

BAB IV

TEKNOLOGI PERBAIKAN TANAH

4.1 Tinjauan Pustaka

4.1.1 Pengertian Teknologi Perbaikan Tanah

Teknologi perbaikan tanah adalah serangkaian metode yang digunakan untuk meningkatkan kualitas dan karakteristik tanah, terutama pada saat pembangunan konstruksi bangunan sipil. Lapisan tanah dengan daya dukung yang rendah sering ditemukan selama konstruksi, yang dapat berdampak negatif pada stabilitas struktur dan keamanannya. Perencanaan, pelaksanaan, operasional, dan pemeliharaan proyek konstruksi dipengaruhi oleh kondisi tanah yang tidak memadai pada suatu proyek (Panguriseng, 2017).

Prinsip dasar teknik perbaikan tanah adalah tanah dengan kapasitas rendah dapat diperbaiki dengan meningkatkan sifat fisik dan mekanisnya sesuai dengan tujuan perbaikan yang diinginkan. Misalnya, untuk meningkatkan kekuatan geser tanah dan daya dukung, maka beberapa parameter tanah harus diperbaiki, seperti kohesi tanah (c), berat volume tanah (γ), sudut geser dalam tanah (ϕ), dan tekanan pori dalam tanah (u). Jika lapisan tanah harus memiliki kapasitas infiltrasi yang besar, koefisien permeabilitas tanah (k) harus ditingkatkan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mencapai peningkatan ini adalah dengan melakukan urugan pasir pada permukaan tanah, yang disebut lensa pasir, atau injeksi pasir (*grouting*) ke dalam lapisan tanah yang lebih dalam, yang disebut campuran pasir. Selain meningkatkan permeabilitas, tindakan campuran pasir juga membantu menurunkan kompresibilitas tanah, yang berarti bahwa lapisan tanah yang menerima beban aksial tidak akan menurun (Panguriseng, 2017). Oleh karena itu, metode ini memungkinkan penyesuaian sifat tanah agar sesuai dengan persyaratan konstruksi khusus untuk memastikan bahwa bangunan tetap stabil dan memiliki ketahanan dalam jangka panjang.

Para rekayasawan harus mempertimbangkan prinsip dasar dan konsep pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*). Sumber daya alam harus dimanfaatkan dengan cara yang berkelanjutan sehingga dapat digunakan oleh generasi berikutnya. Hal sumber daya alam hanya dapat dicapai jika perlindungan lingkungan hidup diprioritaskan pada setiap tahapan pembangunan, mulai dari perencanaan, pelaksanaan, dan pengoperasian infrastruktur. Penggunaan teknik perbaikan tanah harus selalu disertai dengan mempertimbangkan kelestarian lingkungan hidup. Tujuan stabilisasi tanah tidak hanya memenuhi persyaratan teknis seperti daya dukung atau kestabilan tanah, tetapi juga memperhatikan keamanan lingkungan hidup (*environment safety*). Dengan kata lain, teknik perbaikan tanah yang digunakan harus memperhitungkan dampak lingkungan, menghindari polusi, dan mengurangi penggunaan bahan yang dapat merusak ekosistem. Dengan metode ini, pembangunan tidak hanya akan menghasilkan infrastruktur yang kuat dan stabil, tetapi juga akan menjaga kualitas lingkungan sehingga dapat diwariskan kepada generasi mendatang. Metode ini memastikan bahwa pembangunan infrastruktur dilakukan sesuai dengan prinsip pembangunan berkelanjutan yang bertanggung jawab secara sosial dan ekologis.

4.1.2 Jenis Perbaikan Tanah

Para rekayasawan (*engineer*) telah mengembangkan berbagai metode untuk memperbaiki parameter tanah. Jenis metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas dan stabilitas tanah adalah sebagai berikut (Panguriseng, 2017):

1. Perbaikan tanah dengan menaburkan semen di tanah (*soil cement*)
Caranya adalah dengan mencampur tanah asli dengan semen, kemudian dipadatkan. Namun, saat ini metode ini jarang digunakan karena membutuhkan banyak pencampuran semen yang mahal.
2. Perbaikan tanah dengan pencampuran kapur (*soil lime*)
Perbaikan tanah dengan campuran kapur merupakan metode paling tua, karena keterbatasan material kapur saat ini, metode ini tidak disarankan

untuk digunakan pada jenis tanah lunak, di mana campuran bubuk kapur digunakan untuk meningkatkan stabilisasi tanah.

