

METODE PENANGANAN TANAH LONGSOR DENGAN PEMAKUAN TANAH (SOIL NAILING)

I Nengah Sinarta¹⁾

1) Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Warmadewa

ABSTRAK

Analisis stabilitas lereng dan kecocokan terhadap metode perkuatan lereng agar tidak terjadi longsor mempunyai peran yang sangat penting pada perencanaan konstruksi-konstruksi sipil. Paper ini bertujuan untuk menjelaskan tentang macam-macam tipe dinding penahan tanah sebagai salah satu metode perbaikan kestabilan lereng. Sebelum memilih metode penanganan tanah longsor yang tepat, perlu dilakukan penyelidikan penyebab ketidakstabilan lereng. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menjadikan suatu tebing lebih stabil terhadap tekanan tanah adalah dengan pemakuan tanah "soil nailing". Soil nailing termasuk kategori perkuatan kaku (rigid) yang dapat memikul gaya normal, gaya lintang dan gaya momen. Kontrol utama terhadap pemakuan tanah adalah hasil dari pull out test yang berupa; Kurva lengkung beban Vs Displacement, Max Pull Out Force, Displacement total massa tanah. Soil Nailing merupakan solusi potensial dari masalah longsor karena ekonomis dan juga berlaku di zona seismik. Pemakuan tanah dapat memecahkan masalah lereng terjal, pada daerah yang sebagian besar perumahan, akibat pemasangan tidak membutuhkan lahan yang luas serta dapat digunakan untuk berbagai jenis tanah.

Kata kunci: Soil Nailing, Penanganan Longsor, Perkuatan kaku.

1 PENDAHULUAN

Morfologi alam setiap kawasan membentuk bidang datar atau mempunyai perbedaan elevasi antara tempat yang satu dengan yang lain sehingga membentuk suatu lereng (*slope*). Perbedaan elevasi tersebut pada kondisi tertentu dapat menimbulkan kelongsoran lereng sehingga dibutuhkan suatu analisis stabilitas lereng, serta aplikasi perkuatan lereng yang di butuhkan. Analisis stabilitas lereng dan kecocokan terhadap metode perkuatan lereng agar tidak terjadi longsor mempunyai peran yang sangat penting pada perencanaan konstruksi-konstruksi sipil. Tanah asli yang tidak selalu sesuai dengan perencanaan yang diinginkan misalnya propertis tanah yang tidak menguntungkan, lereng yang terlalu curam pemotongan bukit atau kondisi lain yang membutuhkan timbunan menyebabkan rawan longsor. Sehingga diperlukan analisis stabilitas lereng yang lebih akurat, aplikasi perkuatan lereng yang cocok agar diperoleh konstruksi lereng yang mantap sesuai syarat keamanan yang di butuhkan.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menjadikan suatu tebing lebih stabil terhadap tekanan tanah adalah dengan pemakuan tanah "*soil nailing*". *Soil Nailing* termasuk teknik untuk stabilitas lereng dinding penahan tanah yang paling ekonomis karena sistem pekerjaan yang cepat dan tidak membutuhkan tempat yang luas. Pelaksaaan *soil nailing* cukup menggunakan peralatan *portable* yang mudah dipindah dan diubah sesuai kebutuhan dan kondisi lapangan yang disesuaikan dengan sudut kemiringan dinding tanah.

Perkuatan tanah dengan metode ini dengan memanfaatkan tekanan pasif yang akan dikerahkan jika terjadi gerakan. Hal ini dapat digunakan untuk mempertahankan galian dan menstabilkan lereng alam (tanah asli) dengan menciptakan suatu perkuatan struktur penahan tanah (Abramson, et al., 2002), yang umumnya di pasang pasang dengan sudut $10^{\circ} - 20^{\circ}$ terhadap bidang datar tanah dan Pemasangan di lakukan dari atas ke bawah (*Top Down Constructed*).

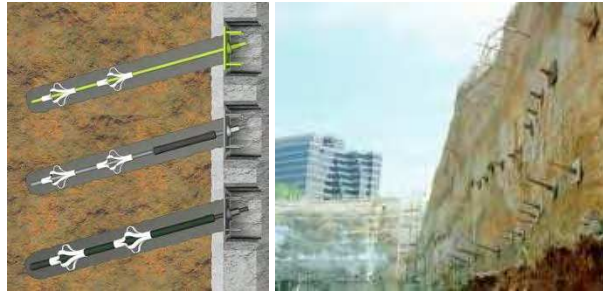
Soil nailing termasuk katagori perkuatan kaku (*rigid*) yang dapat memikul gaya normal, gaya lintang dan gaya momen, sangat cocok digunakan lereng alam. Pada pemakuan tanah untuk penahan galian, tulangan-tulangan umumnya terbuat dari batang-batang baja, pipa baja atau batang metal Paku-paku atau Tulangan-tulangan dipasang dengan cara menekan atau mengebor lebih dahulu, dan kemudian di grouting (ditutup dengan larutan semen).

