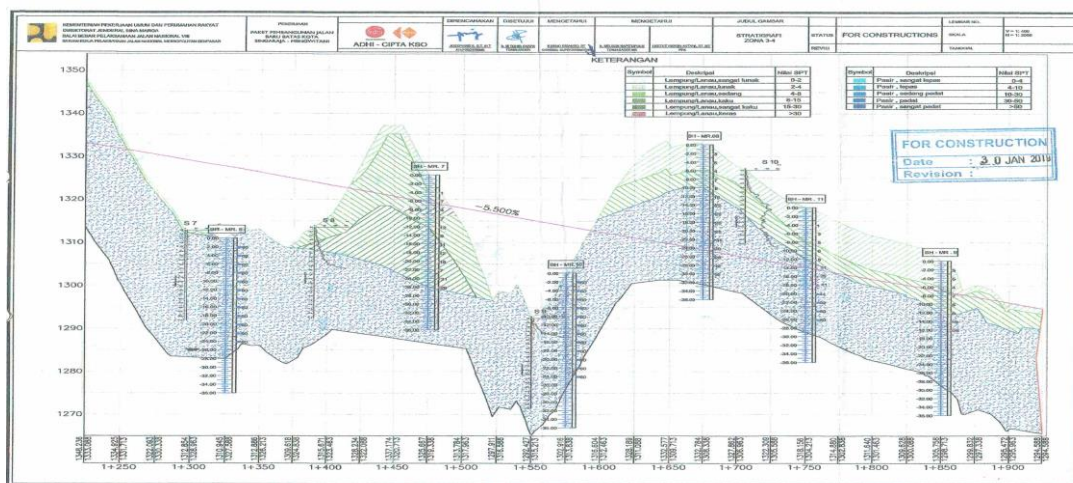


Gambar 4. 3 Stratigrafi tanah zona 1 uji *pullout* Sta. 0+200 s/d 0+450

(Satker PJN Wilayah III Provinsi Bali)



Gambar 4.4 Stratigrafi tanah zona 3 uji *pullout* Sta. 0+925 s/d 0+975
(Satker PJN Wilayah III Provinsi Bali)



Gambar 4.5 Stratigrafi tanah zona 4 uji *pullout* Sta. 1+525 s/d 1+700
(Satker PJN Wilayah III Provinsi Bali)

Dari Gambar 4.3 s/d Gambar 4.5 memperlihatkan stratigrafi tanah pada masing-masing titik secara long section, dimana lapisan tanah dominan adalah pasir keras dengan lapisan tanah di atasnya berupa lanau kelempungan lunak, sedang, dan kaku. Pada ulasan berikut akan ditampilkan hasil perhitungan parameter tanah pada titik tinjau MR.1 (titik tinjau *pullout* no. 44 di Sta. 0+200), sedangkan hasil

perhitungan pada MR.2 s/d MR.10 dapat dilihat pada Lampiran 4. Berikut Tabel 4.1 pengelompokan lapisan tanah dari data borlog lapangan MR 1.

Tabel 4. 1 Pengelompokan lapisan tanah dari data borlog lapangan MR 1

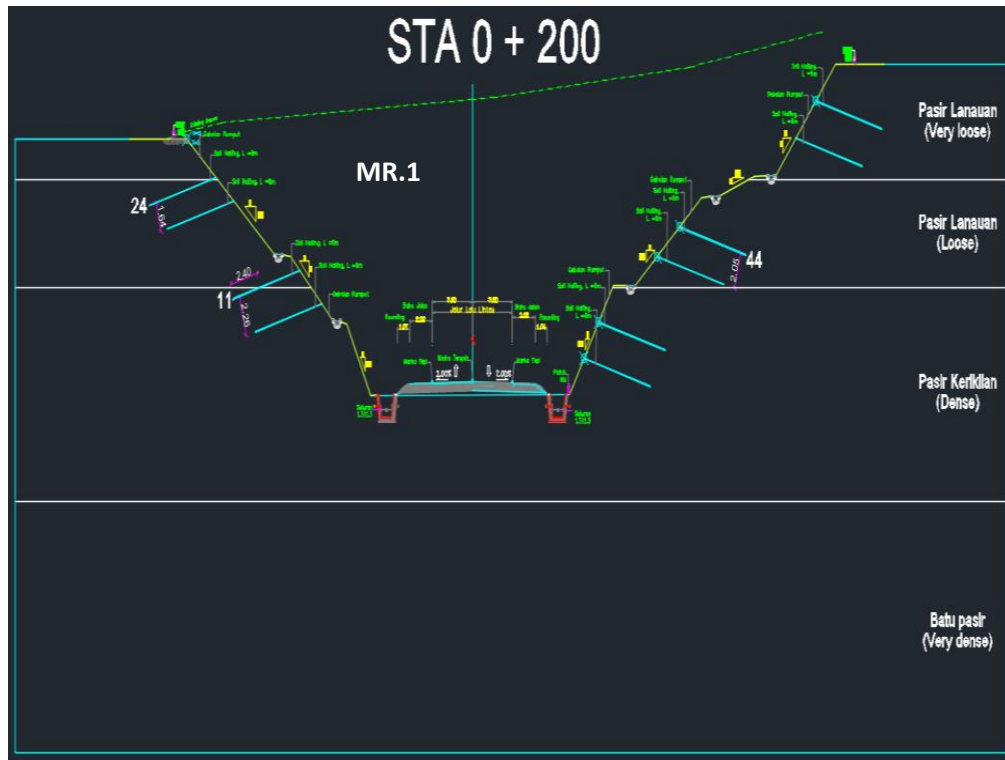
Kedalaman	Deskripsi Material	N-SPT			Konsistensi
		Borlog	Rata-rata	Terpakai	
0					
0 - 2.5	Lanau pasiran	3	3.50	3	<i>Very loose</i>
2.5 - 4.5	Pasir lanauan	4			
4.5 - 6.5	Lanau pasiran	6	7.00	7	<i>Loose</i>
6.5 - 8.5	Pasir lanauan	7			
8.5 - 10.5	Pasir lanauan	8			
10.5 - 12.5	Pasir	40	38.67	38	<i>Dense</i>
12.5 - 14.5	Pasir kerikilan	45			
14.5 - 16.5	Pasir kerikilan	32			
16.5 - 18.5	Pasir kerikilan	28			
18.5 - 20.5	Pasir kerikilan	42			
20.5 - 22.5	Pasir kerikilan	45			
22.5 - 24.5	Batu pasir	60	60.00	60	<i>Very dense</i>

Summary

Kedalaman (m)	Tebal (m)	Deskripsi Material	N-SPT	Konsistensi
0 - 4.5	4.5	Pasir lanauan	3	<i>Very loose</i>
4.5 - 10.5	6	Pasir lanauan	7	<i>Loose</i>
10.5 - 22.5	12	Pasir kerikilan	38	<i>Dense</i>
22.5 - 24.5	2	Batu pasir	60	<i>Very dense</i>

Konsistensi material tanah berdasarkan perkiraan harga N-SPT untuk tanah dominan pasir diambil berdasarkan Tabel 2.1. Hasil pengelompokan lapisan

tanah dari data borlog MR.1 di *plot* kedalam gambar *cross section* Sta. 0+200 pada hasil uji *pullout* titik 11, 24, dan 44 seperti terlihat pada Gambar 4.7 .



Gambar 4. 6 Ilustrasi posisi titik uji *pullout* no. 24, 11, dan 44 dan lapisan tanah titik borlog mr. 1 di *cross section* sta 0+200

Gambar 4.6 menampilkan potongan melintang jalan dan lereng galian sisi kiri dan kanan yang terdapat titik uji *pullout* pekerjaan *soil nailing* dilengkapi lapisan tanah dan konsistensinya. Titik borlog MR.1 tepat berada di as jalan Sta. 0+200. Titik tinjau No. 44 dianalisis menggunakan parameter tanah lanauan konsistensi *loose*.

Pada titik uji *pullout* yang paku tanahnya berada diantara dua lapisan tanah seperti titik uji No. 11, maka parameter tanah yang digunakan adalah kombinasi pasir lanauan konsistensi *loose* dan pasir kerikilan konsistensi *dense* sejarak titik perpotongan paku tanah dengan lapisan tanah tersebut. Berikut Tabel 4.2 perhitungan parameter tanah input *Plaxis* dari data borlog lapangan MR 1.

Tabel 4. 2 Perhitungan parameter tanah input *Plaxis* dari data borlog lapangan MR.1

Kedalaman	Deskripsi Material	N-SPT	Konsistensi	Parameter Input <i>Plaxis</i>										
				Gs	e	γ_w (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	kx (m/day)	ky (m/day)	E (kN/m ²)	v	c (kN/m ²)	ϕ (^o)	Ψ (^o)
a				b		c	d	e		f	g	h	i	j
0 -4.5	Lanau pasiran	3	<i>Very loose</i>	2.44	2.13	9.81	14.31	9E-05	9E-05	14000	0.3	16.68	8.47	5.65
4.5-10.5	Lanau pasiran	7	<i>Loose</i>				15.19	9E-04	9E-04	17000	0.2	0	28.85	19.23
10.5-22.5	Pasir kerikilan	38	<i>Dense</i>				20.15	0.0864	0.0864	62500	0.15	0	37.61	25.07
22.5-24.5	Batu pasir	60	<i>Very dense</i>				22.07	8.64	8.64	135000	0.1	0	41.00	27.33

Summary

Kedalaman (m)	Tebal (m)	Deskripsi Material	N-SPT	Konsistensi	γ_w kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	γ' kN/m ³	h (m)	σ'_{vo} (kN/m ²)	C _N	C _E	C _B	C _R	C _S	N _{I(60)}	E50	v'	c'	ϕ' (^o)	Ψ' (^o)
a							b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
0-4.5	4.5	Pasir lanauan	3	<i>Very loose</i>	9.81	14.31	4.50	4.50	10.12	1.69	1	1	0.8	1	4.06	16231.23	0.20	11.12	5.65	3.76
4.5-10.5	6	Pasir lanauan	7	<i>Loose</i>	9.81	15.19	5.38	6.00	36.39	1.41	1	1	0.8	1	7.9	59081.88	0.13	0.00	19.23	12.82
10.5-22.5	12	Pasir kerikilan	38	<i>Dense</i>	9.81	20.15	10.34	12.00	114.60	0.94	1	1	0.8	1	28.5	213813.05	0.10	0.00	25.07	16.72
22.5-24.5	2	Batu pasir	60	<i>Very dense</i>	9.81	22.07	12.26	2.00	188.91	0.71	1	1	0.8	1	34.2	256386.83	0.07	0.00	27.33	18.22

Parameter tanah yang diinput dalam *Plaxis* adalah parameter tanah dalam kondisi efektif karena tanah yang dianalisis merupakan lereng alami. Berikut penjelasan ringkas dari Tabel parameter tanah input *Plaxis* dari data borlog lapangan diatas :

- a. Konsistensi material tanah berdasarkan perkiraan harga N-SPT untuk tanah dominan pasir (Tabel 2.1)
- b. Nilai Specific Gravity (Gs) dan e diperoleh dari data Summary Laboratory Test (Lampiran 3)
- c. Nilai γ_w diambil sebesar 9.81 kN/m^3 .
- d. Nilai γ_{sat} dihitung berdasarkan rumus untuk sampel undisturbed dan untuk yang tidak ada sampel undisturbednya dihitung berdasarkan dari perkiraan berat volume jenuh (γ_{sat}) dengan harga N-SPT (Tabel 2.1)
- e. Nilai Permeabilitas arah X dan Y (Kx dan Ky) dari korelasi pada Tabel Typical values of coefficient of permeability (Tabel 2.3)
- f. Nilai modulus elastisitas (E) diperoleh dari korelasi pada Tabel range of value, modulus of elasticity (Tabel 2.4)
- g. Nilai poisson ratio (ν) diperoleh dari korelasi pada Tabel perkiraan angka poisson tanah (Tabel 2.5)
- h. Nilai kohesi (c) lanau diperoleh dari nilai korelasi taksiran harga kekuatan geser undrained (Cu) dengan nilai N-SPT (Tabel 2.6)
- i. Nilai sudut geser (ϕ) diperoleh dari data Summary Laboratory Test (lampiran) dan nilai korelasi perkiraan harga (ϕ) dengan nilai N-SPT untuk tanah dominan pasir (Tabel 2.7) dan lanau menggunakan Tabel effective strength of cohesive soil (Tabel 2.7)
- j. Nilai Ψ diambil 2/3 dari nilai sudut geser (ϕ)

