



Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP)

Alamat Jurnal: <http://jpi.eng.unila.ac.id/index.php/ojs>



PERENCANAAN PERKUATAN LERENG DENGAN PEMAKUAN TANAH (SOIL NAILING) SEBAGAI SOLUSI DALAM PENANGANAN TANAH LONGSOR

Ihtiyan Hermansyah^{a,*}, Dikpride Despa^b, Trisya Septiana^c

^aDinas Cipta Karya dan Tata Ruang (DCKTR) Kota Tangerang Selatan, Intermark Indonesia Associate Tower Lt.3, Banten

^{b,c}Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro, Bandar Lampung 35145

INFORMASI ARTIKEL

ABSTRAK

Riwayat artikel:
Masuk 10 Agustus 2023
Diterima 10 September 2023

Kata kunci:

Lereng
Longsor
Metode
Perencanaan
Soil Nailing (Pemakuan/Pasak Tanah)

Pelaksanaan pembangunan suatu proyek membutuhkan penggunaan metode pelaksanaan yang tepat, praktis, dan aman agar penyelesaian pekerjaan proyek dapat berjalan sesuai dengan target waktu, biaya dan mutu yang telah direncanakan. Konstruksi lereng yang mantap dan sesuai dengan syarat keamanan memegang peran penting dalam suatu pembangunan. Dalam proyek ini proses perbaikan lereng perlu diperhatikan pemilihan metodenya. Jika metode pelaksanaan yang baik sesuai dengan kondisi lapangan berhasil diterapkan, akan menguntungkan proyek itu sendiri (Debora dkk, 2022). Analisis stabilitas lereng dan kecocokan terhadap metode perkuatan lereng agar tidak terjadi longsor mempunyai peran yang sangat penting pada perencanaan konstruksi-konstruksi sipil. *Soil Nailing* adalah teknik konstruksi yang dapat digunakan sebagai ukuran perbaikan untuk mengobati lereng tanah alami tidak stabil atau yang memungkinkan aman dari keruntuhan lereng. Untuk kondisi tertentu, soil nailing menawarkan alternatif dari sudut pandang kelayakan teknis, biaya konstruksi, dan durasi konstruksi. 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 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 (I Nengah Sinarta, 2014). *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. Namun dari hasil penelitian penulis menyarankan agar menggunakan sistem *soil nailing* pada suatu lokasi digunakan dengan jumlah yang banyak agar setiap titik tekan terwakilkan dan juga harus disertakan sistem drainase.

1. Pendahuluan

Lereng adalah suatu permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horisontal. Lereng pada umumnya dapat terbentuk secara alami maupun buatan. Lereng alami adalah lereng yang terbentuk dikarenakan kondisi alam, seperti lereng bukit dan sungai, sedangkan lereng buatan adalah lereng yang terbentuk dikarenakan adanya campur tangan oleh pihak manusia misalnya galian dan timbunan. Lereng yang memiliki kondisi sudut kemiringan tertentu dengan horisontal menyebabkan kestabilan lereng menjadi permasalahan yang sering dihadapi pada proses pekerjaan konstruksi. Lereng yang tidak stabil akan menyebabkan terjadinya longsor yang

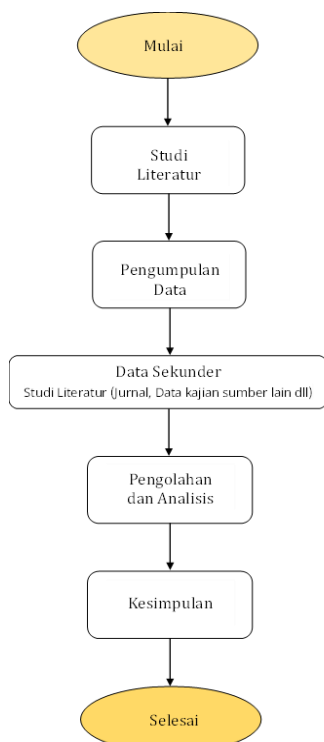
dapat membahayakan bangunan yang berada di atasnya maupun bangunan yang ada dibawahnya, serta dapat menyebabkan adanya korban jiwa dari pengguna jalan dan tertutupnya arus lalu lintas. Longsor yang dapat berdampak buruk dapat dicegah dengan melakukan perkuatan lereng. Fungsi Perkuatan lereng adalah untuk memberikan stabilitas terhadap lereng agar tidak terjadi longsor. Salah satu perkuatan lereng yang dapat digunakan sebagai alternatif adalah *soil nailing*. *Soil nailing* adalah metode perbaikan tanah asli yang pertamakali di aplikasikan pada tahun 1961. *Soil nailing* merupakan jenis perkuatan pasif pada tanah dengan menanamkan potongan-potongan baja (*nails*) kemudian dilakukan *grout*. Pada

*djorkaef54@gmail.com

beberapa kondisi, soil nailing memberikan alternatif yang bisa dilakukan dilihat dari sisi kemungkinan pelaksanaan, biaya pembuatan, dan lamanya waktu pengerjaan jika dibandingkan dengan sistem perkuatan lereng yang lain (Eris dkk, 2018). Berdasarkan dari efektifitas dan nilai ekonomis metode *soil nailing* mendorong penulis untuk melakukan penelitian perencanaan perkuatan lereng dengan pemakuan tanah (*soil nailing*) sebagai solusi dalam penanganan tanah longsor.

2. Metodologi

Metodologi pada penelitian ini dimaksudkan adalah langkah/tahapan dalam penelitian yang dimulai dari tahap mendapatkan hingga mengolah data dan menyimpulkannya.



Gambar 1. Alur pengerjaan dari penelitian

2.1 Studi Literatur

Studi literatur, yaitu tahapan mempelajari dan mencari literatur atau referensi yang berkaitan dengan penelitian ini (Eris dkk, 2018).

2.2 Pengumpulan Data

Pada tahapan pengumpulan data penelitian, penulis hanya mencari data dari hasil studi literatur. Adapun dari hasil pengumpulan data didapatkan data-data kualitatif (deskriptif) dan kuantitatif (angka).

Studi Literatur atau Penelitian Kepustakaan (*Library Research*) yaitu pengumpulan data yang dilakukan dengan cara membaca buku-buku literatur geoteknik ataupun yang berhubungan dengan bendungan ataupun yang berhubungan dengan masalah yang akan dibahas (Hendra dkk, 2014).