3. Perbaiki tanah dengan pencampuran abu (*soil ash*)

Metode ini dilakukan dengan cara mencampur tanah dengan berbagai jenis abu, seperti abu batu, abu terbang, dan abu sekam. Kekurangan metode ini adalah material abu sulit ditemukan dan produsen abu saat ini susah ditemukan.

4. Perbaiki tanah dengan pencampuran larutan kimia (*solvent stabilization*)

Salah satu cara untuk meningkatkan kualitas tanah adalah dengan mencampur cairan kimia. Soda kaustik, asam sulfat, dan lainnya adalah larutan kimia yang sering digunakan. Penggunaan bahan kimia ini menimbulkan risiko yang berlebihan terhadap bahaya yang disebabkan oleh pencemaran lingkungan.

5. Perbaiki tanah dengan pelapisan dan pemadatan

Pemadatan tanah dasar (*subgrade*) dan timbunan membutuhkan berbagai jenis material geosintetik sebagai pelapis. Metode pelapisan dan pemadatan tanah merupakan metode yang paling mudah dilakukan dan ekonomis di antaranya *geocell*, *geogrid*, *geomembrane*, dan *geotextile*.

6. Perbaiki tanah dengan metode konsolidasi untuk stabilitas tanah

Untuk mendapatkan stabilisasi tanah, metode yang dapat dilakukan yaitu konsolidasi, dengan cara memberikan beban statis di atas lapisan tanah. Namun, teknik ini memerlukan waktu yang lama dan biaya yang besar.

7. Perbaiki tanah dengan teknik pengeringan (*dewatering*)

Untuk meningkatkan kapasitas beban tanah dapat dilakukan melalui proses pengeringan tanah hingga kadar air tanah menurun dan meningkatkan tegangan efektif di dalam tanah.

8. Perbaiki tanah dengan penggantian tanah (*replacement*)

Perbaiki gradasi dengan menambah tanah di bagian tertentu yang dianggap kurang baik, hingga menghasilkan gradasi yang rapat dan parameter yang lebih baik.

4.1.3 Tujuan Perbaikan Tanah

Sebagaimana dengan tujuan dari setiap tindakan stabilisasi tanah, maka tujuan umum dari perbaikan tanah adalah untuk :

1. Memperkuat daya dukung tanah

Perbaikan tanah dapat meningkatkan daya dukung tanah dasar dengan meningkatkan kekuatan tanah, mengurangi pemampatan tanah, atau meningkatkan permeabilitas tanah.

2. Mengurangi pemampatan tanah

Perbaikan tanah dapat mengurangi pemampatan tanah dengan menurunkan kadar air tanah, meningkatkan kepadatan tanah, atau menggunakan material dengan daya dukung yang tinggi.

3. Meningkatkan kuat geser tanah

Perbaikan tanah dapat memperbesar kemampuan tanah untuk menahan gaya atau momen yang dapat menyebabkan deformasi atau kelongsoran pada lereng atau pondasi.

4. Meningkatkan permeabilitas tanah

Perbaikan tanah dapat meningkatkan permeabilitas tanah dengan mengurangi kadar air tanah, menghancurkan agregat tanah, atau menggunakan material dengan permeabilitas yang tinggi.

5. Meningkatkan stabilitas tanah

Perbaikan tanah dapat meningkatkan stabilitas tanah dengan meningkatkan kekuatan tanah, mengurangi pemampatan tanah, atau menggunakan material dengan daya dukung yang tinggi.