2 PERSYARATAN DAN PEMASANGAN

2.1 Persyaratan

Pada pemakuan tanah untuk penahan galian, tulangan-tulangan umumnya terbuat dari batang-batang baja, pipa baja atau batang metal yang tidak hanya dapat menahan gaya tarik, tapi juga gaya geser dan momen lentur. Tulangan-tulangan dipasang dengan cara menekan atau mengebor lebih dahulu, dan kemudian di grouting (ditutup dengan larutan semen).

Bahan-bahan yang di gunakan dalam dalam pekerjaan *soil nailing* meliputi:



Gambar 1. Soil Nailing (Williams Form Hardware & Rockbolt Ltd., 2011)

1. Batang baja ulir sebagai tendon mengacu pada: SNI 07-2529-1991 (Metode Pengujian Kuat Tarik Baja Beton), ASTM A 615 (*Reinforcing Steel Properties*), ASTM A 722 (*Prestressing Steel Properties*).
2. Semen mengacu pada: SNI 15-2049-1994 (Sement Portland).
3. Agregat Halus mengacu pada: SNI 03-1968-1990 (Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar), ASTM C 33 (*Standard Specification for Concrete Agregate*).
4. Air mengacu pada: SNI 03-6817-2002 (Metode Pengujian Mutu air untuk digunakan dalam beton).
5. Campuran kimia (*admixture*) mengacu SNI 1495-1992
6. Bahan tambah seperti: *air-entraining agent, water reducer, superplasticizer, retarder, silika fume* mengacu pada: SNI 03-2495-1991 (Spesifikasi bahan tambahan untuk beton)
7. Baja tulangan mengacu pada: SNI 07-2529-1991 (Metode Pengujian Kuat Tarik Baja Beton)

Ketentuan soil nailing pada spesifikasi khusus interim -1 Departemen Pekerjaan Umum, SKh-1.7.19-1 adalah sebagai berikut:

1. Batang baja ulir sebagai tendon

Batang baja ulir menerus tanpa sambungan atau las, baru, lurus, tidak rusak, seperti yang tertera dalam gambar rencana. Baja tulangan yang digunakan memiliki kuat tarik 420 Mpa atau 520 Mpa sesuai ketentuan ASTM A 615. untuk baja prategang digunakan mutu baja 1035 Mpa, sesuai ketentuan ASTM A 722.

2. Centralizers

Dibuat dengan menggunakan bahan PVC atau bahan sintetik lainnya yang tidak membahayakan batang baja (kayu tidak boleh digunakan); dipasang dengan baik pada batang baja sehingga memungkinkan batang baja berada di tengah lubang dengan maksimum penyimpangan 25 mm, memungkinkan batang tremie masuk sampai dasar lubang. dan memungkinkan material grout memenuhi seluruh lubang sampai atas.

3. Grout

Semen atau campuran antara semen dan pasir dengan kuat tekan umur 3 hari sebesar 10.5 Mpa dan kuat tekan umur 28 hari sebesar 21 Mpa dengan faktor air semen 0.4 sampai 0.45.

4. Bahan Tambah (*Admixture*)

Campuran untuk mengontrol bleed pada beton, memperbaiki flowability, mengurangi kadar air, memperlama waktu set beton untuk grout dapat digunakan setelah diperiksa dan disetujui. Accelerator tidak diijinkan untuk digunakan. Admixture harus sesuai dengan material grout dan dicampurkan sesuai dengan persyaratan dari pembuat (manufacturer).

5. Semen

Sesuai ketentuan AASHTO M85/ASTM C 150, tipe, I, II, III atau V. Semen disimpan agar tidak mengalami hidrasi parsial atau kelembaban. Semen yang telah mengeras atau membongkah tidak boleh digunakan. Agregat disimpan

agar tidak tercampur dengan bahan lain.

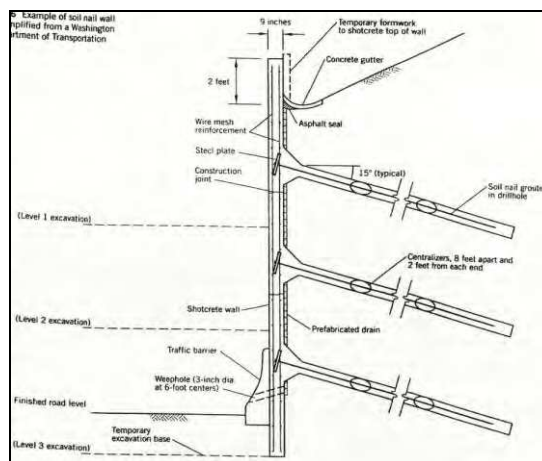
6. Agregat Halus

Sesuai keterangan AASHTOM6/ASTM C33.