2.3 Data Sekunder

Pada penelitian ini penulis hanya menggunakan kumpulan data sekunder dimana data ini sudah ada pada instansi atau organisasi ataupun data hasil studi literatur. Data sekunder merupakan berbagai informasi yang telah ada sebelumnya dan dengan sengaja dikumpulkan oleh peneliti yang digunakan untuk melengkapi kebutuhan data penelitian. Biasanya data-data ini berupa diagram, grafik, dokumentasi atau tabel sebuah informasi penting. Data sekunder bisa dikumpulkan melalui berbagai sumber seperti buku, situs, jurnal, artikel, peraturan, data hasil kajian/penelitian sumber lain, dokumen pemerintah dan lain-lain.

2.4 Pengolahan dan Analisis Data

Metode analisis yang digunakan bersifat deskriptif dan kuantitatif dengan memberikan alur/tahapan model pemakuan tanah (*soil nailing*) yang dapat digunakan sebagai solusi dalam pencegahan/penanganan tanah longsor. Dimana Teknik analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah melakukan analisis data hasil studi literatur/studi Pustaka yang penulis telah kumpulkan dan mengolahnya sehingga didapatkan alur/tahapan perencanaan pekerjaan/kegiatan pemakuan tanah (*soil nailing*).

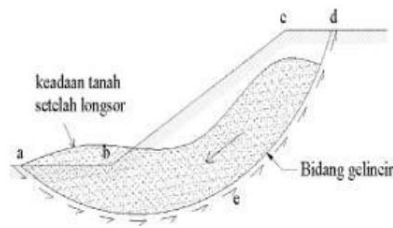
3. Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan pengumpulan data penelitian didapatkan data-data kualitatif (deskriptif) dan kuantitatif (angka). Data-data ini dihasilkan dari data sekunder (buku, jurnal/artikel, kajian/penelitian sejenis, situs dll) lalu dilanjutkan dengan pengolahan dan analisis data tersebut.

3.1 Stabilitas Lereng

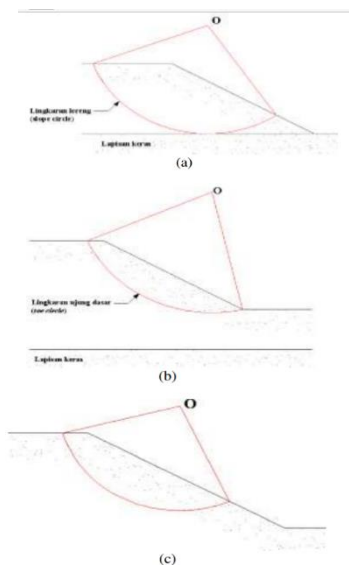
Indonesia memiliki kondisi geologis dan geografis yang beragam. Kondisi yang beragam tersebut membuat daerah berbukit dan lereng banyak digunakan sebagai tempat tinggal bahkan bangunan bertingkat lainnya. Banyak kondisi tanah dan lereng yang tidak stabil. Sehingga berpotensi terjadi longsor. Oleh karena itu, harus ada perkuatan pada kondisi lereng tersebut sebagai cara untuk mengatasi masalah longsor yang timbul. Pemerintah sudah membangun dinding penahan tanah di tepi lereng tersebut, tetapi masih belum memadai dan belum mampu menahan kelongsoran tanah di daerah tersebut (Tatag dkk, 2017).

Suatu permukaan tanah yang miring yang membentuk sudut tertentu terhadap bidang horisontal disebut sebagai lereng (*slope*). Lereng dapat terjadi secara alamiah atau dibentuk oleh manusia dengan tujuan tertentu. Jika permukaan membentuk suatu kemiringan maka komponen massa tanah di atas bidang gelincir cenderung akan bergerak ke arah bawah akibat gravitasi. Jika komponen gaya berat yang terjadi cukup besar, dapat mengakibatkan longsor pada lereng tersebut. Kondisi ini dapat dicegah jika gaya dorong (*driving force*) tidak melampaui gaya perlawanan yang berasal dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor seperti yang diperlihatkan pada Gambar berikut (Hendra dkk, 2014) :



Gambar 1. Kelongsoran lereng (Sumber: Das, 1995)

Bidang gelincir dapat terbentuk dimana saja di daerah-daerah yang lemah. Jika longsor terjadi dimana permukaan bidang gelincir memotong lereng pada dasar atau di atas ujung dasar dinamakan longsor lereng (slope failure) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2a. Lengkung kelongsoran disebut sebagai lingkaran ujung dasar (*toe circle*), jika bidang gelincir tadi melalui ujung dasar maka disebut lingkaran lereng (*slope circle*). Pada kondisi tertentu terjadi kelongsoran dangkal (*shallow slope failure*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2b. Jika longsor terjadi dimana permukaan bidang gelincir berada agak jauh di bawah ujung dasar dinamakan longsor dasar (*base failure*) seperti pada Gambar 2c. Lengkung kelongsorannya dinamakan lingkaran titik tengah (*midpoint circle*) (Das, 2002). Proses menghitung dan membandingkan tegangan geser yang terbentuk sepanjang permukaan longsor yang paling mungkin dengan kekuatan geser dari tanah yang bersangkutan dinamakan dengan Analisis Stabilitas Lereng (*Slope Stability Analysis*).



Gambar 2. Bentuk-bentuk keruntuhan lereng (a) Kelongsoran lereng, (b) Kelongsoran lereng dangkal, (c) Longsor dasar (Sumber: Das, 1995)

1. Program Plaxis

Plaxis adalah paket program finite elemen untuk analisa 2 dimensi dari deformasi dan stabilitas dalam rekayasa geoteknik. Dengan program ini kita dapat mengetahui faktor keamanan dari suatu lereng. *Plaxis* mulai dikembangkan sekitar tahun 1987 di *Technical University of Delft* atas inisiatif dari *Dutch Departement of Public Works and Water Management*.

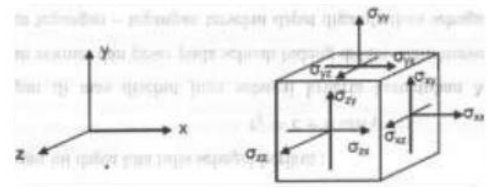
Plaxis adalah program elemen hingga untuk aplikasi geoteknik dimana digunakan model-model tanah untuk melakukan simulasi terhadap perilaku dari tanah. Program *plaxis* dan model-model tanah didalamnya

telah dikembangkan dengan seksama. Meskipun pengujian dan validasi telah banyak dilakukan, tetap tidak dapat dijamin bahwa program *plaxis* telah bebas dari kesalahan. Simulasi permasalahan geoteknik dengan menggunakan metode elemen hingga sendiri telah secara implisit melibatkan kesalahan pemodelan dan kesalahan numerik yang tidak dapat dihindarkan. Akurasi dari keadaan sebenarnya yang diperkirakan sangat bergantung pada keahlian dari pengguna terhadap pemodelan permasalahan, pemahaman terhadap model-model tanah serta keterbatasannya, penentuan parameter-parameter model, dan kemampuan untuk melakukan interpretasi hasil komputasi.

