

Prediksi Nilai *Movement Uji Pullout Soil nailing* Proyek Pembangunan Jalan Baru Batas Kota Singaraja-Mengwitani di Provinsi Bali Menggunakan *Software Plaxis 2D*

Peri Joni^{1*}, Yudhi Lastiasih¹, Rakhman Taufik², Izzuddin Ismawanto²

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹, Kementerian Pekerjaan Umum dan perumahan Rakyat, Jakarta²
Koresponden*, Email: perihk01@gmail.com

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	03 Desember 2021	<i>Testing a lot of soil nailing samples in the field could increase construction costs and cause debonding in the active zone with detrimental effects. Plaxis software could be used to analyze and predict the pullout test values for soil nails in the field. This is quite effective for long segment projects consisting of several work packages that are carried out in stages, so that the pullout test ratio obtained from the analysis can be used for subsequent work packages with similar soil conditions and types. The results of the Plaxis analysis were processed by descriptive statistics and Anova to obtain a linear regression equation in predicting the pullout test value in the field. From the analysis results, the soil nail movement (mm) value is smaller than the Criteria at VTL of 10,287 mm and above the pullout test value in the field. The research results were relevant for the location of the research object for soil nailing work in sections 5, 6 and subsequent sections of the New Road Construction project of city border of Singaraja-Mengwitani in Bali</i>
Diperbaiki	10 Februari 2022	
Disetujui	10 Februari 2022	

Keywords: soil nailing, Plaxis, pullout, movement, Mengwitani

Abstrak
Pengujian sampel *soil nailing* yang banyak dilapangan dapat meningkatkan biaya konstruksi dan menyebabkan *debonding* di zona aktif dengan efek yang merugikan. *Software Plaxis* dapat dipergunakan untuk menganalisis dan memprediksi nilai uji *pullout soil nails* dilapangan. Hal ini cukup efektif untuk proyek *long segment* yang terdiri dari beberapa paket pekerjaan yang dikerjakan secara bertahap, sehingga rasio uji *pullout* yang diperoleh dari hasil analisis dapat dipakai untuk paket pekerjaan selanjutnya dengan kondisi dan jenis tanah yang sejenis. Hasil analisis *Plaxis* diolah secara statistik deskriptif dan Anova untuk memperoleh persamaan regresi linier dalam memprediksi nilai uji *pullout* dilapangan. Dari hasil analisis diperoleh nilai *movement (mm) soil nail* lebih kecil dari *Criteria at VTL* sebesar 10,287 mm dan diatas nilai uji *pullout* dilapangan. Hasil penelitian relevan untuk lokasi objek penelitian pekerjaan *soil nailing* pada seksi 5, 6 dan seksi selanjutnya pada proyek Pembangunan Jalan Baru Batas Kota Singaraja-Mengwitani di Bali

Kata kunci: *soil nailing, Plaxis, pullout, movement, Mengwitani*

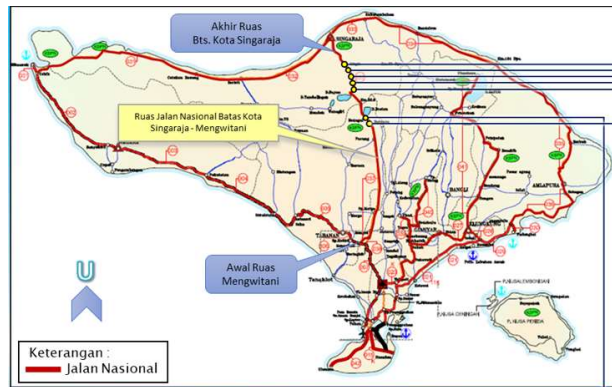
1. Pendahuluan

Pengembangan jalan akan 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 sering menyebabkan kemacetan dan waktu tempuh yang lama. Salah satu alternatif penyelesaian masalah diatas, adalah dengan mengembangkan pembangunan jalan pintas (shortcut) untuk mengurangi kemacetan, memperpendek jarak tempuh, dan mengurangi jumlah kelokan yang ada.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) membangun Jalan Pintas ruas Mengwitani-Singaraja dengan panjang sekitar 12,76 km Sebagai bentuk dukungan

pengembangan pariwisata di Bali, khususnya yang menghubungkan kawasan Bali bagian Selatan dan Utara. 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 [1]. Lokasi proyek Pembangunan Jalan Baru Batas Kota Singaraja-Mengwitani di Bali dapat dilihat pada **Gambar 1**, sedangkan pembagian lokasi/seksi proyek dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 1. Lokasi Proyek [1]