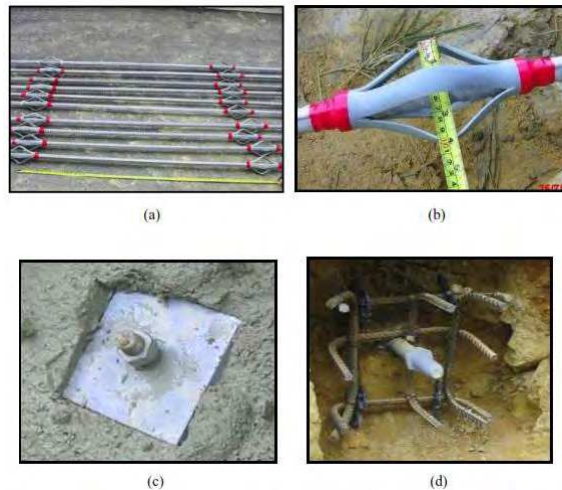
7. Baja Tulangan

Baja tulangan harus diletakkan pada tumpuan dan tidak boleh diletakkan langsung menyentuh permukaan tanah. Kerusakan pada baja tulangan akibat abrasi, terpotong, tergores, terkena las, dapat menjadi alasan tidak boleh dipasang atau tidak dapat digunakannya material tersebut. Baja tulangan harus dilindungi terhadap kotoran, karat, dan cairan kimia tertentu sebelum dipasang. Kondisi berkarat yang parah sehingga batang baja terkikis dapat menjadi alasan penolakan, namun bila karat ringan yang tidak menyebabkan baja terkikis dapat diterima.

Detail elemen-elemen dan material *Soil Nailing* seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3 di bawah ini:



Gambar 2. Detail Elemen-Elemen *Soil Nailing* (Cornforth, 2005)



Gambar 3. Material *Soil Nailing* (Yeung, 2008) (a): batang baja, (b): bentuk bagian dari batang baja nailing, (c): pelat baja dan kepala tendon, (d): proses instalasian dari pelat baja dan kepala

Tabel 1. Tipikal Dimensi *Nail* di Eropa

	<i>Diameter (mm)</i>	<i>Yield Stress (N/mm²)</i>	<i>Ultimate Stress (N/mm²)</i>
DYWIDAG	26.5 32.0 36.0	835	1 030
DYWIDAG	26.5 32.0 36.0	1 080	1 230
GEWI	22.0 25.0 28.0 40.0	420	500

Tabel 2. Tipikal *Nail* di Amerika Utara

<i>Bar size Designation Number</i>	<i>Diameter Inches mm</i>	<i>Weight Kg per metre</i>
5	0.63 15.9	1.55
6	0.75 19.1	2.24
7	0.88 22.2	3.05
8*	1.00 25.4	3.98
9*	1.13 28.7	5.07
10*	1.25 31.8	6.41
11*	1.38 35.0	7.92
14	1.75 44.5	11.4
18	2.26 57.2	20.3

Minimum yield stress = 415N/mm²

*These numbers most commonly used in soil nailing

2.2 Pemasangan

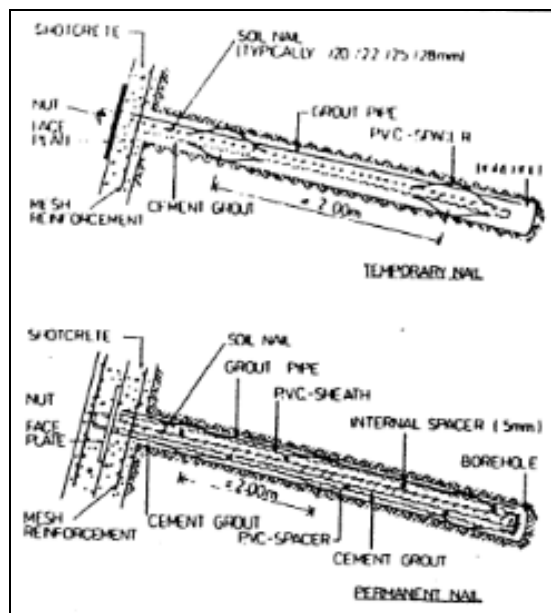
Pemasangan soil nailing harus dilakukan secara berkelanjutan dan sesuai ketentuan yang berlaku, metode pemasangan dalam Prashant, 2010 adalah sebagai berikut:

1. *Grouted nail*: Baja di masukkan ke dalam lubang berikutnya ujungnya ditutup dengan semen.
2. *Driven nail*: Baja di masukkan ketanah langsung meskipun proses penggalian masih di laksanakan biasa dilaksanakan untuk kekuatan sementara.
3. *Self-drilling soil nail*: proses pemboran lubang serta memasukkan batang baja dan proses grouting dilaksanakan secara simultan selama proses memasukkan batang baja, merupakan metode tercepat untuk menghindari korosi.

4. *Jet-grouted soil nail*: dilakukan jika tanah mudah longsor, saat penggalian dan membuat lubang kemudian di injeksi beton untuk menghindari korosi.

5. *Launching soil nail*: Batang baja di masukkan dengan tekanan udara tinggi, metode ini sangat cepat, kesulitan hanya mengontrol kedalaman masuknya batang baja.

Berdasarkan metode di atas maka pemasangan soil nailing dapat di bagi menjadi 2 yaitu pemasangan yang sifatnya darurat atau sementara karena dinding yang mudah longsor dan pemasangan permanen dimana soil nailing dilakukan perkuatan dengan facing beton, seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Metode Pemasangan (a).sementara (b).permanen

Tahapan umum Pelaksanaan Pekerjaan adalah sebagai berikut:

1. Pemboran

Pemboran dilaksanakan dengan sudut 15° - 20° dari arah horizontal dengan system “*wash boring*”, kedalaman bor bisa mencapai 12 meter dengan diameter 10 cm atau sesuai yang telah ditentukan. Posisi masing-masing nailing sesuai dengan yang telah ditentukan pada gambar rencana yaitu misalnya berjarak 1.5 meter arah horizontal dan vertical.