2. Tegangan

Tegangan adalah sebuah gaya tarik/tekan yang mana dapat ditunjukkan oleh sebuah Matriks dalam koordinat *Cartesius* (sumbu x,y dan z). Dalam kondisi tegangan tarik adalah simetris dalam *teori deformasi standar*, tegangan ditulis dalam notasi *vector*, yang mana hanya meliputi enam komponen :

$$\sigma = (\sigma_{xx} \sigma_{yy} \sigma_{zz} \sigma_{xy} \sigma_{yz} \sigma_{zx})^T \quad (1)$$



Gambar 3. Sistem koordinat, contoh pada bidang kerja dan indikasi komponen tegangan positif (sumber: Plaxis 2D, 1998)

Berdasarkan prinsip *Terzaghi*, tegangan dalam tanah dibagi kedalam tegangan efektif, σ' dan tekanan pori σ_w

$$\sigma = \sigma' + u \quad (2)$$

3. Regangan

Regangan adalah sebuah alat penarik/ pengencang yang mana dapat ditunjukkan oleh sebuah Matriks dalam koordinat *Cartesius* (sumbu x, y dan z). Dibawah kondisi diatas, regangan sering kali ditulis dalam notasi vektor, yang mana hanya meliputi enam komponen:

$$\epsilon = (\epsilon_{xx} \epsilon_{yy} \epsilon_{zz} \epsilon_{xy} \epsilon_{yz} \epsilon_{zx})^T \quad (3)$$

Ukuran isi regangan didefinisikan negatif untuk pemadatan dan positif untuk pemuaiian. Untuk jenis elastoplastis, sebagaimana digunakan dalam *Plaxis*, regangan dikomposisikan kedalam elastic dan komponen plastis.

$$\epsilon = \epsilon^e + \epsilon^p \quad (4)$$

4. Tekanan Pori

Tekanan pori umumnya berasal dari air di dalam pori. Air setelah dipertimbangkan tidak untuk menopang tegangan geser. Sebagai hasil, tegangan geser adalah sama dengan jumlah tegangan geser. Komponen tegangan normal positif telah dipertimbangkan untuk melaksanakan tegangan tarik. Mengingat, air dianggap sebagai bahan isotropis, jadi semua tekanan pori dianggap sama. Karena itu, tekanan pori dapat dapat dihasilkan oleh sebuah nilai, P_w

$$\varepsilon = (P_w P_w P_w 000)^T \quad (5)$$

5. Model Mohr-Coulomb

Model yang sederhana namun handal ini didasarkan pada parameter-parameter tanah yang telah dikenal baik dalam praktek rekayasa teknik sipil. Model *Mohr-Coulomb* dapat digunakan untuk menghitung tegangan pendukung yang realistis pada muka terowongan, beban batas pada pondasi dan lain-lain. Model ini juga dapat digunakan untuk menghitung faktor keamanan dengan pendekatan '*Reduksi phi-c*'.

6. Jenis Kalkulasi

Parameter pertama yang akan mengatur kapan mendefinisikan tahap perhitungan adalah Jenis perhitungan. Hal ini dilakukan dalam kotak kombo di sisi kanan atas dari lembar tab Umum. Perbedaan dibuat antara empat jenis dasar perhitungan: perhitungan Plastis (*plastic*), analisis Konsolidasi (*consolidation*), beban gravitasi (*gravity loading*) dan prosedur K0 (*K0 procedure*). Dua jenis terakhir hanya tersedia untuk tahap awal.

a. Kalkulasi Plastis

Sebuah perhitungan Plastis digunakan untuk melakukan analisis deformasi elastis plastis menurut teori deformasi kecil. Matriks kekakuan dalam perhitungan plastis didasarkan pada geometri pembentukan asli. Jenis perhitungan yang tepat dalam aplikasi geoteknik adalah yang paling praktis. Secara umum, perhitungan plastik tidak mengambil efek waktu ke dalam perhitungan kecuali bila model Tanah Lunak digunakan.

Mengingat beban cepat dari air tanah dipenuhi banyak jenis, perhitungan Plastik dapat digunakan untuk kasus pembatasan perilaku sepenuhnya dikeringkan menggunakan pilihan pengeringan dalam set data material. Di sisi lain, melakukan analisis sepenuhnya bisa dikeringkan menilai penyelesaian dalam jangka panjang. Ini akan memberikan prediksi yang cukup akurat tentang situasi akhir, meskipun sejarah pembebanan yang tepat tidak diikuti dan proses konsolidasi yang tidak ditangani secara eksplisit.

b. Analisis Konsolidasi

Sebuah analisis Konsolidasi biasanya dilakukan bila diperlukan untuk menganalisis perkembangan dan kemampuan untuk mengurangi tekanan pori berlebih dalam tanah liat-jenis jenuh sebagai fungsi waktu. PLAXIS 3D memungkinkan untuk benar analisis konsolidasi plastis yang elastis. Secara umum, konsolidasi analisis tanpa beban tambahan dilakukan setelah perhitungan plastik ditiriskan. Hal ini juga memungkinkan untuk menerapkan beban selama analisis konsolidasi. Namun, perawatan harus dilakukan ketika Situasi Kegagalan ini mendekat, karena proses iterasi tidak mungkin saling bertemu dalam situasi seperti ini.

c. Beban Gravitasi

Beban Gravitasi adalah jenis perhitungan Plastis, di mana tegangan awal yang dihasilkan berdasarkan berat volumetrik tanah. Semua pilihan yang tersedia untuk perhitungan Plastik yang tersedia. Dalam analisis memuat Gravitasi proporsi relatif berat

dinaikkan dari 0 ke 1. Dalam semua fase setelah fase awal, berat tanah penuh tetap diaktifkan. Beban gravitasi hanya tersedia untuk tahap perhitungan awal.

d. Prosedur K0

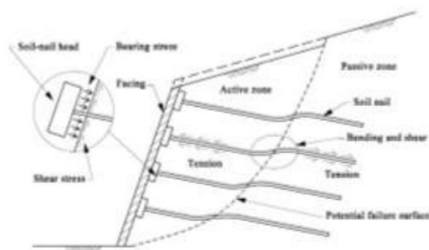
Prosedur K0 hanya tersedia untuk tahap perhitungan awal. Ini adalah metode perhitungan yang dapat digunakan untuk menentukan tegangan awal untuk model, dengan mempertimbangkan berat sendiri tanah.