Berikut penjelasan pada Tabel *summary* pada perhitungan parameter tanah efektif, yaitu :

- a. Data kedalaman, deskripsi material, N-SPT, konsistensi material, γ_w , γ_{sat} dari Tabel 4.9.
- b. Nilai γ' adalah $\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$

- c. Nilai “h” adalah tinggi efektif vertikal overburden
- d. Nilai tegangan efektif overburden pada kedalaman titik tinjau
- e. Nilai C_N adalah faktor koreksi terhadap tegangan vertikal efektif (nilainya $\leq 1,70$)
- f. Nilai C_E adalah faktor koreksi terhadap rasio tenaga palu
- g. Nilai C_B adalah faktor koreksi terhadap diameter bor
- h. Nilai C_R adalah faktor koreksi untuk panjang batang SPT
- i. Nilai C_S adalah koreksi terhadap tabung contoh (samplers)
- j. Nilai $(N_1)_{60}$ adalah nilai *NSPT* dari hasil pengujian dikoreksi terhadap pengaruh tegangan efektif vertikal (*overburden*) dengan pengaruh efisiensi tenaga 60%. Nilai-nilai koreksi dan persamaan untuk perhitungan $(N_1)_{60}$ diambil dari SNI 4153-2008, yaitu :

$$(N_1)_{60} = N_M \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S \dots\dots\dots(4.1)$$
- k. Nilai nilai modulus elastisitas (E_{50}) dari grafik korelasi hubungan $(N_1)_{60}$ dan E_{50}
- l. Nilai *poisson ratio* efektif (v') diambil 2/3 dari nilai *poisson ratio* Tabel 4.9.
- m. Nilai kohesi efektif (c') didapat dari 2/3 dikali nilai kohesi (c) Tabel 4.9.
- n. Nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') didapat dari 2/3 dikali nilai sudut geser dalam (ϕ) dari Tabel 4.9
- o. Nilai Ψ' diambil 2/3 dari nilai Ψ Tabel 4.9.

4.2 Parameter Soil Nail

Perhitungan nilai parameter paku tanah berupa *nail*, grout, dan nilai ekivalennya yang akan di input ke program *Plaxis* dapat dilihat pada Tabel 4.3 s/d Tabel 4.5 dibawah.

Tabel 4. 3 Perhitungan nilai parameter *nail*

No.	Uraian	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Diameter (D)	25	mm	
2	Jarak horizontal	2	m	
3	Modulus elastisitas (E)	200000	Mpa	SK SNI T-15-1991-03 Ayat 3.1.5

No.	Uraian	Nilai	Satuan	Keterangan
		2E+08	kN/m ²	
4	Luas tulangan (A_n)	0.000490874	m ²	
5	Berat (w)	3.85	Kg/m	SNI 07-2052-2002
		0.0385	kN/m	
6	Poisson ratio (ν)	0.29		Bowles (1986), Kulhawy and Mayne (1990), and Lambe and Withman (1979)

Tabel 4. 4 Perhitungan nilai parameter *grout*

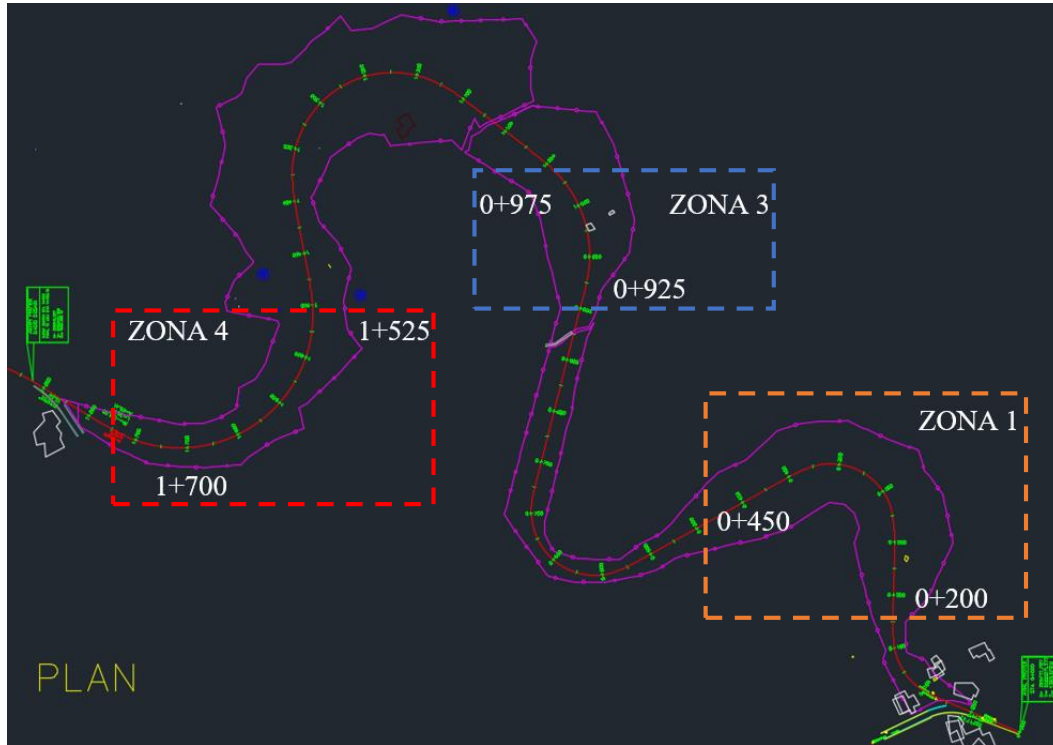
No.	Uraian	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Lubang Bor	100	mm	SNI 8460:2017 10.4.4.1.5
2	Kuat tekan (f_c)	21	Mpa	
3	Modulus elastisitas (E)	21538.10577	Mpa	SK SNI T-15-1991-03 Ayat 3.1.5
		2.15E+07	kN/m ²	
4	Luas <i>cross section</i> (A)	0.007853982	m ²	
5	Luas <i>penampang grout</i> (A_g)	0.007363108	m ²	$A_g = A - A_n$

Tabel 4. 5 Perhitungan modulus elastisitas ekuivalen (E_{eq}), *axial stiffness* (EA), dan *bending stiffness* (EI)

No.	Uraian	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Modulus Elastisitas (E_{eq})	3.27E+07	kN/m ²	Babu, 2009
2	<i>Axial Stiffness</i> (EA)	128381.08	kN/m	Babu, 2009
3	<i>Bending Stiffness</i> (EI)	8.02E+13	kNm ² /m	Babu, 2009

4.3 Maping Titik Uji *Pullout* Dilapangan

Pengujian *pullout* pekerjaan *soil nailing* pada shortcut seksi 5-6 dibagi menjadi 3 zona. Berikut Gambar 4.1 layout pembagian zona uji *pullout* pekerjaan *soil nailing*.



Gambar 4. 7 Layout pembagian zona uji *pullout* pekerjaan *soil nailing* (Sumber : Satker PJN Wilayah III Provinsi Bali)

Gambar 4.7 menampilkan pembagian zona uji *pullout soil nailing*, terlihat zona 1 berada pada Sta. 0+200 s/d 0+450, Zona 3 di Sta. 0+925 s/d 0+975, zona 4 di Sta. 1+515 s/d 1+700. Sebaran titik uji *pullout* pada masing-masing zona dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Monitoring titik uji *pullout* pada zona 1, 3, dan 4

No.	Zona	Titik uji <i>pullout</i> (Sta.)	<i>Soil nail</i> (titik)	
			Total	Sampel Uji
1	Zona 1	0+200 - 0+450		
	Lereng sisi Kanan		632	3

No.	Zona	Titik uji <i>pullout</i> (Sta.)	<i>Soil nail</i> (titik)	
			Total	Sampel Uji
	Lereng sisi Kiri		313	20
2	Zona 3	0+925 - 0+975		
	Lereng sisi Kanan		123	8
	Lereng sisi Kiri		101	10
3	Zona 4	1+525 - 1+700		
	Lereng sisi Kanan		32	8
	Lereng sisi Kiri		108	18
Jumlah			1.321	67

(Sumber : Satker PJN III Bali, laporan uji *pullout soil nailing*)

Tabel 4.6 menyajikan data jumlah sampel uji *pullout* sebanyak 67 titik dan total produksi *soil nailing* dilapangan sebanyak 1.312 titik yang tersebar pada zona 1, 3, dan 4 di lereng sisi kanan dan kiri (Lampiran 5). Rekapitulasi hasil uji *pullout* dilapangan pada zona 1, 3, dan 4 pada lereng sisi kanan dan kiri dapat dilihat pada Tabel 4.7 s/d Tabel 4.12 dibawah ini.

Tabel 4. 7 Hasil tes *pullout soil nailing* zona 1 sisi Kanan dilapangan

Sta.	No. Titik	Trap.	Tgl. Uji	<i>Movement</i> (mm)	Panjang Paku	Tmax (Ton)
0+200	44	2	30-Nov-19	1.516	6	10
0+250	19	2	30-Nov-19	2.975		
0+425	60	2	30-Nov-19	2.521	7	

(Sumber : Satker PJN III Bali, laporan uji *pullout soil nailing*)

Tabel 4. 8 Hasil tes *pullout soil nailing* zona 1 sisi Kiri dilapangan

Sta.	No. Titik	Trap.	Tgl. Uji	<i>Movement</i> (mm)	Panjang Paku	Tmax (Ton)
0+200	11	1	26-Nov-19	1.594	6	10
	24	2	27-Nov-19	1.430		

Sta.	No. Titik	Trap.	Tgl. Uji	Movement (mm)	Panjang Paku	Tmax (Ton)
0+225	15	1	26-Nov-19	1.770		
	16	2	26-Nov-19	2.265		
	22	1	26-Nov-19	2.580		
	26	3	27-Nov-19	2.695		
	30	1	26-Nov-19	2.245		
0+250	37	1	27-Nov-19	2.290		
0+300	75	3	27-Nov-19	2.385		
	76	3	27-Nov-19	2.285		
0+325	82	2	28-Nov-19	2.940		
	100	3	28-Nov-19	2.679		
0+350	124	3	28-Nov-19	2.380		
	127	3	28-Nov-19	1.665		
	129	3	28-Nov-19	2.391		
0+450	12	4	29-Nov-19	1.353		
	20	4	29-Nov-19	2.115		
	133	3	28-Nov-19	2.540		
	136	3	29-Nov-19	2.289		
	149	3	29-Nov-19	2.535		

(Sumber : Satker PJN III Bali, laporan uji pullout *soil nailing*)

Tabel 4. 9 Hasil Tes *Pullout Soil nailing* Zona 3 Sisi Kanan Dilapangan

Sta.	No. Titik	Trap.	Tgl. Uji	Movement (mm)	Panjang Paku	Tmax (Ton)
0+950	72	4	24-Nov-19	1.860	10	12
	91	3	24-Nov-19	2.332		
0+975	31	3	23-Nov-19	2.295		
	34	3	24-Nov-19	2.435		
	26	3	24-Nov-19	2.740		
	71	4	23-Nov-19	2.332		

Sta.	No. Titik	Trap.	Tgl. Uji	Movement (mm)	Panjang Paku	Tmax (Ton)
	98	5	23-Nov-19	2.910		
	110	6	23-Nov-19	2.505		

(Sumber : Satker PJN III Bali, laporan uji pullout soil nailing)

Tabel 4. 10 Hasil Tes *Pullout Soil nailing* Zona 3 Sisi Kiri Dilapangan

Sta.	No. Titik	Trap.	Tgl. Uji	Movement (mm)	Panjang Paku	Tmax (Ton)
0+925	1	2	13-Nov-19	2.174		
0+950	12	2	13-Nov-19	1.868	7	10
	19	2	23-Nov-19	1.535		
	27	3	22-Nov-19	1.390		
	38	3	22-Nov-19	1.900		
	45	3	22-Nov-19	2.290		
	62	2	12-Nov-19	1.345		
	48	3	22-Nov-19	1.110		
	89	4	23-Nov-19	2.875		
0+975	100	4	23-Nov-19	1.360		

(Sumber : Satker PJN III Bali, laporan uji pullout soil nailing)

Tabel 4. 11 Hasil Tes *Pullout Soil nailing* Zona 4 Sisi Kanan Dilapangan

Sta.	No. Titik	Trap.	Tgl. Uji	Movement (mm)	Panjang Paku	Tmax (Ton)
1+700	1	1	21-Nov-19	2.630	7	10
	2	1	21-Nov-19	2.791		
	3	1	11-Nov-19	2.265		
	6	2	21-Nov-19	2.912		
	7	3	14-Nov-19	2.165		
	8	3	16-Nov-19	1.500		
	9	3	16-Nov-19	1.595		