Gambar 2. Pembagian Lokasi/Seksi Proyek [1]

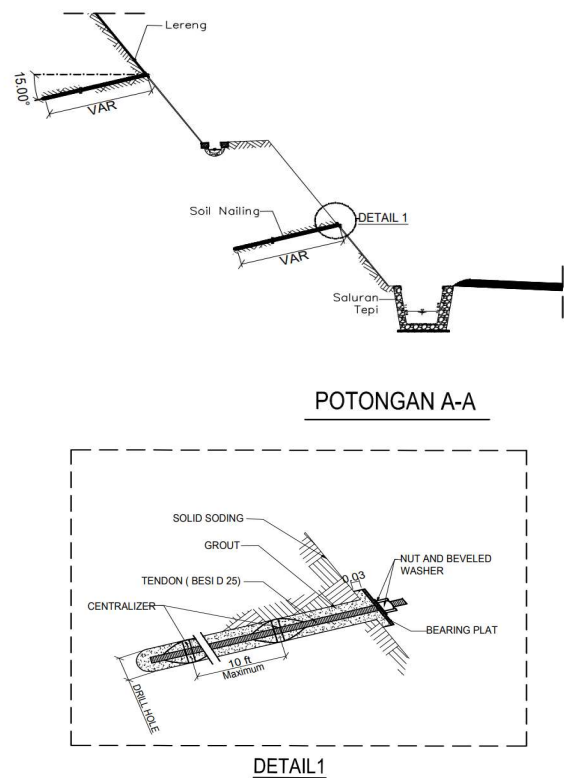
Uraian pembangunan fisik proyek tersebut sebagai berikut:

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

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, terdapat lereng galian curam dengan ketinggian sekitar 40 meter menggunakan perkuatan lereng *soil nailing*. Data stratigrafi pada zona 1 (STA. 0+000 s/d 0+700) terlihat rata-rata lapisan tanah terdiri dari 3 bagian yaitu lanau kelempungan lunak, lanau kelempungan sedang-kaku, dan pasir keras.

Soil nailing adalah sistem perkuatan lereng yang bersifat pasif, artinya tanpa gaya prategang. Sistem perkuatan terdiri atas sejumlah paku tanah yang dipasang di dalam tanah dengan cara dibor atau dipancang/ditekan, dan dinding muka dapat berupa beton semprot yang diperkuat (*reinforced shotcrete*) atau besi plat sebagai komponen dasar dinding muka [2]. **Gambar 3** merupakan potongan dan detail *soil nailing*.



Gambar 3. Potongan dan Detail *Soil nailing* [1]

Soil nailing termasuk salah satu teknik perkuatan lereng dinding penahan tanah yang ekonomis, pelaksanaan pekerjaan yang cepat, dan tidak membutuhkan tempat yang luas. Pelaksanaannya menggunakan alat *portable* dengan mobilitas tinggi dan pemakaian tenaga kerja yang minimal. *Soil nail* menggunakan besi berdiameter 25 mm, diameter bor 100 mm, *grouting* beton fc 21 Mpa. Foto kondisi lereng dilapangan dengan perkuatan *soil nailing* yang sudah selesai dikerjakan dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Foto Lapangan Lereng Galian dengan Perkuatan *Soil nailing*

Pengujian pekerjaan *soil nailing* yang selesai dilaksanakan dilapangan adalah uji *pullout* pada *soil nail*. Uji *pullout* pada *soil nail* dilakukan untuk verifikasi bahwa gaya maksimum (T_{max}) dapat ditahan tanpa terjadi pergerakan yang berlebihan, dengan faktor keamanan yang cukup. Uji *pullout* dilapangan menggunakan *hydraulic jack* yang dilengkapi dengan *load cell* untuk mengukur gaya tarik dengan *pressure gauge* sebagai alat ukur gaya kedua seperti terlihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Ilustrasi Uji Tarik Paku Tanah Dilapangan [4]

Pengujian tarik paku tanah dilapangan diidentifikasi sebagai metode yang tepat untuk mempelajari interaksi paku tanah dan menilai kinerja dinding paku tanah [3]. Permasalahan terkait menguji *soil nail* dilapangan diantaranya dapat menyebabkan debonding di zona aktif dengan efek merugikan [4].