3.2 Mendesign Pemakuan Tanah (Soil Nailing)

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. Pelaksanaan 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° – 20° 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 Pakupaku atau Tulangan-tulangan dipasang dengan cara menekan atau mengebor lebih dahulu, dan kemudian di grouting (ditutup dengan larutan semen) (I Nengah Sinarta, 2014). Dalam konteks ini, sistem tanah-dipaku (Soil Nailing) dianggap sebagai dinding penahan tanah-dipaku jika menghadap sistem adalah subvertikal, dan dirancang untuk tampil sebagai anggota struktural yang memberikan tindakan retensi ke tanah oleh berat sendiri, kekuatan atau kekakuan lentur. Teknik soil nailing meningkatkan stabilitas lereng, dinding penahan dan penggalian terutama melalui mobilisasi ketegangan di paku tanah. Pasukan tarik

dikembangkan di paku tanah terutama melalui interaksi gesekan antara paku tanah dan tanah serta reaksi yang diberikan oleh kepala tanah-dipaku / menghadap (*Gambar 4*). Gaya tarik pada paku tanah memperkuat tanah dengan langsung mendukung beberapa beban geser diterapkan dan dengan meningkatkan tekanan yang normal dalam tanah pada permukaan potensi kegagalan, sehingga memungkinkan tahanan geser yang lebih tinggi untuk dimobilisasi. Kepala tanah-dipaku dan menghadap memberikan efek kekangan dengan membatasi deformasi tanah dekat dengan normal ke permukaan lereng. Akibatnya, tegangan efektif rata-rata dan tahanan geser dari tanah di belakang kepala tanah-dipaku akan meningkat. Itu juga membantu untuk mencegah kegagalan lokal di dekat permukaan lereng, dan untuk mempromosikan tindakan yang tidak terpisahkan dari massa tanah diperkuat melalui redistribusi kekuatan antara kuku tanah. Perlawanan terhadap kegagalan penarikan paku tanah disediakan oleh bagian paku tanah yang tertanam ke dalam tanah di belakang permukaan potensi kegagalan.



Gambar 4. Soil Nailing (Williams Form Hardware & Rockbolt Ltd., 2011)

Stabilitas internal sistem soil nailing biasanya dinilai menggunakan model dua zona, yaitu zona aktif dan zona pasif (atau zona tahan), yang dipisahkan oleh permukaan potensi kegagalan (*Gambar 4*). Zona aktif adalah daerah di depan permukaan potensi kegagalan, di mana ia memiliki kecenderungan untuk melepaskan diri dari sistem tanah-dipaku. Zona pasif adalah wilayah di balik permukaan potensi kegagalan, di mana ia tetap lebih atau kurang utuh. Soil nail bertindak untuk mengikat zona aktif ke zona pasif. Interaksi soil nailing adalah kompleks, dipengaruhi oleh banyak faktor. Faktor-faktor ini meliputi sifat mekanik soil nailing (yaitu, kekuatan tarik, kekuatan geser dan kapasitas lentur), kecenderungan dan orientasi soil nailing, kekuatan geser tanah, kekakuan relatif soil nailing dan tanah, gesekan antara soil nailing dan tanah, ukuran tanah kepala-paku dan sifat menghadap lereng.

Soil nailing adalah teknik konstruksi yang dapat digunakan sebagai salah satu metode untuk memperkuat kondisi lereng tanah yang tidak stabil atau sebagai teknik konstruksi yang digunakan untuk menambah keamanan bagi lereng eksisting yang telah stabil. *Soil nailing* pertama kali diaplikasikan sebagai perkuatan untuk sebuah dinding penahan tanah di perancis (1961). Kemudian dikembangkan oleh *Rebcewicz* (1964, 1965), untuk digunakan dalam galian terowongan yang dikenal dengan "*The New Austrian Tunneling Method*" (NATM). Secara umum elemen-elemen yang diperhatikan dalam penggunaan metode perkuatan dengan *soil nailing* adalah :

1. Nail Bars
2. Nail Head

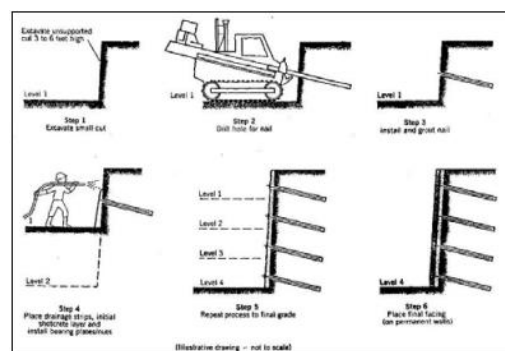
3. Grouting (Cor Beton)

4. Centralizers

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 Analysis

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



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

2. External Stability Analysis

Stabilitas external di lakukan untuk memastikan bahwa panjang soil nailing yang di butuhkan mampu menahan stabilitas global. Dalam Bruce, 2000, ada 4 parameter yang menjadi pertimbangan mendesign Soil Nailing tetapi bisa juga berbeda dalam project yang lain :



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 screw (Prashant, 2010)

Gambar 7. Ilustrasi Pengujian *Pull Out*

3.3 Pengamatan Dan Pengujian Pemakuan Tanah (*Soil Nailing*)

3.3.1. Pengamatan Pemakuan Tanah (*Soil Nailing*)

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.

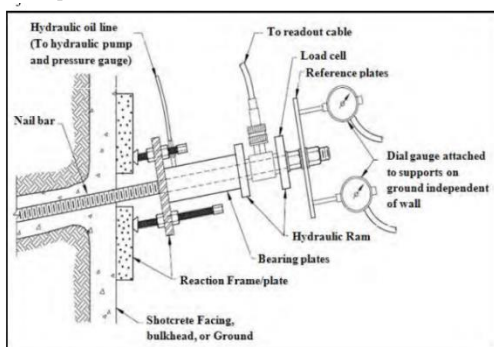
3.3.2. Pengujian Pemakuan Tanah (*Soil Nailing*)

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* di anggap 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 7* :



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.

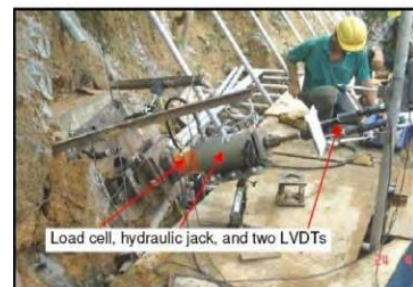
Pengujian dilaksanakan sampai kondisi runtuh atau nilai kekuatan minimum sehingga akan di dapatkan *safety factor* dari kekuatan *bond* dengan *pullout*, dengan kreteria :

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.