Sta.	No. Titik	Trap.	Tgl. Uji	Movement (mm)	Panjang Paku	Tmax (Ton)
	10	3	16-Nov-19	1.390		

(Sumber : Satker PJN III Bali, laporan uji pullout *soil nailing*)

Tabel 4. 12 Hasil Tes *Pullout Soil nailing* Zona 4 Sisi Kiri Dilapangan

Sta.	No. Titik	Trap.	Tgl. Uji	Movement (mm)	Panjang Paku	Tmax (Ton)	
1+525	13	2	14-Nov-19	3.145	10	12	
	19	2	14-Nov-19	2.275	12		
	33	2	17-Nov-19	1.486			
	35	2	19-Nov-19	1.520			
	39	2	17-Nov-19	1.520			
1+550	6	2	13-Nov-19	3.164			12
	8	2	15-Nov-19	4.255			
	17	2	18-Nov-19	2.390			
	54	2	17-Nov-19	2.625			
	56	2	19-Nov-19	3.875			
	69	2	18-Nov-19	3.414			
1+575	3	2	15-Nov-19	1.901	10	12	
	25	2	20-Nov-19	1.210	12		
	61	2	15-Nov-19	2.305			
	64	2	12-Nov-19	6.496			
	71	2	12-Nov-19	3.623			
	86	2	20-Nov-19	3.672			
	98	2	21-Nov-19	2.390			

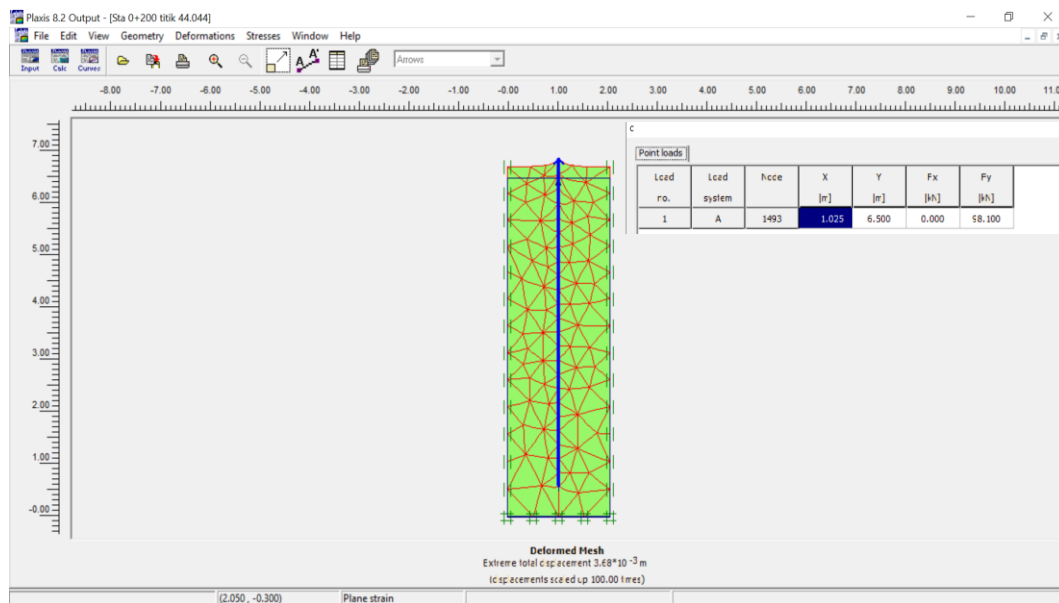
(Sumber : Satker PJN III Bali, laporan uji pullout *soil nailing*)

Tabel 4.7 s/d Tabel 4.12 diatas menyajikan data hasil uji *pullout* existing dilapangan sebanyak 67 titik pada zona 1, 3 dan 4 di Sta. 0+200 – 1+700. Panjang *soil nail* bervariasi dari 6 m hingga 12 m. Gaya tarik (*pullout*) diberikan pada masing-masing titik bervariasi yaitu 10 ton dan 12 ton.

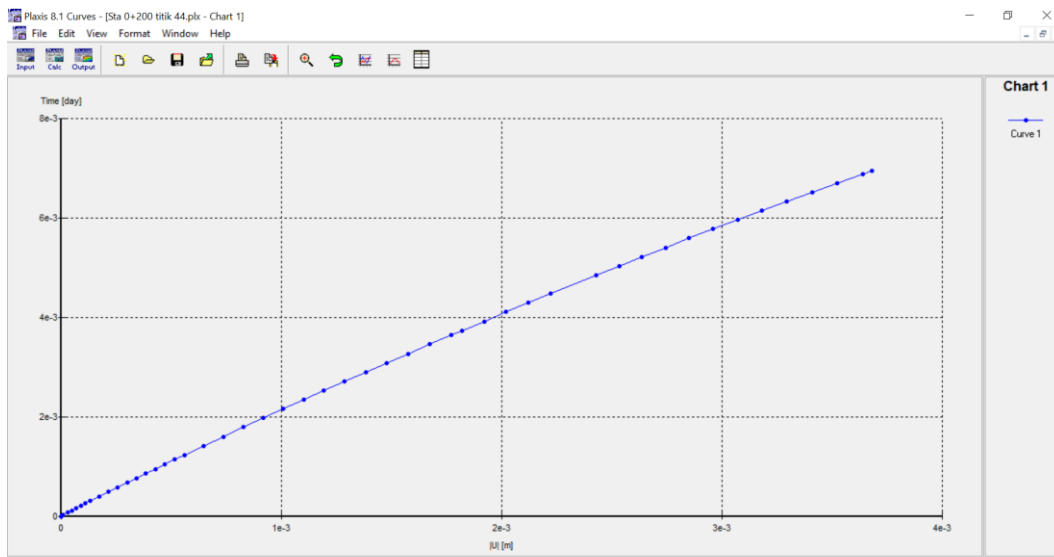
4.4 Analisis Perhitungan dengan *Plaxis*

Pemodelan di *Plaxis* menggunakan plain strain dengan elemen *15-node*, satuan dimensi dalam meter (m), dan satuan gaya dalam kN. Pemodelan tanah menggunakan *Mohr Coulomb*, perilaku material *undrained*, dan analisa dalam tegangan efektif. Pemodelan *nail* menggunakan *plate*, dimana jarak horizontal antar *nail* sudah diperhitungkan dalam perhitungan EA dan EI *nail*.

Pemodelan dilakukan pada masing-masing titik uji *pullout* dengan boundry disekitar soil nail. Input material dan parameter tanah sesuai area boundry soil nail. Kemudian Input parameter nail dan gaya tarik sebesar 10 ton (98.1 kN, sesuai titik tinjau) di titik ujung nail selama 10 menit. Selanjutnya dianalisis sesuai tahapan yang sudah diuraikan di bab sebelumnya sehingga diperoleh output calculate berupa nilai *movement pullout* soil nail. Berikut Gambar 4.8 *output calculate* nilai *movement* simulasi *Plaxis* dan Gambar 4.9 perbandingan nilai *movement* dengan waktu *pullout* pada titik tinjau uji *pullout* No. 44 Sta. 0+200.



Gambar 4. 8 *Output calculate* nilai *movement* titik tinjau *pullout* No. 44 Sta. 0+200



Gambar 4. 9 *Output calculate* perbandingan nilai *movement* dan waktu *pullout* di titik tinjau *pullout* No. 44 Sta. 0+200

Gambar 4.8 diatas menampilkan *output calculate* Titik tinjau *pullout* No. 44 di Sta. 0+200 menggunakan data tanah MR.1 (Sta. 0+200) dengan lapisan tanah pasir lanauan konsistensi *loose*, diperoleh hasil *movement pullout soil nail* sebesar 3.68 mm. Gambar 4.9 menampilkan perbandingan nilai *movement* yang terjadi dengan waktu *pullout*, dimana pada waktu penarikan 10 menit (0.0069 day) terjadi *movement pullout soil nail* sebesar 3.68 mm. Data pemodelan dan analisis *Plaxis* seluruh titik tinjau uji *pullout* dapat dilihat pada Lampiran 6. Berikut Tabel 4.13 s/d Tabel 4.18 hasil *movement pullout* simulasi *Plaxis* pada zona 1, 3, dan 4 di lereng sisi kanan dan kiri.

Tabel 4. 13 Hasil simulasi *Plaxis* zona 1 sisi Kanan

Titik <i>Pullout</i>		Borlog		Lapisan Tanah		<i>Movement</i> (mm)
Sta.	No.	No.	Sta.	Deskripsi	Konsistensi	
0+200	44	MR.1	0+200	Pasir lanauan	<i>Loose</i>	3.680
0+250	19	MR.1	0+200	Pasir kerikilan	<i>Dense</i>	2.140
0+425	60	MR.3	0+475	Pasir padat	<i>Very dense</i>	2.090

Tabel 4. 14 Hasil simulasi *Plaxis* zona 1 sisi Kiri

Titik <i>Pullout</i>		Borlog		Lapisan Tanah		<i>Movement</i> (mm)		
Sta.	No.	No.	Sta.	Deskripsi	Konsistensi			
0+200	11	MR.1	0+200	Pasir lanauan	<i>Loose</i>	2.640		
	24			Pasir lanauan	<i>Loose</i>	4.090		
0+225	15			Pasir kerikilan	<i>Dense</i>	2.430		
	16			Pasir kerikilan	<i>Dense</i>	2.420		
	22			Pasir kerikilan	<i>Dense</i>	2.430		
	26			Pasir kerikilan	<i>Dense</i>	2.230		
	30			Pasir kerikilan	<i>Dense</i>	2.430		
0+250	37					Pasir kerikilan	<i>Dense</i>	2.430
0+300	75			MR.2	0+350	Pasir lanauan	<i>Loose</i>	3.890
	76					Pasir lanauan	<i>Loose</i>	3.890
0+325	82	Batu pasir	<i>Very dense</i>			2.220		
	100	Batu pasir	<i>Very dense</i>			2.220		
0+350	124	Batu pasir	<i>Very dense</i>			2.140		
	127	Batu pasir	<i>Very dense</i>			2.140		
	129	Batu pasir	<i>Very dense</i>			2.140		
0+450	12	MR.3	0+475			Lanau pasiran	<i>Soft</i>	6.460
	20					Lanau pasiran	<i>Soft</i>	6.460
	133					Lanau keras	<i>Hard</i>	2.250
	136			Lanau keras	<i>Hard</i>	2.170		
	149			Lanau keras	<i>Hard</i>	2.410		

Tabel 4. 15 Hasil simulasi *Plaxis* zona 3 sisi Kanan

Titik <i>Pullout</i>		Borlog		Lapisan Tanah		<i>Movement</i> (mm)
Sta.	No.	No.	Sta.	Deskripsi	Konsistensi	
0+950	72	MR.2	0+350	Kerikil pasiran	<i>Very dense</i>	2.200
	91			Lanau keras	<i>Very stiff</i>	2.980
0+975	31	MR.4	1+000	Kerikil pasiran	<i>Dense</i>	3.670
	34			Kerikil pasiran	<i>Dense</i>	3.820
	26			Kerikil pasiran	<i>Dense</i>	3.670

Titik <i>Pullout</i>		Borlog		Lapisan Tanah		<i>Movement</i> (mm)
Sta.	No.	No.	Sta.	Deskripsi	Konsistensi	
	71			Pasir kasar	<i>Medium</i>	5.630
	98			Pasir kasar	<i>Medium</i>	4.980
	110			Lanau pasiran	<i>Soft</i>	8.270

Tabel 4. 16 Hasil simulasi *Plaxis* zona 3 sisi Kiri

Titik <i>Pullout</i>		Borlog		Lapisan Tanah		<i>Movement</i> (mm)
Sta.	No.	No.	Sta.	Deskripsi	Konsistensi	
0+925	1	ABT.2	0+900	Kerikil pasiran	<i>Very dense</i>	2.200
	12			Kerikil pasiran	<i>Very dense</i>	2.200
	19			Kerikil pasiran	<i>Very dense</i>	2.200
	27			Lanau keras	<i>Very stiff</i>	2.030
0+950	38			Lanau keras	<i>Very stiff</i>	2.070
	45			Lanau keras	<i>Very stiff</i>	2.110
	62			Lanau keras	<i>Very stiff</i>	1.910
	48			Lanau keras	<i>Very stiff</i>	2.400
	89			Lanau keras	<i>Very stiff</i>	2.670
0+975	100			MR.4	1+000	Pasir kasar