2. *Flushing*

Setelah pemboran selesai, lubang bor dicuci sehingga diharapkan semua lumpur sisa pengeboran keluar dari lubang bor. Pencucian dilaksanakan dengan memompakan air ke dalam lubang bor melalui tremie berupa pipa PVC $\varnothing \frac{3}{4}$ “ atau 1”.

3. Pemasukan *Deform Bar*

Setelah Lubang Bor bersih dari lumpur, *Deform Bar* misalnya D.25 grade 40 dimasukkan ke dalam lubang bor. Untuk menjamin posisi deform bar pada tengah-tengah lubang, pada beberapa tempat sepanjang deform bar dibuatkan dan dipasang centralizer, centralizer ini dipersiapkan sebelumnya bersamaan dengan pembuatan/fabrikasi drat pada ujung luar *nail*.

4. *Grouting*

Grouting dilaksanakan dengan campuran air semen yang menghasilkan compressive strength / mutu mortar K225. Karena bahan *grouting* adalah campuran air dan semen, maka susut tidak bisa

dihindari, oleh sebab itu pengulangan *grouting* (pengisian air semen) kembali ke dalam lubang bor hingga penuh.

5. *Shotcrete*

Pekerjaan *shotcrete* dilaksanakan sesudah beberapa nailing selesai *digrouting*. Pembesian dinding ini berupa 1 layer wiremesh M5 (50x50). *Shotcrete* berupa campuran air +semen+ *screening* + abu batu, adapun mutu yang disyaratkan untuk material *shotcrete* ini adalah K175 dengan ketebalan 7cm.

6. *Finishing*

Tahapan terakhir setelah pelaksanaan *shotcrete* dilaksanakan adalah pemasangan plat penguat ukuran 150x150x10 mm serta pengencangan baut pada ujung deform bar.

Proses pemasangannya dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6 di bawah ini:

3 MENDESIGN SOIL NAILING

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menjadikan suatu tebing lebih stabil terhadap tekanan tanah adalah dengan pemasangan *soil nailing*. *Soil nailing* termasuk kategori perkuatan kaku (*rigid*) yang dapat memikul gaya normal, gaya lintang dan gaya momen. Mendesign *soil nailing* perlu di lakukan analisis:

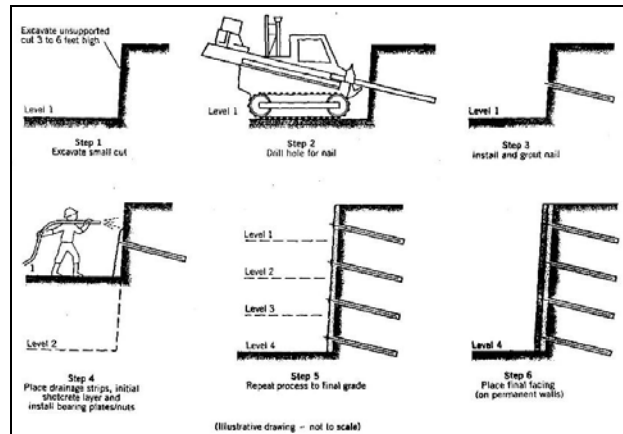
1. *Internal Stability Analisis*

Soil nailing harus mampu memikul beban yang bekerja, sehingga sebuah reinforcement ini dapat menahan gaya Tarik dan gaya geser yang akan bekerja. Jika reinforcement *soil nailing* ini gagal hanya terjadi pada kegagalan local

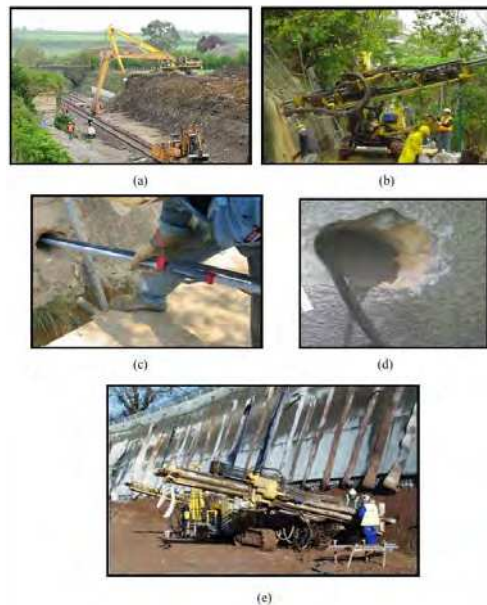
dan men-trigger progressive failure. Untuk menambah kuat Tarik soil reinforcement ini dapat dengan memperpanjang atau memperbesar diameter.

2. *External Stability Analysis*

Stabilitas external di lakukan untuk memastikan bahwa panjang soil nailing yang di butuhkan mampu menahan stabilitas global.