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 8* dan *Gambar 9* di bawah ini :



Gambar 8. Proses Pengujian

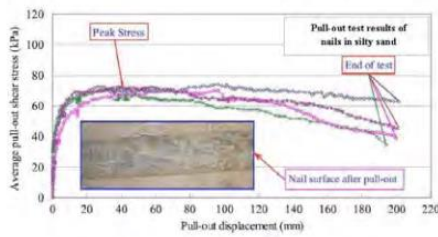


Fig. 2.3 Typical force-displacement curves of pull-out test (Su et al., 2008)

Gambar 9. Hasil Pengujian *Pull-Out*

3.4 Tahapan/Langkah Pelaksanaan Pemakuan Tanah (*Soil Nailing*)

3.4.1. Persyaratan Pelaksanaan Pemakuan Tanah (*Soil Nailing*)

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 digunakan dalam pekerjaan soil nailing meliputi:



Gambar 10. *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 Aggregate).
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: airetraining 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.

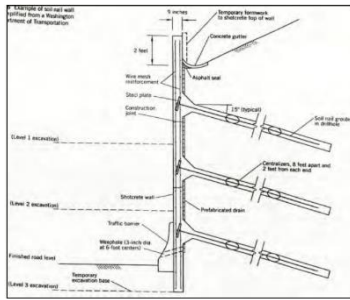
6. *Agregat* Halus

Sesuai keterangan AASHTOM6/ ASTM C33.

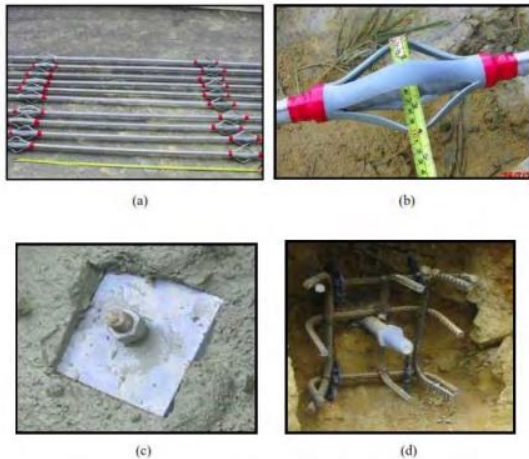
7. Baja Tulangan

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 11* dan *Gambar 12* di bawah ini:



Gambar 11. Detail Elemen-Elemen Soil Nailing (Cornforth, 2005)



Gambar 12. Material Soil Nailing (Yeung, 2008) (a): Batang baja, (b): Bentuk bagian dari batang baja nailing, (c): Pelat baja dan kepala tendon, (d): Proses instalation dari pelat baja dan kepala

Tabel 1. Tipikal Dimensi Nail di Eropa

	Diameter (mm)	Yield Stress (N/mm ²)	Ultimate Stress (N/mm ²)
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

Bar size Designation Number	Diameter Inches mm	Weight Kg per metre
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

3.4.2. Pekerjaan Merapihkan Lereng (Regrading)

Alat-alat dan bahan yang diperlukan: - Excavator 80-140 HP 0,9 m³ : 2 Unit - Dump Truck 3-4 m³ : 4 Unit Lereng yang akan dipasang pasak tanah dibersihkan terlebih dahulu dan dirapihkan sesuai kemiringan yang telah disyaratkandalam perencanaan awal proyek menggunakan alat excavator. Perataan lereng ini dimaksudkan agar kedalaman pengeboran dapat ditentukan dari permukaan dan panjang pasak tanah dapat

disesuaikan dengan gambar rencana. Pekerjaan Soil Nailing yang dilaksanakan pada lereng yang sering terjadi longsor ini harus dapat dikoordinasikan dengan baik agar supaya pelaksanaan pemasangan pasak tanah dapat dilakukan dengan aman. Kemiringan lereng yang telah di regrading bervariasi yaitu antara 33° - 35°. Namun, ada juga lereng yang melebihi kemiringan lereng yang direncanakan. Pekerjaan soil nailing hanya akan dilaksanakan pada lereng yang sudah sesuai dengan gambar rencana (SAP Drawing) tanpa adanya alur-alur ataupun bongkahan pada lereng, kemiringan lereng pun akan dikerjakan sesuai dengan gambar rencana.



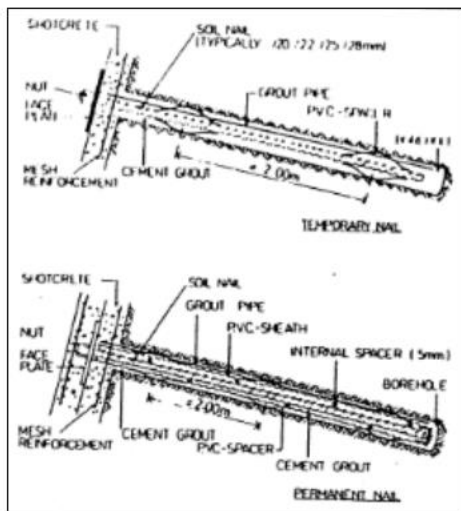
Gambar 13. Proses Merapihkan Lereng: Sebelum (kiri) dan Sesudah (kanan)

3.4.3. Pelaksanaan Pemakuan Tanah (Soil Nailing)

Pemasangan *soil nailing* harus di lakakukan 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 perkuatan 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 menghindar korosi.
5. *Lounging 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 14.



Gambar 14. Metode Pemasangan (a).Sementara (b).Permanen

Tahapan umum Pelaksanaan Pekerjaan adalah sebagai berikut :

1. Pemboran

Pemboran dilaksanakan dengan sudut $15^\circ - 20^\circ$ 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*.

➤ Penentuan Titik Pengeboran Untuk Soil Nailing, Horizontal Drain dan Weep Hole

Untuk tahap penentuan titik-titik ini hanya diperlukan pengukuran Panjang dan tinggi dari lereng itu sendiri dan akan di design lewat SAP Drawing.