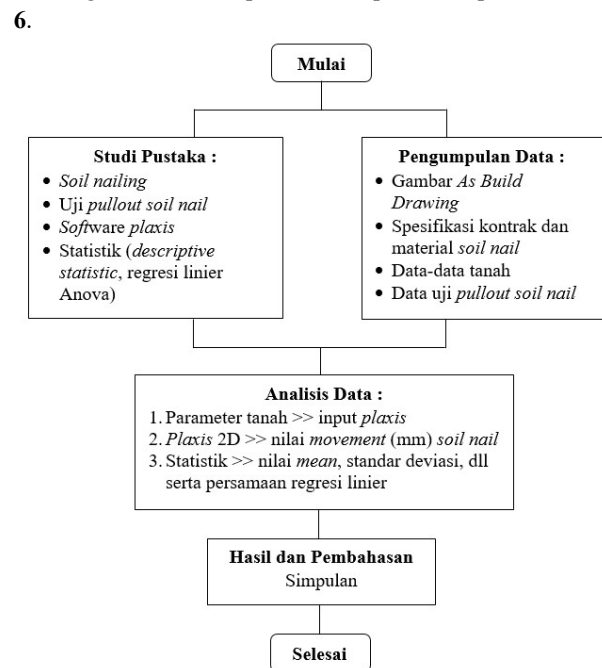
Pengujian *soil nail* dalam jumlah yang banyak dilapangan dapat menyebabkan membengkaknya biaya konstruksi. Pekerjaan ini terdiri dari beberapa seksi pekerjaan yang dilaksanakan secara bertahap. Salah satu Alternatif pemecahan solusi diatas bisa disiasati dengan menganalisis nilai uji tarik menggunakan *software Plaxis* dibandingkan dengan hasil uji *pullout* yang sudah dilaksanakan dilapangan kemudian diolah secara statistik sehingga diperoleh rasio nilai uji *pullout*

soil nail. Rasio tersebut dapat digunakan untuk memprediksi nilai uji *pullout soil nail* untuk seksi pekerjaan selanjutnya dengan kondisi dan data tanah sejenis, sehingga lebih efisien dalam pengambilan jumlah sampel uji tarik dilapangan dan mengurangi dampak *debonding* di zona aktif akibat pengujian.

2. Metode

2.1. Diagram alir

Diagram alir dalam penelitian dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Diagram Alir (*Flow Chart*) Penelitian

Tahapan penelitian secara umum dapat digambarkan dalam 4 tahapan, yaitu:

1. studi pustaka terkait topik yang akan dibahas,
2. pengumpulan data penelitian selama magang di Satker PJJN III Propinsi Bali,
3. analisis data parameter tanah yang akan diinput ke *Plaxis* untuk mencari nilai *movement pullout soil nail*. Hasil perhitungan *Plaxis* diolah secara statistik deskriptif sehingga diperoleh nilai *mean* dan standar deviasi yang dituangkan dalam *bar chart*. Selanjutnya, prediksi nilai uji *pullout* diprediksi menggunakan persamaan regresi linier Anova,
4. hasil dan pembahasan output statistik dan regresi linier yang diperoleh secara ilmiah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang relevan dengan penelitian.

2.2. Tes *Pullout* 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 [5]. Berikut **Tabel 1** hasil tes *pullout soil nailing* zona 1, **Tabel 2** hasil tes *pullout* zona 3, dan **Tabel 3** hasil tes *pullout* zona 4.