Gambar 5. Ilustrasi Pemasangan Soil Nailing (Cornforth, 2005)



Gambar 6. Proses pemasangan (a).pembentukan lahan, (b).Pemboran (c).Pemasukan & melakukan injeksi semen pada keliling paku dan tanah (d).strip drainase, (e)lapisan shotcrete awal & memasang bantalan srew (Prashant, 2010)

Dalam Bruce, 2000, ada 4 parameter yang menjadi pertimbangan mendesign Soil Nailing tetapi bisa juga berbeda dalam project yang lain:

1. Ratio keseluruhan geometri struktur

$$\text{Length Ratio} = \frac{\text{Maximum nail length}}{\text{Excavation height}} = \frac{L}{H}$$

2. Rasio permukaan nail antara tendon dengan tanah

$$\text{Bond Ratio} = \frac{\text{Hole diameter} \times \text{Nail length}}{\text{Nail spacing}} = \frac{(d_{\text{hole}})L}{\text{spacing}}$$

3. Rasio Kekuatan pengaturan nail

$$\text{Strength Ratio} = \frac{(\text{Nail diameter})^2}{\text{Nail spacing}} = \frac{(d)^2_{\text{bar}}}{\text{spacing}}$$

4. Ratio perubahan nailing dalam masa penggalian dan pemasangan

$$\text{Performance Ratio} = \frac{\text{Outward movement}}{\text{Excavation height}} = \frac{\delta_{\text{horizontal}}}{H}$$

Di bawah ini adalah tabel 3 dan 4, rasio yang di harapkan dalam pemasangan *soil nailing* (Bruce, 2000):

Tabel 3. Tanah Granular

	<i>Drilled and grouted</i>	<i>Driven</i>
Length Ratio	0.5-0.8	0.5-0.6
Bond Ratio	0.3-0.6	0.6-1.1
Strength Ratio (10^{-3})	0.4-0.8	1.3-1.9
Performance Ratio	.001-.003	No data

Tabel 4. Tanah Lempung *Overconsolidated*

	<i>Granular soils</i>	<i>Moraine and Marl</i>
Length Ratio	0.5-0.8	0.5-1.0
Bond Ratio	0.3-0.6	0.15-0.20
Strength Ratio (10^{-3})	0.4-0.8	0.1-0.25

Perhitungan dalam mendesign *soil nailing* dapat dilakukan secara manual dimulai dengan menghitung faktor keamanan sebelum dilakukan *nailing* adalah:

$$FK_{\text{awal}} = \frac{M_{\text{penahan}}}{M_{\text{penyebab}}}$$

Untuk meningkatkan faktor keamanan kepada suatu nilai faktor keamanan baru maka diperlukan suatu momen penahan tambahan sehingga

besarnya faktor keamanan akan menjadi:

$$FK_{\text{baru}} = \frac{M_{\text{penahan}} + M_{\text{tambahan}}}{M_{\text{penyebab}}} \text{ atau}$$

$$FK_{\text{baru}} = FK_{\text{awal}} + \frac{M_{\text{tambahan}}}{M_{\text{penyebab}}}$$

Besarnya momen tambahan menjadi:

$$M_{\text{tambahan}} = (FK_{\text{akhir}} - FK_{\text{awal}}) \cdot M_{\text{penyebab}}$$

Momen tambahan didapatkan dengan cara memberikan gaya T dengan arah yang searah dengan garis singung bidang gelincir pada titik tangkap ujung bagian bawah bidang gelincir atau sejauh r dari titik pusat bidang gelincir. Besarnya gaya T dihitung dengan rumus:

$$T = \frac{(FK_{akhir} - FK_{awal}) M_{penyebab}}{r}$$

Gaya diatas adalah yang harus diberikan per meter panjang tebing. Sehingga besarnya gaya yang harus diberikan oleh satu baris horisontal *nail* (T'') menjadi:

$$T'' = T \times b$$

dimana b adalah jarak antar baris horisontal *nail* dalam satuan meter. Untuk menghasilkan momen tambahan diatas, gaya yang harus diberikan oleh

satu batang *nail* dalam arah mendatar (P) adalah:

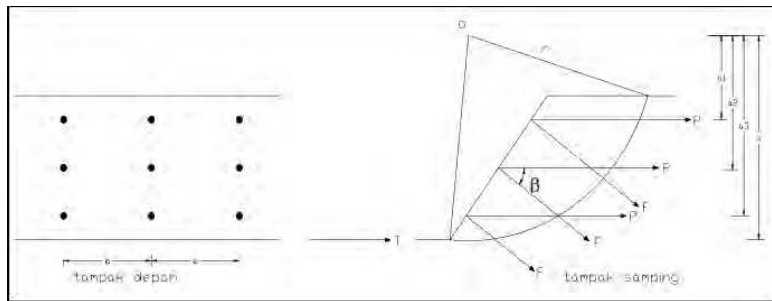
$$P = \frac{T' \cdot a}{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}$$

Dimana a adalah jarak dari T ke titik pusat bidang gelincir, posisi a_1, a_2, \dots, a_n dapat dilihat pada Gambar 7. Sedangkan n adalah jumlah *nail* dalam satu baris vertikal.