➤ Pengeboran Lubang Soil Nailing, Horizontal Drain dan Weep Hole

Alat-alat dan bahan yang digunakan :

- Hydraulic Drilling Machine : 6 Unit
- Crawler Rotary Drilling (CRD) : 1 Unit
- Genset 100 kVa : 1 Unit
- Genset 35 kVa : 2 Unit

Pengerjaan pengeboran akan dilakukan dengan memakai Hydraulic Drilling Machine dan Crawler Rotary Drilling (CRD) akan disesuaikan dengan lokasi pengeboran dan struktur tanah yang akan dilaksanakan pengeboran. Untuk alat Hydraulic Drilling Machine dapat melakukan pengeboran dengan bantuan scaffolding yang dirancang dengan bantuan pipa tubular dikarenakan alatnya yang ringan sehingga dapat disesuaikan dengan kondisi lereng lokasi pekerjaan longsor ini. Namun untuk struktur tanah yang dipenuhi dengan bebatuan dan dapat dijangkau dengan alat CRD tentunya akan langsung ditangani dengan alat tersebut. Sesuai dengan syarat perencanaan awal, untuk lubang pengeboran nailing ini berdiameter 10cm dengan kemiringan pengeboran $\pm 15^\circ$ dan kedalaman pengeboran 12m. Pada pengeboran untuk soil nailing yang menggunakan tulangan 32D terdapat 307 titik dan untuk 25D sebanyak 968 titik. Adapun jarak antar lubang pengeboran, secara *horizontal* 2m dan *vertikal* rata-rata 3,5m. Untuk pengeboran

lubang *horizontal drain* berdiameter sesuai dengan pipa yang akan dipakai yaitu pipa PVC $\frac{3}{4}$ " dengan kedalaman pengeboran 10m. Terdapat 5 baris untuk *horizontal drain* dari segmen 1 sampai segmen 5 dengan jarak 4m. Pemboran dilaksanakan dengan sudut $15^\circ - 20^\circ$ dari arah *horizontal* untuk struktur tanah yang mudah terjadi longsor akan dilakukan *dry drilling* untuk menghindari terjadinya longsor didalam lubang pengeboran, begitu juga jika cuaca hujan tidak disarankan untuk melakukan pengeboran. kedalaman bor bisa mencapai 12 m dengan diameter 10 cm atau sesuai yang telah ditentukan.

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 $\frac{3}{4}$ " atau 1".



Gambar 15. Pengeboran Dengan Cara Kering menggunakan Alat CRD (Bor Angin)



Gambar 16. Pengeboran Dengan Cara Basah Menggunakan Alat Rotary Hydraulic Drilling Machine (Bor Air)

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. Pemasangan Nail Bar, dan Centralizer

Alat-alat dan bahan yang diperlukan :

- Baja Ulir 19 mm Panjang 12 m
- Pipa PVC $1\frac{1}{2}$ "

Pada pekerjaan pemasangan *Nail bar* dan *centralizer* ini tidak menggunakan alat berat namun hanya dilakukan manual dengan bantuan 4-5 orang untuk pemasangan *nail bar* pada lubang bor. Selanjutnya batang baja sebagai tendon ditempatkan ditengah lubang bor dengan menggunakan bantuan *centralizer* yang diatur sedemikian rupa sehingga baja tidak melengkung dan tidak mengganggu selang *grout* mencapai dasar lubang sehingga campuran beton dapat mengalir dengan baik ke dalam lubang bor. Posisi *nail bar* dapat bergeser dengan toleransi 25mm dari tengah lubang. Tidak diperbolehkan menekan batang baja bila dialami kesulitan pada saat memasukkan kedalam lubang bor. Untuk *centralizer* yang dipakai yaitu dari pipa PVC 1½" yang dipotong 30 cm dan pada 1 *nail bar* terdapat 2 hingga 3 *centralizer* sesuai dengan gambar dan petunjuk pemilik pekerjaan.



Gambar 17. Pemasangan *Nail Bar* Pada Lubang Bor



Gambar 18. *Centralizer* Yang Diletakkan Pada *Nail Bar*

5. Pekerjaan *Grouting Soil Nailing*

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.

Alat-alat dan bahan yang digunakan :

- Pasir
- Semen
- Air
- Bahan Tambah (Admixture)
- Grouting Pump : 3 Unit
- Grouting Machine : 2 Unit
- Concrete Mixer : 2 Unit

Pekerjaan penyuntikan semen dengan Komposisi campuran untuk *grouting* yaitu: air 36 liter, semen 50 kg, pasir 120 kg dan 40 g bahan admixture dan untuk mutu beton yang diizinkan adalah K250. *Grout* ke lubang bor akan dilakukan setelah batang baja terpasang dengan baik disetiap lubang yang telah siap untuk di *grouting* dalam kurun waktu maksimum 2 jam masukkan material *grout* mulai dari dasar lubang menggunakan selang atau pipa. Ujung selang atau pipa tersebut akan dipertahankan posisinya tetap berada dalam lubang sambil ditarik dengan perlahan-lahan untuk mencegah adanya pori-pori. Setiap lubang akan dipenuhi dengan material *grout* dalam sekali pelaksanaan, dan dalam pekerjaan ini setidaknya munculkan ± 40- 50cm batang baja diluar lubang untuk nantinya dapat memasang pelat dan baut *soil nailing*. Tujuan penyuntikan semen dengan tekanan yaitu untuk mengisi pori-pori, memperbaiki kondisi batuan yang mengalami *fractured*.



Gambar 19. a) Mesin Pompa, (b) Mesin Grouting Mixing, (c) Setelah Semua Bahan *Grouting* Dicampur Di Mesin *Mixing* Akan Disaring Kembali



Gambar 20. Lubang *Nailing* Yang Sedang Di *Grouting*

6. Pemasangan *Horizontal Drain*, *Weephole* dan *Geokomposit*

Alat-alat dan bahan yang digunakan :

- *Geokomposit*
- Pipa PVC ¾" 10m
- Pipa PVC ¾" 50 cm

Pada pemasangan pipa *horizontal drain* setelah dilakukan pengeboran lubang pengeboran akan dibersihkan sampai lumpur sedimen serta pasir keluar dari lubang. Setelah itu pipa berpeforasi dimasukkan kedalam lubang, pemasangan pipa harus dilakukan dengan hati-hati untuk mencegah kerusakan berlebih pada dinding lubang. Ketika pipa telah dipasang, kantong semen atau kain akan

di masukkan ke dalam lubang untuk menutup celah antara pipa dan tanah untuk mencegah adanya *material grouting* dan lain-lain memasuki zona lubang. Selanjutnya adalah pemasangan *weep hole*. Karena fungsi dari *weep hole* sendiri kurang lebih sama dengan *horizontal drain* maka pemasangannya pun kurang lebih sama seperti dengan pemasangan *horizontal drain*. Namun untuk *weep hole* memiliki ukuran pipa yang berbeda dari *horizontal drain*, yaitu pipa $\frac{3}{4}$ " dengan kedalaman 50cm.