Tabel 1. Hasil Tes *Pullout Soil nailing* Zona 1 Dilapangan

Sta.	No. Titik	Panjang Paku (m)	Tmax (Ton)	Movement (mm)
Sisi Kanan				
0+200	44	6	10	1.516
0+250	19			2.975
0+425	60	7		2.521
Sisi Kiri				
0+200	11	6	10	1.594
	24			1.430
	15			1.770
	16			2.265
0+225	22	6	10	2.580
	26			2.695
	30			2.245
0+250	37	6	10	2.290
	75			2.385
0+300	76	6	10	2.285
	82			2.940
0+325	100	6	10	2.679
	124			2.380
0+350	127	6	10	1.665
	129			2.391
	12			1.353
	20			2.115
0+450	133	6	10	2.540
	136			2.289
	149			2.535

Tabel 2. Hasil Tes *Pullout Soil nailing* Zona 3 Dilapangan

Sta.	No. Titik	Panjang Paku (m)	Tmax (Ton)	Movement (mm)
Sisi Kanan				
0+950	72	10	12	1.860
	91			2.332
	31			2.295
	34			2.435
0+975	26	10	12	2.740
	71			2.332
	98			2.910
	110			2.505
Sisi Kiri				
0+925	1	7	10	1.594
	12			1.430
0+950	19	7	10	1.770
	27			2.265
	38	7	10	2.580
	45			2.695
0+950	62			2.245
	48			2.290
	89	10	12	2.385
0+975	100	10	12	2.285

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

Sta.	No. Titik	Panjang Paku (m)	Tmax (Ton)	Movement (mm)
Sisi Kanan				
	1			2.630
	2			2.791
	3			2.265
1+700	6	7	10	2.912
	7			2.165
	8			1.500
	9			1.595
	10			1.390
Sisi Kiri				
	13	10	12	3.145
	19			2.275
1+525	33	12	12	1.486
	35			1.520
	39			1.520
	6			3.164
	8			4.255
1+550	17	12	12	2.390
	54			2.625
	56			3.875
	69			3.414
	3	10	12	1.901
	25			1.210
	61			2.305
1+575	64	12	12	6.496
	71			3.623
	86			3.672
	98			2.390

2.3. Analisis nilai uji *pullout soil nail* menggunakan software *Plaxis 2D*

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 referensi yang sudah ada. Sebagian besar korelasi berdasarkan nilai NSPT. Parameter tanah yang diinput ke *Plaxis* antara lain:

- berat volume jenuh (γ_{sat}),
- koefisien permeabilitas (k),
- modulus elastisitas (E),
- *poisson ratio* (ν),

- kohesi (C),
- sudut geser (ϕ),
- dilatasi (Ψ).

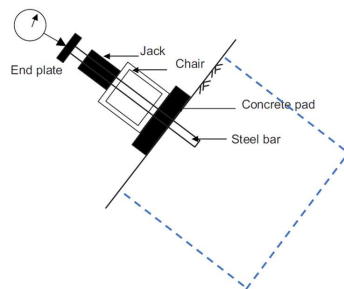
Parameter tanah yang diinput dalam *Plaxis* adalah parameter tanah dalam kondisi efektif karena tanah yang dianalisis lereng alami. Tanah dominan sebagian besar pasir dengan konsistensi *loose* hingga *very dense* dan beberapa lapisan tanah berupa lanau dengan konsistensi *soft* hingga *hard*.

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*

Pemodelan dan perhitungan *movement pullout soil nail* dianalisis menggunakan *Plaxis 2D* seri V8. [6]:

- pembuatan model geometri secara grafis (*define geometri*),
- pembentukan jaring elemen (*generate mesh*),
- define initial condition*,
- define calculate phases*,
- calculate*,
- inspect result*.

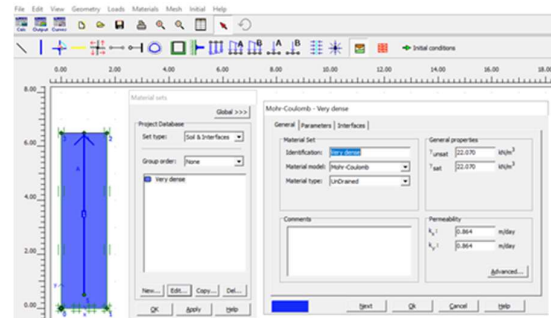
Uji *pullout* dilakukan pada beberapa sampel *soil nail* dilapangan. Ilustrasi simplifikasi pemodelan geometri tanah disekeliling *soil nail* yang akan diinput ke *Plaxis* dapat dilihat pada **Gambar 7** [7].