Sedangkan gaya yang harus diberikan oleh satu batang *nail* searah batang *nail* (F) adalah:

$$F = \frac{P}{\cos \beta}$$

Dimana β adalah besar sudut antara batang *nail* dengan bidang mendatar, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Ilustrasi Pemasangan

Diameter *nail* dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{4F}{\pi \cdot D^2} = \sigma_{ijin}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot \sigma_{ijin}}}$$

dimana:

F = Gaya yang harus diberikan satu batang *nail* (kg)

D = Diameter penampang *nail* (mm)

σ_{ijin} = Tegangan ijin tarik bahan *nail* (kg/cm²)

Panjang *nail* di hitung dengan persamaan :

$$L = L_s + L_r$$

$$L_s = \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot c}$$

Dimana:

L_r = panjang nail di atas bidang longsor (m)

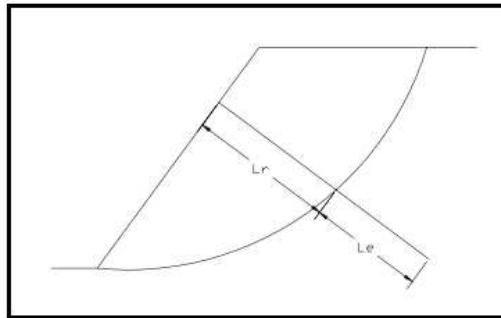
L_e = panjang nail di bawah bidang longsor (m), $L_e \geq 1$ m

F = Gaya yang harus diberikan satu batang nail (kg)

r = Diameter lubang nail (m)

c = kohesi tanah (kg/m^2)

Panjang batang nail (L) minimal harus mencapai pada bidang gelincir dengan angka keamanan yang memenuhi syarat.



Gambar 8. Ilustrasi panjang L_r dan L_e

4 PENGAMATAN DAN PENGUJIAN

4.1 Pengamatan

Proses pemasangan *soil nailing* di butuhkan pengamatan secara seksama terhadap kondisi tanah berupa penyelidikan tanah, selama pelaksanaan konstruksi dan setelah konstruksi adapun yang perlu diamati dalam proses tersebut adalah: (Prashant, 2010)

1. Sebelum Konstruksi:
 - a. SPT, CPT dan Tinggi muka air (lapangan).
 - b. Distribusi butiran, batas-batas *atterberg*, kadar air, konsolidasi, UCT, *triaksial test*.
 - c. Test baja di lakukan secara acak minimal 5% dari baja yang di gunakan.
 - d. Uji tarik pada baja pada kekuatan ultimit.

2. Selama Konstruksi:

- a. Gudang penyimpanan material yang disesuaikan dengan spesifikasi.
- b. Pengamatan galian, pengeboran, pemasangan tendon, *grouting*, dinding *structural facing* dan drainase.

3. Setelah Konstruksi:

- a. Gerakan horizontal dan vertical pada ujung tendon, permukaan sekitar tendon dan permukaan keseluruhan.
- b. Pengamatan konstruksi pendukung untuk perkuatan.
- c. Kerusakan Tendon.
- d. Sistem drainase.

4.2 Pengujian

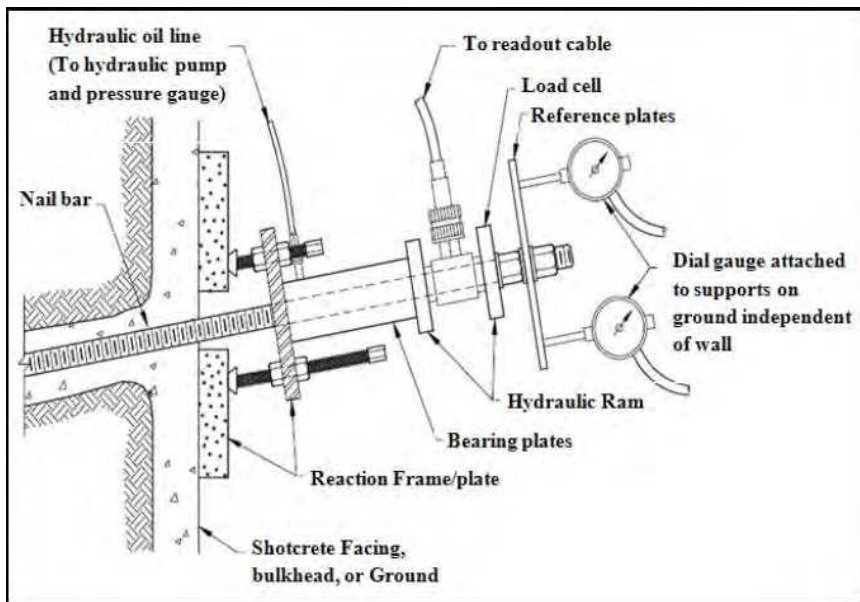
Proses pengujian dari *soil nailing* berupa interaksi antara tanah dan batang adalah sebagai berikut:

Dengan proses pengujian:

1. AASHTO (1990) jumlah pasak di test 1 buah untuk satu deret horizontal dan maksimal 3 % dari jumlah total *soil nailing*.
2. Pengujian dilaksanakan setelah beton grouting berumur minimal 28 hari, dengan umur beton grouting $f'c = 25$ MPa dengan uji tarik.