Tahap berikut adalah pemasangan *geokomposit*. *Geokomposit* yang digunakan dalam pekerjaan ini adalah *geokomposit strip drain* yang memiliki panjang 50 m per rol dan lebar 11 cm. Pemasangan *geokomposit* dilakukan dengan cara gulungan *geokomposit* akan dikerahkan sejajar dengan arah dari lereng yang paling curam. Gulungan dikerahkan untuk terus menerus menjaga agar panel *geokomposit* dalam ketegangan yang cukup untuk mengurangi lipatan dan kerutan.



Gambar 21. (a) Pemasangan Geokomposit, (b) Pemasangan Horizontal Drain, (c) Horizontal Drain dan Weephole Setelah Pekerjaan Shootcrete

7. Pemasangan Wire Mesh, Tulangan Vertikal dan Longitudinal

Alat-alat dan bahan yang digunakan :

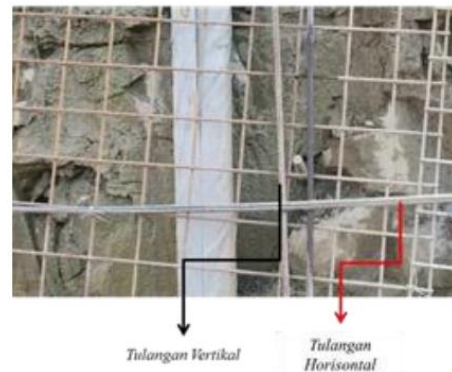
- Wiremesh M10 uk.150 mm x 150 mm
 - 2 rangkap tulangan baja ulir diameter 19 mm
 - 2 rangkap tulangan baja polos diameter 12 mm
- Setelah pemasangan *horizontal drain*, *geokomposit* dan *weep hole* selesai akan dilanjutkan dengan pemasangan *wiremesh* yang merupakan tulangan dari beton semprot atau *shotcrete*. 1 sheet wire mesh memiliki ukuran 2.1 m x 5,4 m. *Wiremesh* juga berfungsi untuk membentuk permukaan lereng yang telah di pasangkan nail bar dan akan ditinjau kembali apakah ukuran panjang dari *nail bar* yang tersisa dapat mencapai pelat dan baut penutup *nailing*. Namun, dalam pekerjaan ini terdapat beberapa titik *nail bar* yang setelah dirapihkan lerengnya menggunakan *wire mesh* belum bisa mencapai pelat dan baut penutup *nailing*, maka daripada itu dikarenakan jaring kawat yang ada cukup lentur untuk dibuat sedemikian rupa hingga bisa mencapai pelat dan baut penutup *nailing*. Dengan adanya *wiremesh* diharapkan bahwa *shotcrete* lebih kuat sebagai penutup lereng galian, dan mengurangi atau memindahkan kemungkinan terjadinya retakan. Selanjutnya untuk pemasangan tulangan vertikal sendiri digunakan dua rangkap tulangan baja ulir berdiameter 19mm dipasang secara *vertikal* yang

diikat dengan besi kawat untuk mengikat atau menahan *wiremesh* dengan tulangan *nailing* sesuai dengan bentuk lereng yang sebelumnya telah ditentukan. Begitu juga dengan pemasangan dari tulangan *longitudinal* cara pemasangan dan kegunaannya hampir sama dengan tulangan *vertikal* hanya saja pemasangan tulangan ini secara *horizontal* dan untuk tulangannya digunakan dua rangkap tulangan baja polos berdiameter 12 mm.



Gambar 22. Pemasangan Wire Mesh

Gambar tulangan vertikal dan longitudinal



Gambar 23. Lubang Tulangan Vertikal dan Tulangan Horizontal

8. Pekerjaan Shotcrete

Alat-alat dan bahan yang digunakan :

- Pasir
- Semen
- Kerikil
- Air
- Bahan Tambahan (Admixture)
- Alat Shootcrete (Aliva Pz-5)
- Nozzle
- Water Supply
- Air Compressor

Selanjutnya kita masuk pada pekerjaan *shotcrete*, setelah pekerjaan pembentukan lereng dengan *wiremesh* lereng akan disemprot dengan campuran beton atau *shotcrete*. Pada pekerjaan ini digunakan sistem *dry mix* dengan *mix design* 1:2:2 (Semen:Pasir : Kerikil) dengan mutu beton K-350. Setelah semua bahan di *mix* akan disalurkan melalui pipa dan akan di semprotkan melalui *nozzle* dimana *nozzle* ini adalah tempat air dan bahan yang telah dicampurkan sebelumnya bercampur dengan air.

Setelah itu *nozzle* akan diarahkan pada 60-100 cm berulang-ulang hingga mencapai ketebalan yang direncanakan yaitu 10-40 cm dan diusahakan agar tegak lurus dengan bidang kerja sehingga rebound

diminimalkan dan kepadatan yang diperoleh maksimum. Pada pekerjaan ini membutuhkan 2 orang *nozzle* man dan 6 orang untuk mixing. Dan untuk permukaan beton semprot yang tidak rapih tapi memenuhi persyaratan kekuatan dapat dilakukan dengan dua cara. Yaitu yang pertama dengan menyikat permukaan dengan sikat besi untuk membersihkan dari material yang lepas, rebound, semprotan berlebih atau permukaan yang mengkilat sebelum beton semprot mengeras. Kedua, bila beton semprot telah mengeras, maka perbaikan permukaan akan ditunda paling tidak 24 jam, sebelum permukaan dibersihkan dengan sand blast atau semprotan air bertekanan untuk membersihkan semua material yang terlepas, rebound, semprotan berlebih yang telah mengeras atau permukaan yang mengkilat, atau material lain yang dapat menyebabkan lemahnya ikatan dengan beton baru.

Pekerjaan *shotcrete* dilaksanakan sesudah beberapa nailing selesai di *grouting*. 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.



Gambar 24. Pekerjaan *Shotcrete*

9. Pekerjaan *Pull Out Test*

Alat yang digunakan adalah *Hydraulic Jack Enerpack* RCH. Selanjutnya adalah pekerjaan *pull out test*, yaitu uji Tarik pada *Nail Bar* yang sudah siap untuk diuji dengan menggunakan alat *Hydraulic Jack Enerpac* RCH untuk mengetahui apakah desain *soil nailing* tersebut telah memenuhi syarat atau tidak.

Test pull out merupakan pengujian terhadap kapasitas rencana pull out, apakah *Nail Bar* mampu menahan gaya tarik yang diijinkan. Pengujian ini dilaksanakan setelah mencapai umur beton *grout* rencana. Test dilakukan pada beberapa *Nail Bar* secara acak pada Nail-nail yang dianggap kritis. Pada pekerjaan ini *nail bar* yang di uji telah memenuhi syarat dan tidak perlu direvisi lagi.