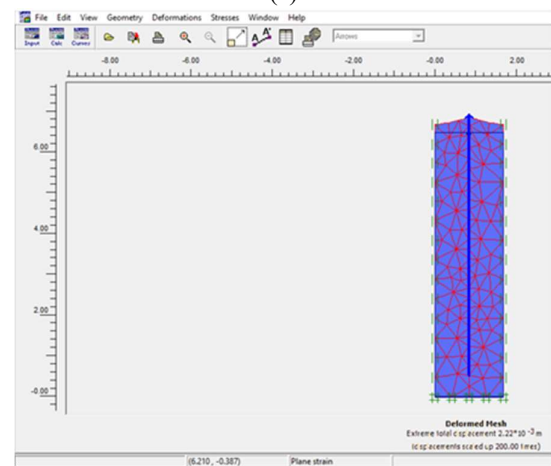
Gambar 7. Ilustrasi Simplifikasi Pemodelan Geometri Tanah disekeliling *Soil nail* [7]

Ilustrasi pemodelan geometri hingga hasil analisis menggunakan *Plaxis* dapat dilihat pada **Gambar 8**. **Gambar 8a** menampilkan pemodelan *Plaxis* menggunakan *plain strain* dengan elemen *15-node*. Titik tinjau No. 28 menggunakan material batu pasir konsistensi *very dense*, panjang *nail* 6 m, dan gaya tarik 98,1 kN. Gambar 8b merupakan hasil *calculate output Plaxis* berupa nilai *movement pullout* sebesar

2.22 mm. Rekapitulasi hasil seluruh analisis *Plaxis* pada tanah lanau dan pasir dapat dilihat pada **Tabel 4** dan **Tabel 5**.



(a)



(b)

Gambar 8. (a) Pemodelan Geometri Secara Grafis, Set Material, *Soil nail* dan Gaya Tarik (b) Hasil *Calculate Output Plaxis*.

2.4. Statistik

Hasil analisis statistik menggunakan statistik deskriptif dan Anova [8].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil perhitungan *movement soil nail* dengan *Plaxis*

Analisis perhitungan *movement soil nail* menggunakan *Plaxis* pada lanau dapat dilihat di **Tabel 4** dan pasir pada **Tabel 5**.

Moayed, R.Z, dkk 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. Tahanan tarik berdasarkan SPT adalah metode yang lebih konservatif untuk mengevaluasi tahanan tarik paku tanah terutama pada material berpasir. Tahanan tarik paku tanah sangat dipengaruhi oleh kualitas konstruksi.

Ketika kualitas konstruksi berkurang, maka tahanan tarik pa-
ku tanah juga berkurang [9].

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. 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 rata-rata deformasi horizontal pemodelan *Plaxis* umumnya lebih besar dari data nilai pemantauan lapangan [10].

3.2. Statistik

Data-data hasil *movement soil nail* dari perhitungan *Plaxis* dianalisis secara statistik. Nilai *mean* dan standar deviasi pada tanah Lanau dan Pasir dapat dilihat pada **Tabel 6** dan **Tabel 7**. **Gambar 9** menyajikan *Bar Chart* nilai *mean* dan standar deviasi *movement soil nail*.

Tabel 4. Hasil Perhitungan *Movement* Menggunakan *Plaxis* pada Lanau

No.	Deskripsi Material	Titik <i>Pullout</i>	<i>Movement</i> (mm)		Criteria at VTL	
			<i>Pullout</i>	<i>Plaxis</i>		
1	Lanau Pasiran (<i>Soft</i>)	12	1.353	6.460	10.287	
		20	2.115	6.460	10.287	
		110	2.505	8.270	10.287	
		2	Lanau Pasiran (<i>Medium</i>)	6	2.912	7.940
7	2.165	7.940		10.287		
8	1.500	7.940		10.287		
9	1.595	8.480		10.287		
10	1.390	8.480		10.287		
3	Lanau Keras (<i>Hard</i>)	133		2.540	2.170	10.287
136		2.289	2.170	10.287		
149		2.535	2.170	10.287		
1		2.630	2.970	10.287		
2		2.791	2.970	10.287		
3		2.265	2.970	10.287		
4		Lanau Keras (<i>Very Stiff</i>)	91	2.332	2.980	10.287
			27	1.390	2.030	10.287
			38	1.900	2.030	10.287
			45	2.290	2.030	10.287
	62		1.345	1.910	10.287	
	48		1.110	2.400	10.287	
	89		2.875	2.670	10.287	