Tabel 4. 17 Hasil simulasi *Plaxis* zona 4 sisi Kanan

Titik <i>Pullout</i>		Borlog		Lapisan Tanah		<i>Movement</i> (mm)
Sta.	No.	No.	Sta.	Deskripsi	Konsistensi	
1+700	1	MR.8	1+675	Lanau pasiran	<i>Stiff</i>	3.110
	2			Lanau pasiran	<i>Stiff</i>	2.970
	3			Lanau pasiran	<i>Stiff</i>	2.850
	6			Lanau pasiran	<i>Soft</i>	7.940
	7			Lanau pasiran	<i>Soft</i>	7.940
	8			Lanau pasiran	<i>Soft</i>	7.940
	9			Lanau pasiran	<i>Soft</i>	8.480
	10			Lanau pasiran	<i>Soft</i>	8.480

Tabel 4. 18 Hasil simulasi *Plaxis* zona 4 sisi Kiri

Titik <i>Pullout</i>		Borlog		Lapisan Tanah		<i>Movement</i> (mm)
Sta.	No.	No.	Sta.	Deskripsi	Konsistensi	
1+525	13	MR.10	1+575	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>	3.010
	19			Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>	3.290
	33			Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>	3.290
	35			Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>	3.290
	39			Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>	3.290
1+550	6			Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>	3.290
	8			Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>	3.290
	17			Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>	3.290
	54			Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>	3.290
	56			Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>	3.290
	69			Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>	3.290
1+575	3			Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>	3.040
	25			Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>	3.330
	61			Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>	3.330
	64	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>	3.330		
	71	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>	3.330		
	86	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>	3.330		
	98	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>	3.330		

Tabel 4.13 s/d 4.18 menyajikan hasil *movement pullout* hasil simulasi *Plaxis* zona 1, 3, dan 4 pada lereng sisi Kanan dan Kiri yang dikelompokkan berdasarkan area *cross section* di masing-masing zona. Seluruh hasil nilai *movement pullout* simulasi *Plaxis* berada dibawah nilai kriteria penerimaan *movement pullout* sebesar 10.287 mm

4.5 Kecukupan Minimum Sampel Uji Dilapangan

Kecukupan minimum sampel uji dilapangan sesuai dengan penelitian Babu, G.L. Sivakumar, dkk (2010) dalam kajian tentang “Adequency of Field *Pullout* Testing of *Soil nails*”, selanjutnya akan dianalisis perbedaan *margin error*

sampel uji existing sebesar 5% dibandingkan sampel uji 2% (Geoguide7, 2008) yang diacak sederhana. Penyebaran sampel uji tarik paku tanah dilapangan sebesar 5% dapat dilihat pada Tabel 4.19. Sedangkan, *simple random sampling* uji uji tarik paku tanah dilapangan pada sampel 2% disajikan pada Tabel 4.20.

Tabel 4. 19 Penyebaran sampel uji tarik paku tanah dilapangan sebesar 5%

No.	Uji <i>Pullout</i>			Zona	Sta.	Material Borlog	
	No. Titik	<i>Movement</i> (mm)	Rasio*			Deskripsi	Konsistensi
1	35	1.52	14.78%	Zona 4 (Kiri)	1+525	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
2	39	1.52	14.78%	Zona 4 (Kiri)	1+525	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
3	6	3.164	30.76%	Zona 4 (Kiri)	1+550	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
4	8	4.255	41.36%	Zona 4 (Kiri)	1+550	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
5	17	2.39	23.23%	Zona 4 (Kiri)	1+550	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
6	54	2.625	25.52%	Zona 4 (Kiri)	1+550	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
7	56	3.875	37.67%	Zona 4 (Kiri)	1+550	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
8	69	3.414	33.19%	Zona 4 (Kiri)	1+550	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
9	3	1.901	18.48%	Zona 4 (Kiri)	1+575	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
10	25	1.21	11.76%	Zona 4 (Kiri)	1+575	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
11	61	2.305	22.41%	Zona 4 (Kiri)	1+575	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
12	64	6.496	63.15%	Zona 4 (Kiri)	1+575	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
13	71	3.623	35.22%	Zona 4 (Kiri)	1+575	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
14	86	3.672	35.70%	Zona 4 (Kiri)	1+575	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
15	98	2.39	23.23%	Zona 4 (Kiri)	1+575	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
16	62	1.345	13.07%	Zona 3 (Kiri)	0+950	Lanau keras	<i>Very stiff</i>
17	48	1.11	10.79%	Zona 3 (Kiri)	0+950	Lanau keras	<i>Very stiff</i>
18	89	2.875	27.95%	Zona 3 (Kiri)	0+950	Lanau keras	<i>Very stiff</i>
19	100	1.36	13.22%	Zona 3 (Kiri)	0+975	Pasir kasar	<i>Medium</i>
20	1	2.63	25.57%	Zona 4 (Kanan)	1+700	Lanau pasiran	<i>Stiff</i>
21	2	2.791	27.13%	Zona 4 (Kanan)	1+700	Lanau pasiran	<i>Stiff</i>
22	3	2.265	22.02%	Zona 4 (Kanan)	1+700	Lanau pasiran	<i>Stiff</i>
23	6	2.912	28.31%	Zona 4 (Kanan)	1+700	Lanau pasiran	<i>Soft</i>
24	7	2.165	21.05%	Zona 4 (Kanan)	1+700	Lanau pasiran	<i>Soft</i>
25	8	1.5	14.58%	Zona 4 (Kanan)	1+700	Lanau pasiran	<i>Soft</i>
26	9	1.595	15.51%	Zona 4 (Kanan)	1+700	Lanau pasiran	<i>Soft</i>
27	10	1.39	13.51%	Zona 4 (Kanan)	1+700	Lanau pasiran	<i>Soft</i>

No.	Uji Pullout			Zona	Sta.	Material Borlog	
	No. Titik	Movement (mm)	Rasio*			Deskripsi	Konsistensi
28	13	3.145	30.57%	Zona 4 (Kiri)	1+525	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
29	19	2.275	22.12%	Zona 4 (Kiri)	1+525	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
30	33	1.486	14.45%	Zona 4 (Kiri)	1+525	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
31	44	1.516	14.74%	Zona 1 (Kanan)	0+200	Pasir lanauan	<i>Loose</i>
32	19	2.975	28.92%	Zona 1 (Kanan)	0+250	Pasir kerikilan	<i>Dense</i>
33	60	2.521	24.51%	Zona 1 (Kanan)	0+425	Pasir padat	<i>Very dense</i>
34	11	1.594	15.50%	Zona 1 (Kiri)	0+200	Pasir lanauan	<i>Loose</i>
35	24	1.43	13.90%	Zona 1 (Kiri)	0+200	Pasir lanauan	<i>Loose</i>
36	15	1.77	17.21%	Zona 1 (Kiri)	0+225	Pasir kerikilan	<i>Dense</i>
37	16	2.265	22.02%	Zona 1 (Kiri)	0+225	Pasir kerikilan	<i>Dense</i>
38	22	2.58	25.08%	Zona 1 (Kiri)	0+225	Pasir kerikilan	<i>Dense</i>
39	26	2.695	26.20%	Zona 1 (Kiri)	0+225	Pasir kerikilan	<i>Dense</i>
40	30	2.245	21.82%	Zona 1 (Kiri)	0+225	Pasir kerikilan	<i>Dense</i>
41	37	2.29	22.26%	Zona 1 (Kiri)	0+250	Pasir kerikilan	<i>Dense</i>
42	75	2.385	23.18%	Zona 1 (Kiri)	0+300	Pasir lanauan	<i>Loose</i>
43	76	2.285	22.21%	Zona 1 (Kiri)	0+300	Pasir lanauan	<i>Loose</i>
44	82	2.94	28.58%	Zona 1 (Kiri)	0+325	Batu pasir	<i>Very dense</i>
45	100	2.679	26.04%	Zona 1 (Kiri)	0+325	Batu pasir	<i>Very dense</i>
46	124	2.38	23.14%	Zona 1 (Kiri)	0+350	Batu pasir	<i>Very dense</i>
47	127	1.665	16.19%	Zona 1 (Kiri)	0+350	Batu pasir	<i>Very dense</i>
48	129	2.391	23.24%	Zona 1 (Kiri)	0+350	Batu pasir	<i>Very dense</i>
49	12	1.353	13.15%	Zona 1 (Kiri)	0+450	Lanau pasiran	<i>Soft</i>
50	20	2.115	20.56%	Zona 1 (Kiri)	0+450	Lanau pasiran	<i>Soft</i>
51	133	2.54	24.69%	Zona 1 (Kiri)	0+450	Lanau keras	<i>Hard</i>
52	136	2.289	22.25%	Zona 1 (Kiri)	0+450	Lanau keras	<i>Hard</i>
53	149	2.535	24.64%	Zona 1 (Kiri)	0+450	Lanau keras	<i>Hard</i>
54	72	1.86	18.08%	Zona 3 (Kanan)	0+950	Kerikil pasiran	<i>Very dense</i>
55	91	2.332	22.67%	Zona 3 (Kanan)	0+950	Lanau keras	<i>Very stiff</i>
56	31	2.295	22.31%	Zona 3 (Kanan)	0+975	Kerikil pasiran	<i>Dense</i>
57	34	2.435	23.67%	Zona 3 (Kanan)	0+975	Kerikil pasiran	<i>Dense</i>
58	26	2.74	26.64%	Zona 3 (Kanan)	0+975	Kerikil pasiran	<i>Dense</i>
59	71	2.332	22.67%	Zona 3 (Kanan)	0+975	Pasir kasar	<i>Medium</i>
60	98	2.91	28.29%	Zona 3 (Kanan)	0+975	Pasir kasar	<i>Medium</i>
61	110	2.505	24.35%	Zona 3 (Kanan)	0+975	Lanau pasiran	<i>Soft</i>

No.	Uji Pullout			Zona	Sta.	Material Borlog	
	No. Titik	Movement (mm)	Rasio*			Deskripsi	Konsistensi
62	1	2.174	21.13%	Zona 3 (Kiri)	0+925	Kerikil pasiran	<i>Very dense</i>
63	12	1.868	18.16%	Zona 3 (Kiri)	0+950	Kerikil pasiran	<i>Very dense</i>
64	19	1.535	14.92%	Zona 3 (Kiri)	0+950	Kerikil pasiran	<i>Very dense</i>
65	27	1.39	13.51%	Zona 3 (Kiri)	0+950	Lanau keras	<i>Very stiff</i>
66	38	1.9	18.47%	Zona 3 (Kiri)	0+950	Lanau keras	<i>Very stiff</i>
67	45	2.29	22.26%	Zona 3 (Kiri)	0+950	Lanau keras	<i>Very stiff</i>
Rata-rata		2.346	22.81%				
St. Deviasi		0.846	8.22%				

* Rasio terhadap nilai kriteria penerimaan *movement pullout* sebesar 10.287mm

Tabel 4. 20 *Simple random sampling uji pullout soil nail* dilapangan pada sampel 2%

No.	Uji Pullout			Zona	Sta.	Material Borlog	
	No. Titik	Movement (mm)	Rasio*			Deskripsi	Konsistensi
1	6	3.164	30.76%	Zona 4 (Kiri)	1+550	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
2	17	2.39	23.23%	Zona 4 (Kiri)	1+550	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
3	56	3.875	37.67%	Zona 4 (Kiri)	1+550	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
4	3	1.901	18.48%	Zona 4 (Kiri)	1+575	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
5	48	1.11	10.79%	Zona 3 (Kiri)	0+950	Lanau keras	<i>Very stiff</i>
6	71	3.623	35.22%	Zona 4 (Kiri)	1+575	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
7	61	2.305	22.41%	Zona 4 (Kiri)	1+575	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
8	100	1.36	13.22%	Zona 3 (Kiri)	0+975	Pasir kasar	<i>Medium</i>
9	2	2.791	27.13%	Zona 4 (Kanan)	1+700	Lanau pasiran	<i>Stiff</i>
10	8	1.5	14.58%	Zona 4 (Kanan)	1+700	Lanau pasiran	<i>Soft</i>
11	10	1.39	13.51%	Zona 4 (Kanan)	1+700	Lanau pasiran	<i>Soft</i>
12	19	2.275	22.12%	Zona 4 (Kiri)	1+525	Pasir + Boulder	<i>Very dense</i>
13	19	2.975	28.92%	Zona 1 (Kanan)	0+250	Pasir kerikilan	<i>Dense</i>
14	11	1.594	15.50%	Zona 1 (Kiri)	0+200	Pasir lanauan	<i>Loose</i>
15	15	1.77	17.21%	Zona 1 (Kiri)	0+225	Pasir kerikilan	<i>Dense</i>
16	30	2.245	21.82%	Zona 1 (Kiri)	0+225	Pasir kerikilan	<i>Dense</i>
17	75	2.385	23.18%	Zona 1 (Kiri)	0+300	Pasir lanauan	<i>Loose</i>
18	82	2.94	28.58%	Zona 1 (Kiri)	0+325	Batu pasir	<i>Very dense</i>