3. Batang baja tendon ditarik dengan dongkrak hidrolis dengan kapasitas 50 ton.
4. *Soil nailing* dianggap runtuh bila pergerakan melebihi 0.04 inchi antara 1-10 menit atau 0.08 inchi dalam periode 60 menit.

Uji tarik (*pull out test*) pada *soil nailing* dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 9:



Gambar 9. Ilustrasi Pengujian Pull Out

Prosedur pengujian:

1. *Nail* yang diuji harus ada "*Unbonded Length*" pada ujung luar *nail*
2. *Estimasi Pull Out Failure* misalnya: TL = 5 Ton.
3. Pengujian dilakukan dengan melakukan pembebanan secara bertahap misalnya masing-masing 1, 2, 3, 4 sampai 9 atau 10 ton.

4. Masing-masing pembebanan dijaga atau ditahan pada beban tertentu, sementara dial displacement dibaca pada unit menit ke 1, 2, 3, 4, 5 dan 10 menit. Bila selisih displacement antara bacaan 1 menit dan 10 menit > 1 mm, maka beban harus ditahan terus sampai menit ke – 60 dengan dibarengi pembacaan dial displacement setiap 10 menit.

5. Lanjutkan pengujian untuk beban selanjutnya dengan prosedur yang sama untuk setiap penambahan beban.
6. *Pull out* dianggap tercapai bila displacement yang terjadi pada beban test saat itu adalah 2mm pada menit ke 60 atau pada puncak beban.

Pengujian dilaksanakan sampai kondisi runtuh atau nilai kekuatan minimum sehingga akan di dapatkan *safety factor* dari kekuatan *bond* dengan pullout, dengan kreteria:

1. Tidak terjadi kegagalan *pullout* pada 200% dari beban design selanjutnya dilanjutkan mengamati pergerakannya

2. Total perpindahan (ΔL) dengan uji *pullout* 200% dari beban design minimal mencapai 80% pergerakan *elastic*.

3. Dimana kreteria tersebut dalam Prashant, 2010

$\Delta L \geq \Delta L_{min}$ where ΔL_{min} is the minimum acceptable movement defined as:

$$\Delta L_{min} = 0.8 \frac{P L_u}{E A}$$

Where P = Maximum applied test load

A = Cross-sectional area of the nail bar

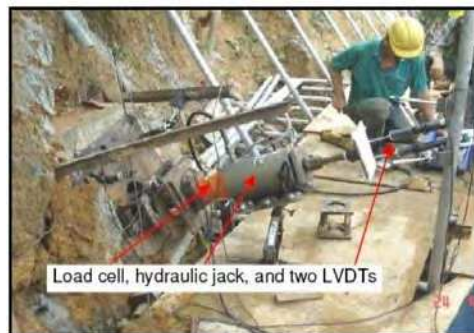
E = Young's modulus of steel

L_u = Unbonded length

Dari hasil Pull Out Test akan berupa:

1. Kurva lengkung beban Vs Displacement
2. Max Pull Out Force
3. Displacement total massa tanah

Hasil pengujian terlihat seperti Gambar 11 di bawah ini:



Gambar 10. Proses Pengujian

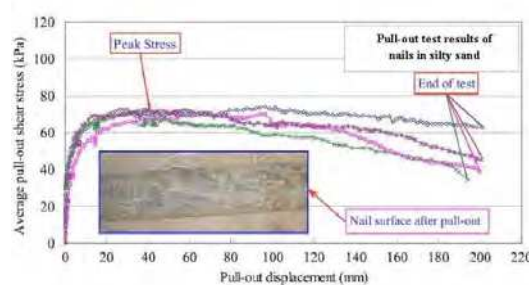


Fig. 2.3 Typical force-displacement curves of pull-out test (Su et al., 2008)

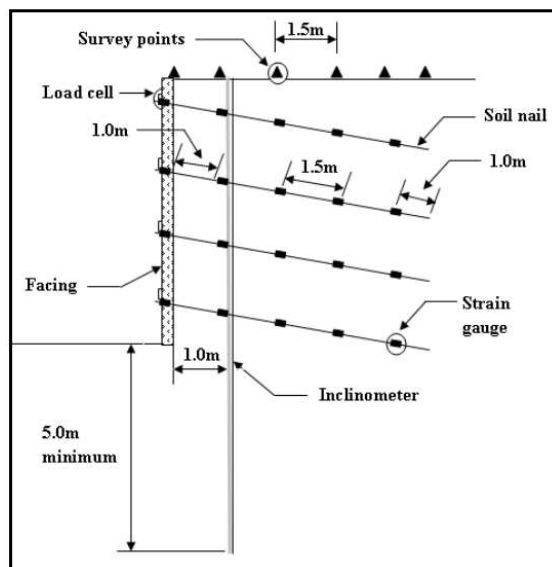
Gambar 11. Hasil pengujian pull-out

5 MONITORING LERENG SETELAH PEMASANGAN

Hal terpenting dalam pemasangan *soil nailing*, terhadap keberhasilan pekerjaan dan bekerjanya paku (*nail*) untuk menjaga kestabilan lereng adalah melakukan monitoring terhadap lereng tersebut, adapun pengamatan yang dilakukan terhadap lereng yg telah terpasang soil nailing adalah sebagai berikut:

1. Gerakan horizontal dan vertical dari lereng, permukaan struktur secara keseluruhan.
2. Pengamatan terhadap struktur lainnya yang ikut memperkuat tanah.
3. Kerusakan tendon dengan soil nailing elemen
4. Kondisi drainase tanah.