Tabel 5. Hasil Perhitungan *Movement* Menggunakan *Plaxis* pada Pasir

No.	Deskripsi Material	Titik <i>Pullout</i>	<i>Movement</i> (mm)		Criteria at VTL
			<i>Pullout</i>	<i>Plaxis</i>	
1	Pasir Lanauan (<i>Loose</i>)	44	1.516	3.68	10.287
		11	1.594	2.640	10.287
		24	1.430	4.090	10.287
		75	2.385	3.890	10.287
		76	2.285	3.890	10.287
2	Lanau Kasar (<i>Medium</i>)	71	2.332	5.630	10.287
		98	2.910	4.980	10.287
		100	1.360	4.980	10.287
3	Pasir Kerikilan (<i>Dense</i>)	19	2.975	2.14	10.287
		15	1.770	2.430	10.287
		16	2.265	2.420	10.287
		22	2.580	2.430	10.287
		26	2.695	2.230	10.287
		30	2.245	2.430	10.287
		37	2.290	2.430	10.287
		31	2.295	3.670	10.287
		34	2.435	3.820	10.287
		26	2.740	3.670	10.287
4	Pasir Boulder (<i>Very Dense</i>)	60	2.521	2.09	10.287
		82	2.940	2.220	10.287
		100	2.679	2.220	10.287
		124	2.380	2.140	10.287
		127	1.665	2.140	10.287
		129	2.391	2.140	10.287
		72	1.860	2.200	10.287
		1	2.174	2.200	10.287
		12	1.868	2.200	10.287
		19	1.535	2.200	10.287
		13	3.145	3.010	10.287
		19	2.275	3.290	10.287
		33	1.486	3.290	10.287
		35	1.520	3.290	10.287
		39	1.520	3.290	10.287
6	3.164	3.290	10.287		
8	4.255	3.290	10.287		
17	2.390	3.290	10.287		
54	2.625	3.290	10.287		
56	3.875	3.290	10.287		
69	3.414	3.290	10.287		
3	1.901	3.040	10.287		
25	1.210	3.330	10.287		
61	2.305	3.330	10.287		
64	6.496	3.330	10.287		
71	3.623	3.330	10.287		
86	3.672	3.330	10.287		
98	2.390	3.330	10.287		

Dari **Tabel 6**, **7** dan **Gambar 9**, terlihat bahwa:

- Nilai *movement soil nail* rata-rata hasil analisis dengan *Plaxis* dibawah nilai *Criteria at VTL soil nail* sebesar 10.287 mm, artinya perhitungan *Plaxis* aman karena

tidak melebihi nilai kriteria *movement* verifikasi uji tarik yang diijinkan.