No.	Uji <i>Pullout</i>			Zona	Sta.	Material Borlog	
	No. Titik	<i>Movement</i> (mm)	Rasio*			Deskripsi	Konsistensi
19	127	1.665	16.19%	Zona 1 (Kiri)	0+350	Batu pasir	<i>Very dense</i>
20	12	1.353	13.15%	Zona 1 (Kiri)	0+450	Lanau pasiran	<i>Soft</i>
21	133	2.54	24.69%	Zona 1 (Kiri)	0+450	Lanau keras	<i>Hard</i>
22	91	2.332	22.67%	Zona 3 (Kanan)	0+950	Lanau keras	<i>Very stiff</i>
23	34	2.435	23.67%	Zona 3 (Kanan)	0+975	Kerikil pasiran	<i>Dense</i>
24	71	2.332	22.67%	Zona 3 (Kanan)	0+975	Pasir kasar	<i>Medium</i>
25	1	2.174	21.13%	Zona 3 (Kiri)	0+925	Kerikil pasiran	<i>Very dense</i>
26	38	1.9	18.47%	Zona 3 (Kiri)	0+950	Lanau keras	<i>Very stiff</i>
27	45	2.29	22.26%	Zona 3 (Kiri)	0+950	Lanau keras	<i>Very stiff</i>
Rata-rata		2.245	21.82%				
St. Deviasi		0.687	6.68%				

* Rasio terhadap nilai kriteria penerimaan *movement pullout* sebesar 10.287mm

Tabel 4.19 dan 4.20 menyajikan nilai rasio rata-rata sampel 5% terhadap nilai kriteria penerimaan *movement pullout* sebesar 22.81%, sedangkan pada sampel 2% rasionya sebesar 21.82%. Nilai rasio standar deviasi sampel 5% terhadap nilai kriteria penerimaan *movement pullout* sebesar 8.22%, sedangkan pada sampel 2% rasionya sebesar 6.68%.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Perbandingan Hasil Uji *Pullout* Lapangan dengan Simulasi *Plaxis*

Hasil perhitungan *movement pullout* simulasi *Plaxis* yang sudah direkapitulasi berdasarkan zona 1, 3, dan 4 pada Tabel 4.13 s/d Tabel 4.18, selanjutnya dikelompokkan berdasarkan konsistensi tanah. Berikut Tabel 5.1 perbandingan *movement uji pullout* lapangan dengan simulasi *Plaxis* pada tanah lanau.

Tabel 5. 1 Perbandingan *movement uji pullout* lapangan dengan simulasi *Plaxis* pada tanah lanau

No.	Deskripsi Material	Sta.	No. Titik	<i>Movement</i> (mm)		
				<i>Pullout</i>	<i>Plaxis</i>	Rasio (%)
1	Lanau Pasiran (<i>soft</i>)					
		0+450	12	1.353	6.460	20.94%
		0+450	20	2.115	6.460	32.74%
		0+975	110	2.505	8.270	30.29%
		1+700	6	2.912	7.940	36.68%
		1+700	7	2.165	7.940	27.27%
		1+700	8	1.500	7.940	18.89%
		1+700	9	1.595	8.480	18.81%
		1+700	10	1.390	8.480	16.39%
	Rata-rata			1.942	7.746	25.25%
	Standar Deviasi			0.574	0.826	7.51%
2	Kombinasi Lanau Pasiran (<i>Stiff</i>) dominan dan Pasir Lanauan (<i>medium</i>)					
		1+700	1	2.630	2.970	84.57%
		1+700	2	2.791	2.850	93.97%
		1+700	3	2.265	2.720	79.47%

No.	Deskripsi Material	Sta.	No. Titik	Movement (mm)		
				Pullout	Plaxis	Rasio (%)
	Rata-rata			2.562	2.977	86.00%
	Standar Deviasi			0.270	0.130	7.36%
3	Lanau Keras (<i>very stiff</i>)					
		0+950	27	1.390	2.030	68.47%
		0+950	38	1.900	2.070	91.79%
		0+950	45	2.290	2.110	108.53%
	Rata-rata			1.860	2.070	89.60%
	Standar Deviasi			0.451	0.040	20.12%
4	Kombinasi Lanau Keras (<i>very stiff</i>) dominan dan Kerikil Pasiran (<i>very dense</i>)					
		0+950	91	2.332	2.980	78.26%
		0+950	62	1.345	1.910	70.42%
		0+950	48	1.110	2.400	46.25%
		0+950	89	2.875	2.670	107.68%
	Rata-rata			1.916	2.490	75.65%
	Standar Deviasi			0.830	0.454	25.33%
5	Lanau Keras (<i>hard</i>)					
		0+450	133	2.540	2.250	112.89%
		0+450	136	2.289	2.170	105.48%
		0+450	149	2.535	2.410	105.19%
	Rata-rata			2.455	2.277	107.85%
	Standar Deviasi			0.143	0.122	4.36%

Tabel 5.1 menyajikan hasil perhitungan *movement* tarik paku tanah dari simulasi *Plaxis* dibandingkan hasil uji *pullout* dilapangan di tanah lanau pada berbagai konsistensi tanah dengan jumlah 21 sampel. Penjelasan lebih lanjut tabel diatas adalah sebagai berikut :

- a. Pada tanah lanau dengan konsistensi *soft*, diperoleh hasil uji *pullout* dilapangan dengan hasil simulasi *Plaxis* memiliki rata-rata perbedaan yang cukup jauh dengan rasio sebesar 25.25% dengan standar deviasi 7.51%. Kemungkinan hal tersebut terjadi karena pengaruh faktor jenis tanah dan rata-rata nilai NSPT yang sangat variatif dalam penentuan parameter tanah.
- b. Pada tanah lanau dengan konsistensi *stiff*, *very stiff*, *very stiff* kombinasi dan *hard* diperoleh hasil uji *pullout* dilapangan memiliki perbebaan rata-rata yang sangat dekat dan lebih kurang sama dibandingkan nilai simulasi *Plaxis* dengan nilai rasio masing-masing sebesar 86%, 89.60%, 75.65%, dan 107.85%. Hal tersebut kemungkinan terjadi karena nilai NSPT yang cukup seragam dan tidak terlalu variatif.
- c. Seluruh hasil perhitungan simulasi *Plaxis* dan uji *pullout* dilapangan dibawah nilai kriteria penerimaan *movement pullout soil nailing* sebesar 10.287 mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa secara analisis konstruksi dilapangan memiliki tahanan tarik cukup kokoh.

Perbandingan *movement* uji *pullout* lapangan dengan simulasi *Plaxis* pada tanah pasir dapat dilihat pada Tabel 5.2 dibawah.

Tabel 5. 2 Hasil perhitungan *movement* menggunakan *Plaxis* pada pasir

No.	Deskripsi Material	Sta.	No. Titik	<i>Movement</i> (mm)		
				<i>Pullout</i>	<i>Plaxis</i>	Rasio (%)
1	Pasir Lanauan (<i>Loose</i>)					
		0+200	44	1.516	3.68	41.20%
		0+200	24	1.430	4.090	34.96%
		0+300	75	2.385	3.890	61.31%
		0+300	76	2.285	3.890	58.74%
	Rata-rata			1.904	3.888	49.05%
	Standar Deviasi			0.501	0.167	12.97%

No.	Deskripsi Material	Sta.	No. Titik	Movement (mm)		
				Pullout	Plaxis	Rasio (%)
2	Pasir Kasar (<i>medium</i>)					
		0+975	71	2.332	5.630	41.42%
		0+975	98	2.910	4.980	58.43%
		0+975	100	1.360	4.980	27.31%
	Rata-rata			2.201	5.197	42.39%
	Standar Deviasi			0.783	0.375	15.58%
3	Kombinasi Pasir Lanauan (<i>loose</i>) dominan dan Pasir Kerikilan (<i>dense</i>)					
		0+200	11	1.594	2.640	60.38%
4	Kombinasi Pasir Kerikilan (<i>dense</i>) dominan dan Pasir Kasar (<i>medium</i>)					
		0+250	19	2.975	2.140	139.02%
		0+975	34	2.435	3.820	63.74%
	Rata-rata			2.705	2.980	101.38%
	Standar Deviasi			0.382	1.188	53.23%
5	Pasir Kerikilan (<i>dense</i>)					
		0+225	16	2.265	2.420	93.60%
		0+225	22	2.580	2.430	106.17%
		0+225	26	2.695	2.230	120.85%
		0+225	30	2.245	2.430	92.39%
		0+250	37	2.290	2.430	94.24%
		0+975	31	2.295	3.670	62.53%
		0+975	26	2.740	3.670	74.66%
	Rata-rata			2.360	2.714	89.66%
	Standar Deviasi			0.313	0.594	19.02%
6	Pasir Boulder (<i>Very dense</i>)					
		0+425	60	2.521	2.09	120.62%
		0+325	82	2.940	2.220	132.43%

No.	Deskripsi Material	Sta.	No. Titik	Movement (mm)		
				<i>Pullout</i>	<i>Plaxis</i>	Rasio (%)
		0+325	100	2.679	2.220	120.68%
		0+350	124	2.380	2.140	111.21%
		0+350	127	1.665	2.140	77.80%
		0+350	129	2.391	2.140	111.73%
		0+950	72	1.860	2.200	84.55%
		0+925	1	2.174	2.200	98.82%
		0+950	12	1.868	2.200	84.91%
		0+950	19	1.535	2.200	69.77%
		1+525	13	3.145	3.010	104.49%
		1+525	19	2.275	3.290	69.15%
		1+525	33	1.486	3.290	45.17%
		1+525	35	1.520	3.290	46.20%
		1+525	39	1.520	3.290	46.20%
		1+550	6	3.164	3.290	96.17%
		1+550	8	4.255	3.290	129.33%
		1+550	17	2.390	3.290	72.64%
		1+550	54	2.625	3.290	79.79%
		1+550	56	3.875	3.290	117.78%
		1+550	69	3.414	3.290	103.77%
		1+575	3	1.901	3.040	62.53%
		1+575	25	1.210	3.330	36.34%
		1+575	61	2.305	3.330	69.22%
		1+575	64	6.496	3.330	195.08%
		1+575	71	3.623	3.330	108.80%
		1+575	86	3.672	3.330	110.27%
		1+575	98	2.390	3.330	71.77%
	Rata-rata			2.617	2.881	92.04%
	Standar Deviasi			1.102	0.542	33.79%

Tabel 5.2 menyajikan hasil perhitungan *movement* tarik paku tanah dari simulasi *Plaxis* dibandingkan hasil uji *pullout* dilapangan pada pasir di berbagai konsistensi dengan jumlah 46 sampel. Penjelasan lebih lanjut Tabel diatas adalah sebagai berikut :

- a. Pada tanah pasir dengan konsistensi *loose*, *medium*, dan *loose* kombinasi *dense*, diperoleh hasil uji *pullout* dilapangan dengan hasil simulasi *Plaxis* memiliki rasio masing-masing sebesar 49.05%, 42.39%, dan 60.38%. Kemungkinan hal tersebut terjadi karena pengaruh faktor jenis tanah dan rata-rata nilai NSPT yang sedikit variatif dalam penentuan parameter tanah.
- b. Pada tanah pasir dengan konsistensi *dense*, *dense* kombinasi *medium*, dan *very dense* diperoleh hasil uji *pullout* dilapangan memiliki perbedaan rata-rata yang sangat dekat dibandingkan nilai simulasi *Plaxis* dengan nilai rasio masing-masing sebesar 89.66%, 101.38%, dan 92.04%. Hal tersebut kemungkinan terjadi karena nilai NSPT yang cukup seragam dan tidak terlalu variatif.
- c. Seluruh hasil perhitungan simulasi *Plaxis* dan uji *pullout* dilapangan dibawah nilai kriteria penerimaan *movement pullout soil nailing* sebesar 10.287 mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa secara analisis konstruksi dilapangan memiliki tahanan tarik cukup baik.