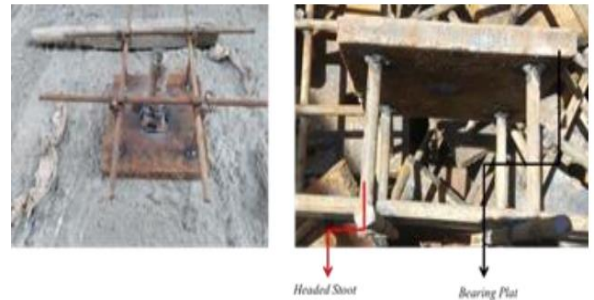
Gambar 25. Pekerjaan *Pull-Out Test*

10. Pemasangan Pelat dan Baut Kunci

Alat-alat dan bahan yang digunakan :

- *Bearing plat* 20 cm x 20 cm
- Besi beton 12 mm polos
- Alat Las besi

Setelah dilakukan *pull out test* dan hasilnya telah memenuhi syarat dilanjutkan dengan pekerjaan pemasangan pelat dengan menggunakan *Bearing Plat* dimensi 20 x 20 (dalam cm) pada seluruh titik pekerjaan *soil nailing*.



Gambar 26. Pemasangan Pelat Dan Baut Kunci

11. Penutupan Pelat dan Baut *Soil Nailing* dengan Blok Beton

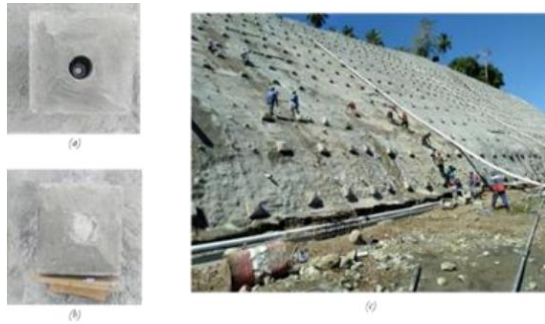
Alat-alat dan bahan yang digunakan :

- Semen
- Pasir
- Kerikil
- Tripleks
- Papan Kayu

Setelah pemasangan pelat dan pemasangan baut kunci *nailing*, selanjutnya adalah pemasangan blok beton untuk penutup pelat dan baut kunci. Untuk mix design dari blok beton adalah 1 : 2 : 2 (semen : pasir : kerikil). Setelah semua bahan dicampur akan dibuat terlebih dahulu mal menggunakan papan untuk pengecoran blok beton penutup *soil nailing*. Setelah dipasangkan bekisting, semua bahan dimasukkan ke bekisting dan tunggu hingga blok beton kering. Ukuran blok beton yang digunakan adalah 0,40 x 0,40 cm.



Gambar 27. (a) Pemasangan Bekisting Untuk Pelat Beton, (b) Pengecoran Pelat Beton



Gambar 28. (a) Penutupan Baut Kunci *Soil Nailing*, (b) Penutupan Pelat Dan Baut Kunci *Soil Nailing*, (c) Tampak Depan tebing Yang Sudah Pada Tahap Penutupan Pelat Dan Baut Kunci

12. *Finishing*

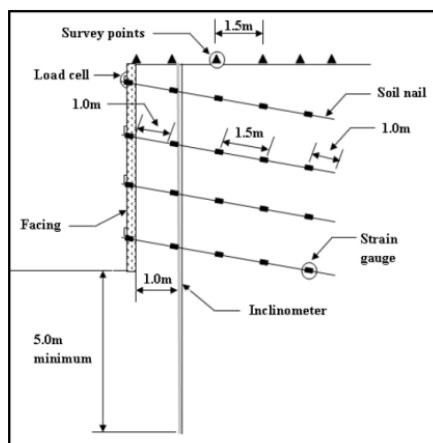
Tahapan terakhir setelah pelaksanaan *shotcrete* dilaksanakan adalah pemasangan plat penguat ukuran 150x150x10 mm serta pengencangan baut pada ujung *deform bar*.

Proses pemasangannya dapat dilihat pada *Gambar 5* dan *Gambar 6*.

3.5 *Monitoring Lereng Setelah Pemasangan Pemakuan Tanah (Soil Nailing)*

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 29*. (Prashant, 2010).



Gambar 29. Pemasangan Instrumen Monitoring

3.6 Kelebihan Dan Kekurangan Pemakuan Tanah (*Soil Nailing*)

3.6.1. 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.

3.6.2. 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.

4. Kesimpulan

Soil Nailing adalah teknik konstruksi yang dapat digunakan sebagai ukuran perbaikan untuk mengobati lereng tanah alami tidak stabil atau yang memungkinkan aman dari keruntuhan lereng. Untuk kondisi tertentu, *soil nailing* menawarkan alternatif dari sudut pandang kelayakan teknis, biaya konstruksi, dan durasi konstruksi. *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. Namun dari hasil penelitian penulis menyarankan agar menggunakan sistem *soil nailing* pada suatu lokasi digunakan dengan jumlah yang banyak agar setiap titik tekan terwakilkan dan juga harus disertakan sistem drainase.

Daftar pustaka

Debora Beatrix Maengko., Jermias Tjakra., Tisano Tj. Arsjad. (2022). *Metode Pelaksanaan Soil Nailing (Pasak Tanah) Pada Pekerjaan Penanganan Longsoran Sampro Bolaang Mongondow Utara*. Program Studi Teknik sipil, Universitas Sam Ratulangi (UNSRAT). TEKNO – Volume 20 Nomor 80 (April, 2022).

- Eris Cahyo Pangestu¹, Akhmad Marzuko. (2018). *Perencanaan Perkuatan Lereng Dengan Metode Soil Nailing Di Daerah Bantul Yogyakarta* Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia (2018).
- Hendra Riogilang, Christian Pontororing, Anda Mekel. (2014). *Soil Nailing Dan Anchor Sebagai Solusi Aplikatif Penahan Tanah Untuk Potensi Longsor Di Sta 7+250 Ruas Jalan Manado-Tomohon*. Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol.4 No.2 (September, 2014).
- I Nengah Sinarta. (2014). *Metode Penanganan Tanah Longsor Dengan Pemakuan Tanah (Soil Nailing)*. PADURAKSA, Volume 3 Nomor 2 (Desember, 2014).
- Tatag Yufitra Rus., Widodo Suyadi., As'ad Munawir. (2017). *Analisis Stabilitas Lereng Memakai Perkuatan Soil Nailing Dengan Bantuan Perangkat Lunak Slope/W (Studi Kasus Pada Sungai Parit Raya)*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang, 2017.
- SNI 2847-2013. (2013). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-03-1997-1995 *Pedoman Kontruksi dan Bangunan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.