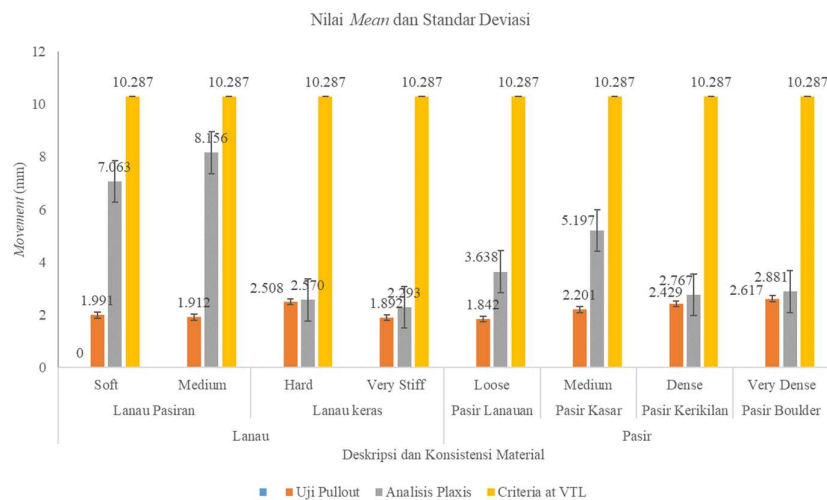
- b. Nilai *movement* rata-rata uji *pullot soil nail* dilapangan masih dibawah nilai analisis *Plaxis* dengan standar deviasi seperti terlihat di tabel 6 dan 7, hal tersebut dapat dijadikan gambaran bahwa konstruksi yang dilaksanakan dilapangan cukup aman dengan indikasi *movement soil nail* yang diuji langsung dilapangan masih dibawah hasil perhitungan secara program dan kriteria *movement* verifikasi uji tarik.
- c. Hasil *movement soil nail* perhitungan *Plaxis* sangat fluktuatif pada tanah lanau pasiran (konsistensi *soft* dan *medium*) dan pasir lanauan (konsistensi *loose* dan *medium*), sedangkan pada tanah konsistensi keras nilainya tidak jauh berbeda. 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 keras diambil dari nilai SPT yang relatif seragam sehingga lebih akurat.
- d. Hasil *movement soil nail* perhitungan *Plaxis* pada tanah dengan konsistensi *soft* dan *medium* lebih besar dibandingkan pada tanah dengan konsistensi keras (*hard, Dense, Very stiff, dan very dense*), kemungkinan karena pengaruh jenis tanah dan kedalaman galian sehingga adanya pengaruh tekanan *overburden*.

Tabel 6. Nilai *Mean* dan Standar Deviasi pada Tanah Lanau

Movement (mm)	Lanau Pasiran		Lanau Keras	
	Soft	Medium	Hard	Very Stiff
Nilai Mean				
Pullout Test	1.991	1.912	2.508	1.892
Plaxis Analysis	7.063	8.156	2.570	2.293
Criteria at VTL	10.287	10.287	10.287	10.287
Standar Deviasi				
Pullout Test	0.586	0.634	0.202	0.643
Plaxis Analysis	1.045	0.296	0.438	0.404
Criteria at VTL	10.287	10.287	10.287	10.287

Tabel 7. Nilai *Mean* dan Standar Deviasi pada Pasir

Movement (mm)	Pasir Lanauan	Pasir Kasar	Pasir Kerikilan	Pasir Boulder
	Loose	Medium	Dense	Very Dense
Nilai Mean				
Pullout Test	1.842	2.201	2.429	2.617
Plaxis Analysis	3.638	5.197	2.767	2.881
Criteria at VTL	10.287	10.287	10.287	10.287
Standar Deviasi				
Pullout Test	0.455	0.783	0.337	1.102
Plaxis Analysis	0.576	0.375	0.666	0.542
Criteria at VTL	10.287	10.287	10.287	10.287



Gambar 9. Bar Chart Nilai Mean Dan Standar Deviasi Movement Soil nail

Jenis tanah sangat berpengaruh pada nilai uji *pullout soil nail*, hal ini pernah diteliti oleh Ghadimi, Amir Shahraki, dkk. Penelitian tersebut dilatarbelakangi 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* [11].

3.3. Prediksi nilai uji *pullout*

Untuk memprediksi nilai uji *pullout soil nail* di paket pekerjaan selanjutnya di ruas *long* segmen proyek dapat menggunakan rasio nilai *movement* perhitungan dengan *Plaxis* dibandingkan dengan nilai uji *pullot* yang sudah dilaksanakan sebelumnya melalui persamaan regresi linier dari Anova. Nilai persamaan regresi linier untuk memprediksi Nilai *Movement Uji Pullout* dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Persamaan Regresi Linier Anova untuk Memprediksi Nilai *Movement Uji Pullout*.