5.2 Analisis Output Perhitungan *Plaxis* Secara Statistik

Analisis statistik deskriptif menggunakan data analysis pada program excel add-ins toolpak dengan *convidence level* 95%. Berikut Tabel 5.3 hasil analisis statistik deskriptif pada tanah lanau.

Tabel 5. 3 Hasil analisis statistik deskriptif pada tanah lanau

No.	Uraian	Lanau Pasiran (<i>Soft</i>)		Kombinasi Lanau Pasiran (<i>Stiff</i>)		Kombinasi Lanau Keras (<i>Very stiff</i>)		Lanau Keras (<i>Very stiff</i>)		Lanau Keras (<i>Hard</i>)	
		<i>Pullout</i> (mm)	<i>Plaxis</i> (mm)	<i>Pullout</i> (mm)	<i>Plaxis</i> (mm)	<i>Pullout</i> (mm)	<i>Plaxis</i> (mm)	<i>Pullout</i> (mm)	<i>Plaxis</i> (mm)	<i>Pullout</i> (mm)	<i>Plaxis</i> (mm)
1	<i>Mean</i>	1.942	7.746	2.562	2.977	1.916	2.490	1.860	2.070	2.455	2.277
2	<i>Std. Error</i>	0.203	0.292	0.156	0.075	0.415	0.227	0.261	0.023	0.083	0.071

No.	Uraian	Lanau Pasiran (<i>Soft</i>)		Kombinasi Lanau Pasiran (<i>Stiff</i>)		Kombinasi Lanau Keras (<i>Very stiff</i>)		Lanau Keras (<i>Very stiff</i>)		Lanau Keras (<i>Hard</i>)	
		<i>Pullout</i> (mm)	<i>Plaxis</i> (mm)	<i>Pullout</i> (mm)	<i>Plaxis</i> (mm)	<i>Pullout</i> (mm)	<i>Plaxis</i> (mm)	<i>Pullout</i> (mm)	<i>Plaxis</i> (mm)	<i>Pullout</i> (mm)	<i>Plaxis</i> (mm)
3	Median	1.855	7.940	2.630	2.970	1.839	2.535	1.900	2.070	2.535	2.250
4	Mode	#N/A	7.940	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
5	Std. Deviasi	0.574	0.826	0.270	0.130	0.830	0.454	0.451	0.040	0.143	0.122
6	Sample Var.	0.329	0.682	0.073	0.017	0.689	0.206	0.204	0.002	0.021	0.015
7	Range	1.559	2.020	0.526	0.260	1.765	1.070	0.900	0.080	0.251	0.240
8	Minimum	1.353	6.460	2.265	2.850	1.110	1.910	1.390	2.030	2.289	2.170
9	Maximum	2.912	8.480	2.791	3.110	2.875	2.980	2.290	2.110	2.540	2.410
10	Sum	15.535	61.970	7.686	8.930	7.662	9.960	5.580	6.210	7.364	6.830
11	Count	8	8	3	3	4	4	3	3	3	3
12	Covariance	29.55%	10.66%	10.52%	4.37%	43.35%	18.21%	24.27%	1.93%	5.85%	5.37%
13	<i>Confidence level</i> (95.0%)	0.398	0.572	0.305	0.147	0.814	0.444	0.511	0.045	0.162	0.138
14	<i>Convidence interval</i>	1.942 ± 0.398	7.746 ± 0.572	2.562 ± 0.305	2.977 ± 0.147	1.916 ± 0.814	2.490 ± 0.444	1.860 ± 0.511	2.070 ± 0.045	2.455 ± 0.162	2.277 ± 0.138
Rasio <i>Pullout</i> dari Simulasi <i>Plaxis</i> (berdasarkan <i>Mean</i>)		25.25%		86.00%		75.65%		89.60%		107.85%	
		64.52%									
<i>Movement Criteria</i> at VTL = 10.287 mm											

Tabel 5.3 menyajikan data pengukuran nilai sentral dan penyebaran data statistik deskriptif pada hasil perhitungan simulasi *Plaxis* dan hasil uji *pullout* dilapangan pada tanah lanau. Beberapa point penting yang dapat diuraikan pada tabel tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Pada *convidence level* 95% di hasil simulasi *Plaxis*, diperoleh interval kepercayaan antara 2.977mm ± 0.147mm hingga 2.277mm ± 0.138mm pada tanah lanau konsistensi *stiff*, *very stiff*, dan *hard* (kecuali pada tanah lanau pasiran konsistensi *soft* seperti yang sudah diulas sebelumnya), dimana hasil tersebut lebih kecil dari kriteria penerimaan *movement pullout* sebesar 10.287 mm.
- b. Pada uji *pullout* dilapangan di *convidence level* 95%, diperoleh interval kepercayaan dengan nilai tertinggi sebesar 2.562mm ± 0.305mm, dimana hasil tersebut lebih kecil dari kriteria penerimaan *movement pullout* sebesar 10.287 mm.

- c. Point a dan b diatas memberi gambaran bahwa konstruksi *soil nailing* dilapangan cukup kokoh terhadap tahanan tarik baik berdasarkan hasil simulasi *Plaxis* maupun uji *pullout* dilapangan.
- d. Secara total rasio *pullout* dari simulasi *Plaxis* pada tanah lanau diperoleh sebesar 64.52.

Hasil analisis statistik deskriptif pada tanah pasir dapat dilihat pada Tabel 5.4 dibawah.

Tabel 5. 4 Hasil analisis statistik deskriptif pada tanah pasir

No.	Uraian	Pasir Lanauan (Loose)		Kombinasi Pasir Lanauan (Loose)		Pasir Kasar (Medium)		Pasir Kerikilan (Dense)		Kombinasi Pasir Kerikilan (Dense)		Pasir Baoulder (Very dense)	
		Pullout (mm)	Plaxis (mm)	Pullout (mm)	Plaxis (mm)	Pullout (mm)	Plaxis (mm)	Pullout (mm)	Plaxis (mm)	Pullout (mm)	Plaxis (mm)	Pullout (mm)	Plaxis (mm)
1	Mean	1.904	3.888	1.594	2.640	2.201	5.197	2.360	2.714	2.705	2.980	2.617	2.881
2	Std. Error	0.250	0.084	0	0	0.452	0.217	0.111	0.210	0.270	0.840	0.208	0.102
3	Median	1.901	3.890	1.594	2.640	2.332	4.980	2.293	2.430	2.705	2.980	2.390	3.290
4	Mode	#N/A	3.890			#N/A	4.980	#N/A	2.430	#N/A	#N/A	1.520	3.290
5	Std. Deviasi	0.501	0.167			0.783	0.375	0.313	0.594	0.382	1.188	1.102	0.542
6	Sample Var.	0.251	0.028			0.614	0.141	0.098	0.353	0.146	1.411	1.214	0.294
7	Range	0.955	0.410	0	0	1.550	0.650	0.970	1.440	0.540	1.680	5.286	1.240
8	Minimum	1.430	3.680	1.594	2.640	1.360	4.980	1.770	2.230	2.435	2.140	1.210	2.090
9	Maximum	2.385	4.090	1.594	2.640	2.910	5.630	2.740	3.670	2.975	3.820	6.496	3.330
10	Sum	7.616	15.550	1.594	2.640	6.602	15.590	18.880	21.710	5.410	5.960	73.279	80.680
11	Count	4	4	1	1	3	3	8	8	2	2	28	28
12	Covariance	26.29%	4.31%			35.59%	7.22%	13.25%	21.89%	14.12%	39.86%	42.10%	18.80%
13	Confidence level (95.0%)	0.491	0.164			0.886	0.425	0.217	0.412	0.529	1.646	0.408	0.201
14	Convidence interval	1.904 ± 0.491	3.888 ± 0.164			2.201 ± 0.886	5.197 ± 0.425	2.360 ± 0.217	2.714 ± 0.412	2.705 ± 0.529	2.980 ± 1.646	2.617 ± 0.408	2.881 ± 0.201
Rasio Pullout dari Simulasi Plaxis (berdasarkan Mean)		49.05%		60.38%		42.39%		89.66%		101.38%		92.04%	
		84.37%											
<i>Movement Criteria at VTL = 10.287 mm</i>													

Tabel 5.4 menyajikan data pengukuran nilai sentral dan penyebaran data statistik deskriptif pada hasil perhitungan simulasi *Plaxis* dan hasil uji *pullout* dilapangan pada tanah pasir. Beberapa point penting yang dapat diuraikan pada tabel tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Pada simulasi *Plaxis* di *confidence level* 95%, diperoleh interval kepercayaan dengan nilai tertinggi sebesar 5.197mm ± 0.425mm, dimana hasil tersebut lebih kecil dari kriteria penerimaan *movement pullout* sebesar 10.287 mm.
- b. Pada uji *pullout* dilapangan di *confidence level* 95%, diperoleh interval kepercayaan dengan nilai tertinggi sebesar 2.617mm ± 0.408mm, dimana hasil tersebut lebih kecil dari kriteria penerimaan *movement pullout* sebesar 10.287 mm.
- c. Point a dan b diatas memberi gambaran bahwa konstruksi *soil nailing* dilapangan cukup kokoh terhadap tahanan tarik baik berdasarkan hasil simulasi *Plaxis* maupun uji *pullout* dilapangan.
- d. Secara total rasio *pullout* dari simulasi *Plaxis* pada tanah lanau diperoleh sebesar 84.37%.

Rekapitulasi hasil analisis Statistik nilai *mean* dan standar deviasi pada tanah lanau dan pasir dapat dilihat pada Tabel 5.5

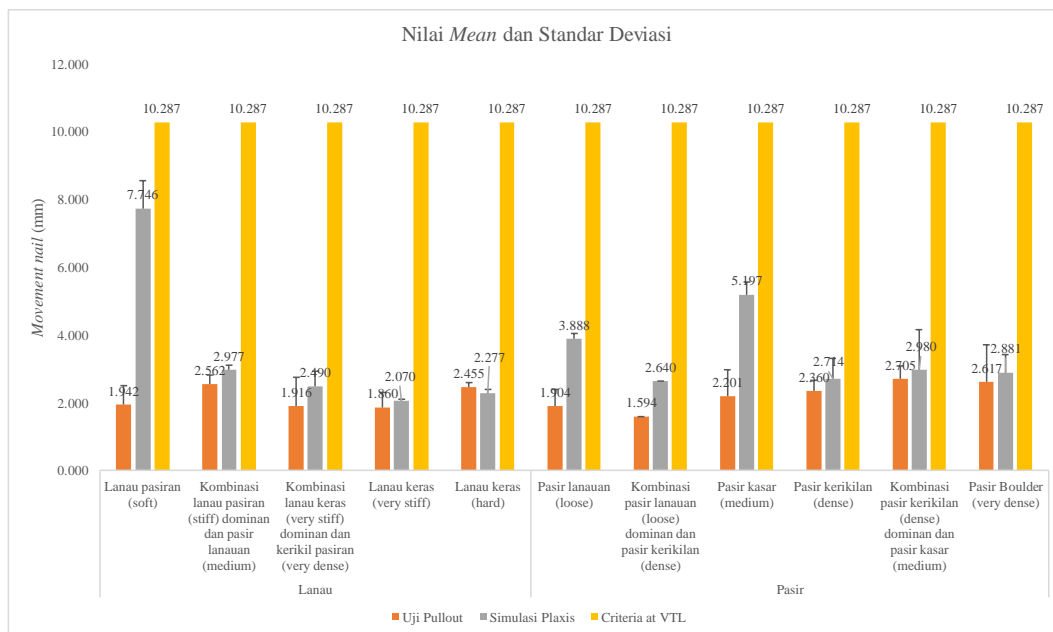
Tabel 5. 5 Rekapitulasi hasil analisis statistik nilai *mean* dan standar deviasi pada tanah lanau dan pasir

Movement (mm)	Lanau					Pasir					
	Lanau Pasiran		Lanau Keras			Pasir Lanauan		Pasir Kasar	Pasir Kerikilan		Pasir Boulder
	<i>Soft</i>	<i>Stiff*</i>	<i>Very stiff*</i>	<i>Very stiff</i>	<i>Hard</i>	<i>Loose</i>	<i>Loose*</i>	<i>Medium</i>	<i>Dense</i>	<i>Dense*</i>	<i>Very dense</i>
Nilai Mean											
Uji <i>Pullout</i>	1.942	2.562	1.916	1.860	2.455	1.904	1.594	2.201	2.360	2.705	2.617
Simulasi <i>Plaxis</i>	7.746	2.977	2.490	2.070	2.277	3.888	2.640	5.197	2.714	2.980	2.881
Rasio Nilai	25.25%	86.00%	75.65%	89.60%	107.85%	49.05%	60.38%	42.39%	89.66%	101.38%	92.04%
<i>Pullout</i> dari	64.52%					84.37%					
Simulasi <i>Plaxis</i>	78.15%										
Standar Deviasi											
Uji <i>Pullout</i>	0.574	0.270	0.830	0.451	0.143	0.501		0.783	0.313	0.382	1.102
Simulasi <i>Plaxis</i>	0.826	0.130	0.454	0.040	0.122	0.167		0.375	0.594	1.188	0.542
Criteria at VTL	10.287										

* Kombinasi dengan lapisan tanah lainnya (lihat Tabel 4)

Berdasarkan Tabel 5.5, diperoleh rasio nilai *pullout* dari hasil simulasi *Plaxis* sebesar 64.52% untuk tanah lanau dan 84.37% untuk pasir, dimana secara

total rasio *pullout* tanah lanau dan pasir sebesar 78.15%. Rasio hasil perhitungan ini dapat digunakan untuk memprediksi nilai tahanan tarik paku tanah sehingga dapat mengetahui ketahanan paku tanah yang terpasang dilapangan. Berikut Gambar 5.1 *Bar Chart* nilai *mean* dan standar deviasi pada *movement* uji *pullout*, simulasi *Plaxis*, dan kriteria penerimaan *movement pullout*.