Pemasangan instrument untuk mengamati pergerakan vertikal diperlihatkan pada Gambar 12. (Prashant, 2010).



Gambar 12. Pemasangan Instrumen Monitoring

6 KELEBIHAN DAN KEKURANGAN

6.1 Kelebihan:

1. Biaya : memberikan biaya yang lebih ekonomis daripada bentuk konstruksi penahanan tanah lainnya.
2. Waktu : karena memiliki bentuk yang relative sederhana, dan

penggunaan tenaga kerja sedikit serta pelaksanaannya menggunakan alat berat sehingga waktu bias dipersingkat.

3. Berlaku di hampir semua jenis tanah; konstruksi soil nailing dapat di laksanakan pada semua jenis tanah.
4. Peralatan konstruksi: sedikit dan relative mudah mendapatkannya

dan luas area yang dibutuhkan dalam masa konstruksi lebih sempit dibandingkan dengan teknik lain, sehingga cocok untuk pekerjaan yang memiliki areal konstruksi terbatas.

5. Prestasi: kemampuan konstruksi untuk menstabilkan lereng dapat di handalkan.
6. Fleksibilitas konstruksi: konstruksi dapat di modifikasi sesuai dengan kondisi tanah.
7. Pertimbangan lingkungan dan estetika: tidak terlihat masiv atau kaku karena ujung-ujung tendon dapat ditutupi dengan bahan alami.

6.2 Kekurangan:

1. *Soil Nailing* tidak cocok diaplikasikan untuk struktur yang membutuhkan kontrol ketat terhadap deformasi. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan post tension nail, namun langkah ini akan meningkatkan biaya konstruksi.
2. Metode ini tidak cocok untuk daerah yang memiliki muka air tanah tinggi, penggalian di bawah permukaan air.
3. Tidak cocok jika di perlukan penggalian di tanah lempung lunak.
4. Pelaksanaan konstruksi soil nailing relatif lebih sulit, sehingga membutuhkan kontraktor yang ahli dan berpengalaman.

7 SIMPULAN

Soil nailing merupakan solusi potensial dari masalah longsor karena

ekonomis dan juga berlaku di zona seismik. Hal ini dapat memecahkan masalah daerah yang sebagian besar perumahan, akibat pemasangan tidak membutuhkan lahan yang luas serta dapat digunakan untuk berbagai jenis tanah.

8 DAFTAR PUSTAKA

- Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S. & Boyce, G. M., 2002. *Slope Stability and Stabilization Methods. Second ed.* New York: John Wiley & Sons, Inc..
- Amit Prashant, Mousumi Mukherjee., 2010. *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks, Research Design and Standard Organization (RDSO)*, Lucknow, Indian Institute of Technology Kanpur.
- Atarfil, 2011. http://en.atarfil.com/applications_and_products/. [Online] Available at: http://en.atarfil.com/applications_and_products/ [Accessed 6 Mei 2014].
- Balitbang, Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah., 2002, *Metode, Spesifikasi dan Tata Cara, Bagian:1 Tanah, Longsoran*, Balitbang Departemen Kimpraswil, Jakarta
- D.A Bruce.and R.A Jewell, 2000. *Soil Nailing: Application and Practice Part 1-2.*, ASCE.
- Cornforth, D. H., 2005. *Landslides in Practice: Investigation, Analysis and Remedial/Preventative Options in Soils*. Canada: John Wiley & Sons, Inc. .

- Hardiyatmo, H. C., 2012. ***Tanah Longsor dan Erosi: Kejadian dan Penanganan***. Pertama penyunting Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- J.A.R.Ortigoa,A.SFJ. Sayoa.,2004. ***Handbook of Slope Stabilisation***, Springer-Verlag Berlin Heidelberg-Germany.
- Penelitian dan Pengembangan Dinas Pekerjaan Umum.,2000, ***Spesifikasi khusus Interim-1 Seksi 7.19 Soil Nailing***.
- PT Tetrasa, 2014. Geosinindo. [Online] Available at: <http://www.geosinindo.co.id> [Accessed 6 Mei 2014].
- Williams Form Hardware & Rockbolt Ltd., 2011. Williams Form Engineering Corps. [Online] vailable at: <http://www.williamsform.com> [Accessed 6 Mei 2014].
- Xianjing, H., Guilin, X., Guolin, Y. & Yongli, D., 2012. ***Field Test of the Reinforced Gabion Retaining Wall, a New Kind of Compound that Supports and Retains Structure***. Journal of Highway and Transportation Research and Development, January, 6(No.3), pp. 1-7.