No.	Material	Nilai <i>Movement Analisis Plaxis</i> (X)	Persamaan Regresi Linier (Prediksi Nilai <i>Pullout</i>)
A Lanau			
1	Lanau pasiran (<i>Soft</i>)	7.063	$-1.018 + 0.426 * X$
2	Lanau pasiran (<i>Medium</i>)	8.156	$12.482 - 1.296 * X$
3	Lanau keras (<i>Hard</i>)	2.570	$2.163 + 0.134 * X$
4	Lanau keras (<i>Very Stiff</i>)	2.293	$-0.037 + 0.841 * X$
B Pasir			
1	Pasir lanauan (<i>Loose</i>)	3.638	$1.032 + 0.223 * X$
2	Pasir kasar (<i>Medium</i>)	5.197	$0.626 + 0.303 * X$
3	Pasir kerikilan (<i>Dense</i>)	2.767	$2.417 + 0.004 * X$
4	Pasir boulder (<i>Very Dense</i>)	2.881	$0.863 + 0.609 * X$

Prediksi kapasitas *pullout soil nail* pernah diteliti oleh Franzen, dkk. Penelitian membahas kemungkinan membuat perkiraan berdasarkan hasil penarikan lapangan dan simulasi numerik, antara lain memprediksi kapasitas tarik berdasarkan hasil penarikan lapangan dan memprediksi kapasitas tarik dari paku tanah berdasarkan propertis tanah dan paku yang sudah diketahui. 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 pararameter 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 [12].

4. Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Hasil *movement* uji *pullout soil nail* secara sederhana dapat diprediksi melalui rasio hasil perhitungan menggunakan *software Plaxis* dibandingkan data *movement soil nail existing* yang diolah secara statistik sehingga diperoleh persamaan regresi linier untuk memprediksi nilai *movementnya*.
- Hasil penelitian ini relevan digunakan untuk tanah dengan deskripsi dan konsistensi material yang sejenis pada proyek Pembangunan Jalan Baru Batas Kota Singaraja-Mengwitani di Provinsi Bali.
- Hasil analisis perhitungan *Plaxis* dalam memprediksi *movement* uji *pullot soil nail* diharapkan dapat lebih mengefisiensi pengambilan jumlah sampel dilapangan agar biaya konstruksi tidak membengkak dan mengurangi dampak *debonding* di zona aktif dengan efek yang sangat merugikan.
- Jenis tanah dan kedalaman galian (tekanan *overburden*) sangat mempengaruhi nilai *pullout soil nail*.
- Untuk hasil perhitungan *Plaxis* yang lebih akurat sebaiknya dianalisis berdasarkan nilai SPT per lapisan tanah, deskripsi dan konsistensi material sejenis, sebaiknya menghindari penyeragaman nilai SPT pada lapisan tanah dengan nilai SPT yang sangat bervariasi.

Daftar Pustaka

- [1] Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah III Provinsi Bali, "Kerangka Acuan Rencana Usaha Dan/Atau Kegiatan Pembangunan Jalan Baru Batas Kota Singaraja-Mengwitani, Provinsi Bali", Denpasar, 2017.
- [2] Badan Standardisasi Nasional, "Standar Nasional Indonesia SNI 8460:2017 *Soil nailing*", Jakarta, 2017.
- [3] Babu, G.L.Sivakumar, dkk, "*Soil nails Field Pullout Testing: Evaluation and Applications*", *International Journal of Geotechnical*, 2010.
- [4] Bridges, Chris, "*Soil nail Testing*", *2nd Earth Structures and Retention Conference*, 2015.
- [5] Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah III Provinsi Bali, "Laporan Hasil Test *Pullout Soil nailing*", Denpasar, 2019.
- [6] Tim Dosen Rumpun Mata Kuliah Geoteknik Program Studi Magister Super Spesialis Teknik Sipil, ITS, "Matematika dan Statiska Penelitian", Surabaya,

- 2020.
- [7] Zhang, L. L, dkk “*Uncertainties of Field Pullout Resistance of Soil nails*”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2009.
- [8] Devore, Jay L, “*Probabilty & Statistics for Engineering and the Science*”, *Eighth Edition*, California, 2010.
- [9] Moayed, R.Z, dkk, “*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, 2020.
- [10] Zolqadr, Emad, dkk, “*Analysis of soil nail walls performance - Case study*”, *Geomechanics and Geo-engineering: An International Journal*, 2015.
- [11] Ghadimi, Amir Shahraki, dkk, “*Effect of soil type on nail pull-out resistance*”, *Ground Improvement, Volume 170 Issue G12*, 2017.
- [12] Franzen, G. dkk, “*Prediction of Pullout Capacity of Soil nail*”, *International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE)*. Sweden. 1998.

Halaman ini sengaja dikosongkan