Gambar 5. 1 Bar chart nilai *mean* dan standar deviasi pada *movement* nail uji *pullout*, simulasi *plaxis*, dan *criteria* at VTL paku tanah

Gambar 5.1 menampilkan nilai *movement pullout* rata-rata dan standar deviasinya berdasarkan hasil uji *pullout* dilapangan dan simulasi *Plaxis* pada tanah lanau dan pasir dengan berbagai konsistensinya serta nilai kriteria penerimaan *movement* uji *pullout*. Berikut beberapa uraian yang dapat disajikan dari gambar diatas, yaitu :

- a. Seluruh hasil uji *pullout* dilapangan dan simulasi *Plaxis* dibawah nilai kriteria penerimaan *movement* uji *pullout* sebesar 10.287mm, hal tersebut memberi gambaran bahwa tahanan tarik paku tanah dilapangan cukup aman.

- b. Hasil *movement pullout* pada lapisan tanah lebih dalam dari permukaan pada konsistensi *stiff* hingga *hard/very dense* memiliki rasio uji *pullout* dan simulasi *Plaxis* yang cukup dekat. Sedangkan pada lapisan tanah dekat permukaan pada konsistensi *soft*, *loose*, dan *medium* memiliki rasio uji *pullout* dan simulasi *Plaxis* cukup variatif. Hal tersebut kemungkinan karena pada saat input parameter tanah pada konsistensi tanah *soft*, *loose*, *medium* diambil dari rata-rata nilai SPT yang sangat bervariasi, sedangkan pada tanah konsistensi *stiff* hingga *hard/very dense* diambil dari nilai SPT yang relatif seragam sehingga lebih akurat.
- c. Hasil *movement pullout* simulasi *Plaxis* pada tanah dengan konsistensi *soft* dan *medium* lebih besar dibandingkan pada tanah dengan konsistensi *stiff* hingga *hard/very dense*, kemungkinan karena pengaruh jenis tanah dan kedalaman galian sehingga adanya pengaruh tekanan *overburden*. Hal ini sejalan dengan penelitian Ghadimi, Amir Shahraki, dkk, (2017), “*Effect of soil type on nail pull-out resistance*”.
- d. Secara rata-rata diperoleh hasil *movement pullout* simulasi *Plaxis* lebih besar dari data uji *pullout* lapangan, sesuai penelitian Zolqadr, Emad, dkk, (2015), “*Analysis of soil nail walls performance*”.
- e. Hasil sedikit berbeda secara rata-rata diperoleh pada tanah lanau keras konsistensi *hard*, dimana hasil uji *pullout* lapangan sedikit diatas simulasi *Plaxis* dengan selisih hanya 0.178 mm. Hal tersebut tidak tertutup kemungkinan dipengaruhi oleh kualitas konstruksi lapangan, sesuai penelitian Moayed, R.Z, dkk (2019) terkait tahanan tarik paku tanah sangat dipengaruhi oleh kualitas konstruksi. Ketika kualitas konstruksi berkurang, maka tahanan tarik paku tanah juga berkurang.

Hasil perhitungan regresi linier menggunakan Ms. Excel dapat dilihat pada Lampiran 7, sedangkan rekapitulasi persamaan regresi linier dapat dilihat pada Tabel 5.6, dimana persamaan regresi tersebut dikalikan hasil perhitungan simulasi *Plaxis* (x)

Tabel 5. 6 Hasil persamaan regresi linier untuk memprediksi nilai *movement* uji *pullout*

No.	Deskripsi/Konsistensi tanah	Persamaan Regresi Linier
A	Lanau	
1	Lanau pasiran (<i>soft</i>)	$y = 0.0662x + 1.4293$
2	Kombinasi lanau pasiran (<i>stiff</i>) dominan dan pasir lanauan (<i>medium</i>)	$y = 1.3335x - 1.4073$
3	Kombinasi lanau keras (<i>very stiff</i>) dominan dan kerikil pasiran (<i>very dense</i>)	$y = 1.2645x - 1.233$
4	Lanau keras (<i>very stiff</i>)	$y = 11.25x - 21.427$
5	Lanau keras (<i>hard</i>)	$y = 0.8471x + 0.4646$
B	Pasir	
1	Pasir lanauan (<i>loose</i>)	$y = -0.1584x + 2.5199$
2	Kombinasi pasir lanauan (<i>loose</i>) dominan dan pasir kerikilan (<i>dense</i>)	$y = 0.6038x$
3	Pasir kasar (<i>medium</i>)	$y = 0.3031x + 0.6257$
4	Pasir kerikilan (<i>dense</i>)	$y = 0.1313x + 2.0036$
5	Kombinasi pasir kerikilan (<i>dense</i>) dominan dan pasir kasar (<i>medium</i>)	$y = -0.3214x + 3.6627$
6	Pasir Boulder (<i>very dense</i>)	$y = 0.6089x + 0.8625$

Sumber : Hasil analisis persamaan regresi linier (Lampiran 7)

Persamaan regresi linier Tabel 5.6 dapat digunakan untuk memprediksi nilai uji *pullout* di titik *soil nail* lainnya yang tidak dilaksanakan uji penarikan dilapangan dan untuk pekerjaan *soil nailing* selanjutnya di ruas *long* segmen proyek dengan deskripsi dan konsistensi tanah sejenis.

5.3 Kecukupan Jumlah Minimum Sampel Uji Tarik Paku Tanah Dilapangan

Hasil analisis statistik deskriptif dan *margin error* pada sampel 5% dan 2% yang telah disajikan pada Tabel 4.19 dan 4.20, selanjutnya direkapitulasi berdasarkan jumlah produksi *soil nail* dilapangan seperti Tabel 5.7 untuk sampel

5% dan Tabel 5.8 untuk sampel 2%. Sedangkan, rekapitulasi perbandingan jumlah produksi dan *margin error* sampel 5% dan 2% dapat dilihat pada tabel 5.9.

Tabel 5. 7 Hasil statistik deskriptif dan margin of error sampel uji 5%.

No.	Uraian	Nilai <i>Movement Uji Pullout</i> (mm)				
		Saat Produksi Dilapangan				
		300 ttk	600 ttk	900 ttk	1200 ttk	1312 ttk
1	<i>Mean</i>	2.957	2.507	2.431	2.392	2.346
2	Standard Error	0.350	0.211	0.147	0.113	0.103
3	Median	2.625	2.348	2.305	2.332	2.295
4	Mode	1.520	1.520	1.520	1.520	1.520
5	Standard Dev.	1.356	1.153	0.983	0.874	0.846
6	Sample Var.	1.838	1.330	0.967	0.763	0.715
7	Range	5.286	5.386	5.386	5.386	5.386
8	Minimum	1.210	1.110	1.110	1.110	1.110
9	Maximum	6.496	6.496	6.496	6.496	6.496
10	Sum	44.360	75.204	109.374	143.546	157.208
11	Count	15	30	45	60	67
12	Covariance	45.84%	46.00%	40.45%	36.52%	36.05%
13	<i>Confidence level (95.0%)</i>	0.686	0.413	0.287	0.221	0.203
14	<i>Convidence interval</i>	2.957 ± 0.886	2.507 ± 0,413	2.431 ± 0.287	2.392 ± 0.221	2.346 ± 0.203
<i>Movement Criteria at VTL (mm)</i>		10.287				

Tabel 5. 8 Hasil statistik deskriptif dan margin of error pada sampel uji 2%.

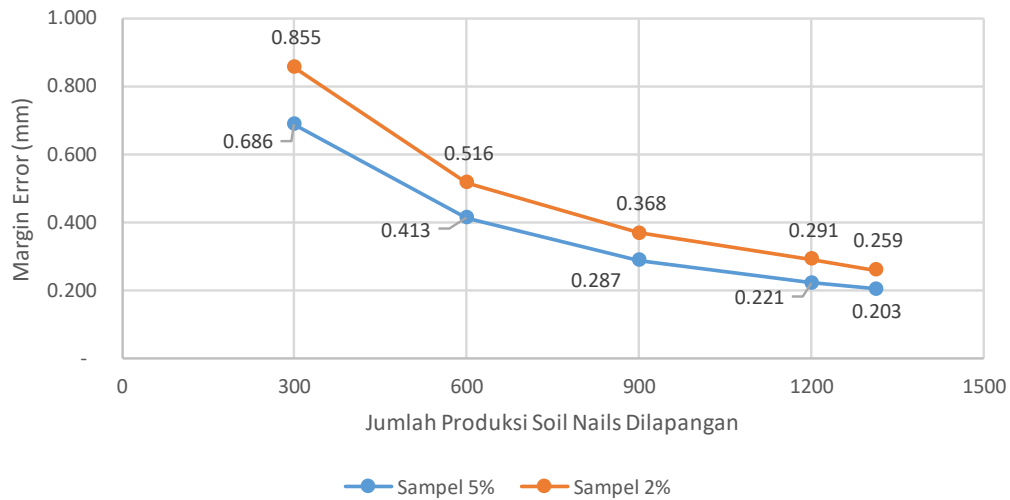
No.	Uraian	Nilai <i>Movement Uji Pullout</i> (mm) Saat Produksi Dilapangan				
		300 ttk	600 ttk	900 ttk	1200 ttk	1312 ttk
1	<i>Mean</i>	2.876	2.307	2.311	2.260	2.245
2	Standard Error	0.324	0.263	0.188	0.148	0.132

No.	Uraian	Nilai <i>Movement Uji Pullout</i> (mm) Saat Produksi Dilapangan				
		300 ttk	600 ttk	900 ttk	1200 ttk	1312 ttk
3	Median	2.777	2.290	2.290	2.319	2.290
4	Mode	#N/A	#N/A	#N/A	2.332	2.332
5	Standard Dev.	0.794	0.912	0.797	0.727	0.687
6	Sample Var.	0.630	0.832	0.636	0.528	0.472
7	Range	1.974	2.765	2.765	2.765	2.765
8	Minimum	1.901	1.110	1.110	1.110	1.110
9	Maximum	3.875	3.875	3.875	3.875	3.875
10	Sum	17.258	27.684	41.593	54.250	60.614
11	Count	6	12	18	24	27
12	Covariance	27.60%	39.54%	34.50%	32.15%	30.61%
13	<i>Confidence level (95.0%)</i>	0.855	0.516	0.368	0.291	0.259
14	<i>Convidence interval</i>	2.876 ±	2.307 ±	2.311 ±	2.260 ±	2.245 ±
		0.855	0.516	0.368	0.291	0.259
<i>Movement Criteria at VTL (mm)</i>		10.287				

Tabel 5. 9 Rekapitulasi dan *margin error* produksi soil nail dilapangan pada sampel 5% dan 2%

No.	Produksi Dilapangan	<i>Margin error (mm)</i>		
		Sampel 5%	Sampel 2%	Deviasi
1	300 titik	0.686	0.855	0.169
2	600 titik	0.413	0.516	0.103
3	900 titik	0.287	0.368	0.081
4	1200 titik	0.221	0.291	0.070
5	1312 titik	0.203	0.259	0.057

Pada Tabel 5.9, terlihat deviasi *margin error* sampel 5% dan 2% mengecil seiring dengan bertambahnya jumlah produksi dan jumlah sampel pengujian. Berikut Gambar 4.2 variasi *margin error* pada sampel uji 5% dan 2% di beberapa jumlah produksi *soil nail* dilapangan.