6. Menjamin keberlanjutan dan kelestarian sumber daya alam dan lingkungan

4.2 Perbaikan Tanah dengan Menggunakan *Shotcrete*

Shotcrete merupakan metode perkuatan tanah dan tebing yang sering digunakan dalam proyek konstruksi dan stabilisasi lereng (*slope*). Menurut penelitian oleh Putro (2023), *shotcrete* digunakan sebagai proteksi tanah pada area

lereng untuk memberikan perlindungan terhadap percepatan kerusakan dan menjaga kestabilan lereng (*slope*). Selain itu, metode ini menjadi pilihan populer karena sifatnya yang praktis, mampu menyesuaikan bentuk permukaan secara cepat, dan tidak menimbulkan getaran besar selama pelaksanaan.

Dalam studi komparatif oleh Anggraini dan Priyanto (2023), *shotcrete* terbukti efektif dalam stabilisasi tanah dan digunakan secara luas sebagai alternatif selain metode *soil nailing*, terutama pada proyek-proyek di area terbatas yang tidak memungkinkan dilakukan teknik galian *open cut*. Keunggulan lain dari *shotcrete* adalah kemampuannya dalam memperkuat permukaan tanah dan mencegah pergeseran tanah yang dapat menyebabkan longsor atau keruntuhan pada tebing dan lereng (*slope*) akibat air hujan.

Selain dari aspek teknik, studi lain menegaskan bahwa penggunaan *shotcrete* juga ramah terhadap lingkungan karena tidak mengindikasikan getaran besar dan memiliki proses pelaksanaan yang relatif aman bagi pekerja. Untuk keberhasilannya, *shotcrete* biasanya dikombinasikan dengan sistem penahan seperti *tie-back* atau *soil nails* agar hasil stabilisasi lebih optimal dan tahan lama.

4.2.1 Metode *Dry Shotcrete*

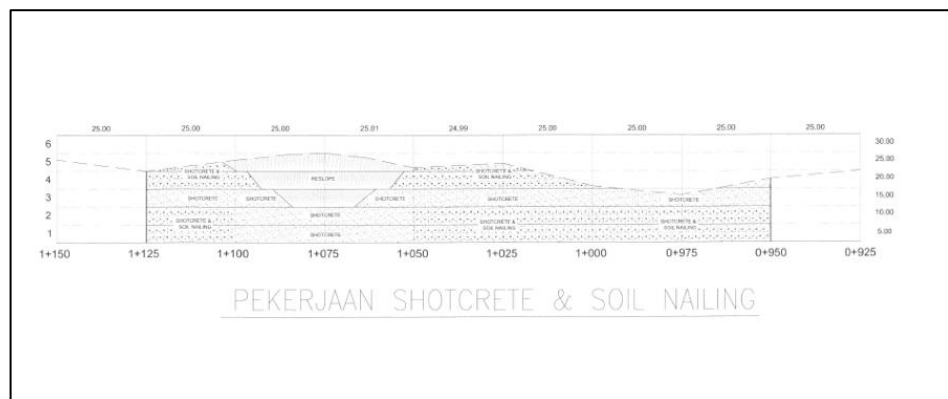
Metode *Shotcrete* diterapkan pada beberapa lokasi di tebing Proyek Pembangunan Jalan Lintas Selatan (JLS) Lot 3 Pantai Serang – Sumbersih yaitu pada STA 0+950 – STA 1+150. Metode *shotcrete* dibagi menjadi dua kategori berdasarkan dari segi pelaksanaannya yaitu (Fernandez, 1995):

- a. *Dry shotcrete*: Material *shotcrete* terdiri dari pasir, semen, dan agregat, dicampur dalam kondisi kering. Tekanan angin dari kompresor membuat material keluar dari *nozzle* dan tercampur dengan air.
- b. *Wet shotcrete*: Material *shotcrete*, yang terdiri dari pasir, semen, agregat, dan air, dicampur sebelum dimasukkan ke dalam pompa atau mesin. Kemudian, tekanan angin dari kompresor digunakan untuk membuat material bergerak dengan kecepatan tinggi agar penempatan material tepat pada permukaan sasaran.