Gambar 5. 2 Variasi *margin error* pada sampel uji 5% dan 2% di beberapa jumlah produksi *soil nail* dilapangan

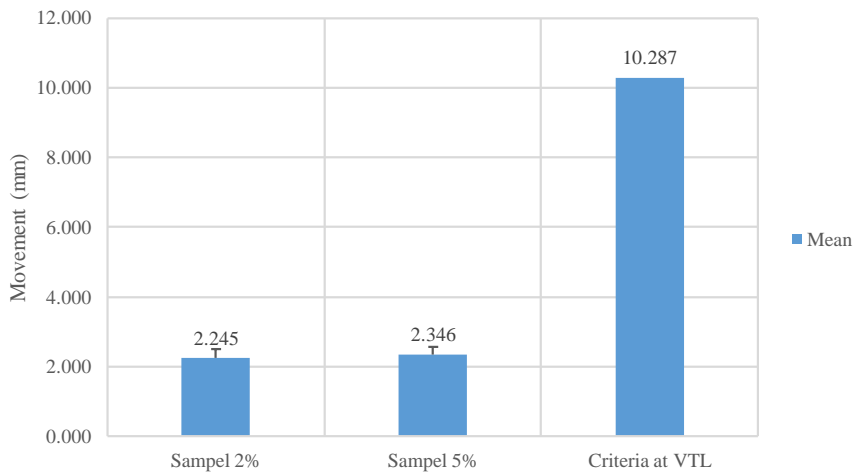
Gambar 5.2 menampilkan korelasi antara jumlah produksi *soil nails* dilapangan dengan nilai *margin error* pada sampel 5% dan 2%. Berikut intisari ringkas gambar tersebut :

- a. Jumlah sampel 5% dan 2% dari pengujian penarikan paku tanah di lapangan menghasilkan *margin error* yang sangat dekat pada nilai *movement* uji *pullout*nya. Semakin banyak jumlah sampel uji, maka nilai *margin error* semakin kecil. Pada saat produksi *soil nail* telah mencapai 1.312 titik, selisih *margin error* sampel 5% dan 2% semakin merapat.
- b. Deviasi *margin error* sampel 2% dengan 5% pada saat produksi *soil nail* mencapai 1.312 titik hanya sekitar 0.057 mm.

Hasil rekapitulasi statistik nilai *mean* dan *margin error* dengan *confidence level* 95% pada total jumlah produksi paku tanah dilapangan dibandingkan dengan nilai *movement criteria* at VTL dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Gambar 5.3.

Tabel 5. 10 Rekapitulasi nilai *mean* dan *margin error* sampel uji pada produksi soil nail 1.312 titik dilapangan.

No.	Uraian	Mean (mm)	Margin error (mm) pada Confidence level 95%
1	Sampel Uji 2%	2.245	0.259
2	Sampel Uji 5%	2.346	0.203
	Deviasi	0.101	-0.066
<i>Criteria at VTL Uji Pullout = 10.287 mm</i>			



Gambar 5. 3 Perbandingan nilai *mean* dan *margin error* dengan *criteria* at VTL uji *pullout* soil nail

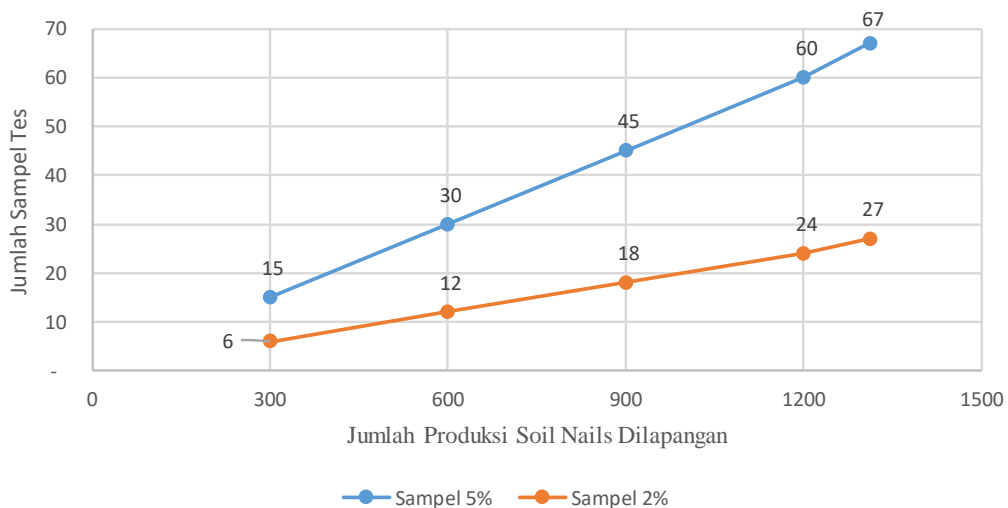
Tabel 5.10 dan Gambar 5.3 menyajikan perbandingan nilai *mean* dan *margin error* pada sampel 5%, 2%, dan nilai kriteria penerimaan *movement* uji *pullout*. Berikut intisari ringkas dari Tabel 5.10 dan Gambar 5.3 tersebut :

- a. Nilai rata-rata *movement* sampel 2% dan 5% sangat dekat, hanya selisih 0.101 mm. Jika dibandingkan terhadap nilai kriteria

penerimaan *movement* uji *pullout* sebesar 10.287 mm, nilai *movement* sampel 2% dan 5% sangat memenuhi.

- b. Sesuai data diatas, dengan melakukan uji penarikan lapangan pada 2% *soil nail* produksi dengan level kepercayaan 95% diperoleh nilai *movement pullout soil nail* rata-rata dikisaran 2.245 mm dan interval kepercayaan $2.245 \text{ mm} \pm 0.259 \text{ mm}$. Sedangkan uji penarikan lapangan pada 5% *soil nail* produksi dengan level kepercayaan 95% diperoleh nilai *movement pullout soil nail* rata-rata dikisaran 2.346 mm dan interval kepercayaan $2.346 \text{ mm} \pm 0.203 \text{ mm}$.
- c. *Margin error* sampel 2% dan 5% pada *Confidence level* 95% sangat dekat, hanya selisih 0.066 mm.

Secara praktis, berdasarkan analisa diatas maka jumlah biaya yang signifikan dalam melakukan tes *pullout soil nail* dilapangan dapat diefisiensi dengan melakukan tes penarikan hanya pada sampel uji sebanyak 2% dari produksi *soil nail* dilapangan. Berikut Gambar 5.4 Variasi jumlah sampel uji dan produksi *soil nail* dilapangan pada sampel 5% dan 2%.



Gambar 5. 4 Variasi jumlah sampel uji dan produksi soil nail dilapangan pada sampel 5% dan 2%

Dari Gambar 5.4, terlihat pemakaian sampel 2% dari jumlah produksi total sebesar 1.312 titik, dapat menghemat biaya tes penarikan paku tanah dilapangan sebesar 66.67% (40 titik) dengan tingkat kepercayaan 95%.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Rasio nilai *pullout* lapangan terhadap simulasi *Plaxis* pada tanah dominan lanau sekitar 0.645, tanah dominan pasir sekitar 0.844 dan pada tanah lanau dan pasir sekitar 0.782 dari hasil perhitungan simulasi *Plaxis*. Sedangkan persamaan regresi linier nilai *pullout* (y) berdasarkan jenis tanah adalah sebagai berikut :

- Lanau pasiran (*soft*), $y = 0.0662x + 1.4293$
- Kombinasi lanau pasiran (*stiff*) dominan dan pasir lanauan (*medium*), $y = 1.3335x - 1.4073$
- Kombinasi lanau keras (*very stiff*) dominan dan kerikil pasiran (*very dense*), $y = 1.2645x - 1.233$
- Lanau keras (*very stiff*), $y = 11.25x - 21.427$
- Lanau keras (*hard*), $y = 0.8471x + 0.4646$
- Pasir lanauan (*loose*), $y = -0.1584x + 2.5199$
- Kombinasi pasir lanauan (*loose*) dominan dan pasir kerikilan (*dense*), $y = 0.6038x$
- Pasir kasar (*medium*), $y = 0.3031x + 0.6257$
- Pasir kerikilan (*dense*), $y = 0.1313x + 2.0036$
- Kombinasi pasir kerikilan (*dense*) dominan dan pasir kasar (*medium*), $y = -0.3214x + 3.6627$
- Pasir boulder (*very dense*), $y = 0.6089x + 0.8625$

Persamaan regresi linier diatas dapat digunakan untuk memprediksi nilai uji *pullout* dilapangan pada paku tanah yang tidak dilakukan uji penarikan dilapangan dan pekerjaan *soil nailing* selanjutnya pada *long segment* proyek dengan deskripsi dan konsistensi tanah sejenis.

2. Kecukupan minimum jumlah sampel uji *pullout* yang mewakili pekerjaan *soil nailing* dilapangan diperoleh sampel uji sebanyak 2% dari jumlah produksi paku tanah dilapangan.

6.2 Saran

- a. Rasio atau persamaan regresi linier hasil simulasi *Plaxis* dapat digunakan untuk memprediksi nilai tahahan tarik paku tanah dilapangan dan untuk meminimalisir sampel uji *pullout* dilapangan.
- b. Untuk paket pekerjaan lanjutan proyek Pembangunan Jalan Baru Batas Kota Singaraja-Mengwitani di Provinsi Bali pada kondisi desain, deskripsi, dan konsistensi tanah yang sejenis, pemakaian sampel uji 2% dari jumlah produksi *soil nailing* dilapangan layak untuk dipertimbangkan, karena dari semua hasil analisis *Plaxis* dan uji *pullout* dilapangan diperoleh nilai *movement pullout* jauh dibawah nilai kriteria penerimaan *movement soil nail*.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

DAFTAR PUSTAKA

- Babu, G.L.Sivakumar, dkk (2009). **Appraisal of Soil nailing Design**. *Indian Geotechnical Journal*, India.
- Babu, G.L.Sivakumar, dkk (2009). **Simulation of Soil nail Structures using Plaxis 2D**. *Plaxis Buletin Spring Issue 2009*, hal. 16-21.
- Babu, G.L.Sivakumar, dkk (2010). **Soil nails Field Pullout Testing: Evaluation and Applications**. *International Journal of Geotechnical*.
- Badan Standardisasi Nasional, (2017), **Standar Nasional Indonesia SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik**, Jakarta.
- Baecher, G.B. and Christian, J.T., 2003. **Reliability and statistics in geotechnical engineering**. Wiley, London, UK.
- Bowles, Joseph E., (1982). **Foundation Analysis and Design**. Thrid Edition, Mc. Graw-Hill Companies, Inc, New York.
- Bridges, Chris. 2015. **Soil nail Testing**. 2nd Earth Structures and Retention Conference.
- Franzen, G. dkk (1998), **Prediction of Pullout Capacity of Soil nail**. *International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE)*.Sweden
- Geoguide 7 (2008). **Guide to Soil nail Design and Construction**. *Geotechnical Engineering Office*. Hongkong
- Ghadimi, Amir Shahraki, dkk (2017). **Effect of soil type on nail pull-out resistance**. *Ground Improvement, Volume 170 Issue G12*.
- Look, Burt, (2007). **Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables**. Taylor & Francis/Balkema, London.
- Moayed, R.Z, dkk, (2019). **Evaluation of the Pullout Resistance of Soil nails in Tehran Alluvium by Considering the Overburden Pressure Effect**. *Geotechnical and Geological Engineering 38(1):1-12*.
- Padagi, E.A, dkk, (2015). **Korelasi Nilai NSPT Terhadap Sifat-Sifat Fisik dan Mekanis Tanah**. *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura*.
- Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah III Provinsi Bali, (2017), **Kerangka Acuan Rencana Usaha Dan/Atau Kegiatan Pembangunan Jalan Baru Batas Kota Singaraja-Mengwitani**, Provinsi Bali.
- Zhang, L.L. dkk (2009), **Uncertainties of Field Pullout Resistance of Soil nail**. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering (ASCE)*.

Zolqadr, Emad, dkk, (2015). **Analysis of soil nail walls performance - Case study.**
Geomechanics and Geoengineering: An International Journal.