Pada Proyek Pembangunan Jalan Lintas Selatan (JLS) Lot 3 Pantai Serang – Sumbersih menggunakan metode *dry shotcrete*. Metode ini memiliki keuntungan meliputi beberapa aspek yang mendukung efisiensi, kekuatan dan fleksibilitas dalam proyek konstruksi. Tahapan pelaksanaan pekerjaan *dry shotcrete* sebagai berikut:

1. Pekerjaan persiapan
2. Pekerjaan *land clearing* dan galian tanah
3. Pekerjaan *wiremesh*
4. Pekerjaan *shotcrete*
5. Pekerjaan *horizontal drilling*
6. Pekerjaan *soil nailing*

Gambar *shop drawing* pekerjaan *shotcrete* dan *soil nailing* merupakan gambar teknis yang menampilkan acuan bagi pelaksana lapangan untuk memastikan ketepatan lokasi, ketebalan lapisan, jenis tulangan, titik pengeboran *soil nailing*, dimensi dan posisi batang *nailing*, sistem *grouting* serta metode aplikasi yang sesuai dengan standar. Contoh dari gambar *shop drawing* pekerjaan *shotcrete* dan *soil nailing* ditunjukkan pada gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1 Shop Drawing Pekerjaan Shotcrete dan Soil nailing

Sumber: *Shop Drawing* Lot 3

4.2.2 Alat dan Bahan Pekerjaan *Shotcrete*

Alat dan bahan merupakan komponen penting yang mendukung pelaksanaan pekerjaan *shotcrete*. Pemilihan alat dan bahan ini harus sesuai spesifikasi teknis untuk memenuhi standar kualitas konstruksi. Alat dan bahan tersebut adalah sebagai berikut:

a. Peralatan

1. Mesin penyemprot beton (*aliva*)
2. *Compressor*
3. *Genset*
4. Pompa air
5. Sekop
6. Dolak
7. Ayakan
8. Set alat Keselamatan kerja (helm proyek, rompi reflector, sepatu *safety, body harness*)

b. Material

1. Mutu Beton ($f'c$): 28 Mpa
2. Tebal Rencana : 10 cm dengan anyaman tunggal
3. Rasio Air Semen : 0,4
4. Agregat : 00-05 mm
5. *Wiremesh* : M6 (15x15 cm)
6. Pipa PVC : \emptyset 2 dim
7. Pasak : Tulangan diameter 19 mm
8. Semen gresik
9. Pasir
10. Air

4.2.3 Metode Pelaksanaan Pekerjaan *Shotcrete*

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan pekerjaan *shotcrete* pada Proyek Pembangunan Jalan Lintas Selatan (JLS) Lot 3 Pantai Serang – Sumbersih adalah sebagai berikut:

1. Sebelum pekerjaan dimulai, dilakukan pengujian terhadap material yang akan digunakan untuk *shotcrete*. Pengujian dilakukan guna memastikan kualitas, kesesuaian spesifikasi teknis, serta kinerja material sesuai dengan standar yang ditetapkan. Material utama yang digunakan dalam campuran *shotcrete* meliputi semen, agregat halus (pasir), air, serta bahan tambah (*admixture*). Setiap material diuji dengan parameter sebagai berikut:

- a. Pengujian Semen

Semen yang digunakan diuji untuk memastikan kualitas dan kesesuaiannya dengan standar SNI 2049. Pengujian meliputi kehalusan semen, waktu ikat awal dan akhir, serta kuat tekan mortar standar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semen memenuhi persyaratan mutu dan layak digunakan sebagai bahan pengikat *shotcrete*.

- b. Pengujian Agregat Halus

Agregat halus dilakukan pengujian gradasi (analisis saringan), kadar lumpur, berat jenis, penyerapan air, dan kandungan bahan organik sesuai SNI 03-1968 dan SNI 03-4142. Hasil pengujian menunjukkan gradasi pasir berada dalam batas yang diizinkan dan kadar lumpur masih memenuhi spesifikasi teknis proyek.

- c. Pengujian Air

Air pencampur diuji secara visual dan kimia sederhana untuk memastikan bebas dari minyak, bahan organik, dan zat berbahaya lainnya. Air yang digunakan memenuhi persyaratan sebagai air layak minum dan sesuai dengan SNI 03-2847.

- d. Pengujian Bahan Tambah

Bahan tambah yang digunakan berupa accelerator diuji kesesuaiannya terhadap campuran *shotcrete* melalui uji kompatibilitas

dengan semen serta pengaruhnya terhadap waktu ikat dan kekuatan beton. Penggunaan admixture disesuaikan dengan rekomendasi pabrik dan hasil *Job Mix Design* (JMD).

Jika material belum sesuai dengan spesifikasi, perlu dilakukan pengujian ulang dengan material yang sesuai dengan spesifikasi.

2. Jika material sudah sesuai dengan spesifikasi, pekerjaan dapat dimulai dengan melakukan *Job Mix Design* (JMD) sebagai acuan pelaksanaan pekerjaan di lapangan. Campuran shotcrete dirancang melalui *Job Mix Design* untuk memperoleh kuat tekan rencana sesuai spesifikasi. Komposisi *Job Mix Design* yang digunakan pada proyek JLS LOT 3 ditunjukkan pada gambar 4.2. sebagai berikut:

JOB MIX DESIGN			
MUTU BETON K-175 (f'c 14,5 Mpa)			
Komposisi Campuran per M3 Beton pada Analisa Beton Mutu K-175 :			
Semen	:	326 Kg	
Pasir	:	760 Kg	
Kerikil Pecah	:	1029 Kg	
Air	:	215 Ltr	
Pencampuran beton didalam mixer menggunakan 1 sak semen (40 Kg), maka diperoleh koefisien pembagi 326/40 : 8,15			
Berdasarkan faktor pembagi, maka diketahui komposisi campuran untuk 1 Sak Semen 40 kg :			
Pasir	:	760 Kg / 8,15	= 93,2515 Kg
Kerikil Pecah	:	1029 Kg / 8,15	= 126,258 Kg
Air	:	215 Ltr / 8,15	= 26,3804 Ltr
Konversi Campuran Material :			
Takaran yang akan digunakan untuk menakar material adalah :			
Box Papan untuk menakar Pasir dan Kerikil ke Dalam mixer memiliki dimensi : P x L x T =			
0,5 m x 0,5 m x 0,4 m	:	0,10	M3

Gambar 4.2 *Job Mix Design*

Sumber: *Shop Drawing* Lot 3

Jika hasil JMD sesuai dengan spesifikasi, tahap selanjutnya adalah melakukan *Design Job Mix Formula* (JMF).

3. Jika hasil JMF sesuai dengan spesifikasi, pekerjaan dapat dilanjutkan dengan perapihan lereng yang akan diberikan *shotcrete*. Jika hasil JMF belum sesuai dengan spesifikasi, pekerjaan dapat dilanjutkan dengan perapihan lereng.
4. Pemasangan pasak sebagai angkur di hulu tebing dengan tulangan $\emptyset 19$.
5. Untuk menghindari keretakan saat dicor, pekerja meletakkan *wiremesh* pada tebing dengan ketebalan yang sesuai dengan spesifikasi, dengan *overlap* 10 cm setiap *wiremesh*.
6. Memasang pipa PVC ukuran 2 diameter. Pemasangan dilakukan dengan cara manual *drilling* pada bidang miring tanah
7. Setelah semua jaring dipasang pada bidang kerja (tebing), material (pasir, agregat kasar ukuran 0,5 dan semen) dicampurkan dengan *mixer* beton dan disaring dengan ayakan untuk menghindari batuan. Contoh dari pekerjaan pencampuran bahan *shotcrete* ditunjukkan pada gambar 4.2 berikut:



Gambar 4.2 Pencampuran Bahan

Sumber : Dokumentasi Pribadi

8. Proses penyemprotan material *shotcrete* dimulai dari ujung tebing. Penyemprotan dilakukan secara bertahap dari bagian bawah ke atas untuk menghindari terjadinya longsoran material dan memastikan ketebalan lapisan sesuai dengan rencana, yaitu sekitar 10 cm. Selama proses penyemprotan, operator harus menjaga jarak dan sudut semprot yang tepat agar hasil *shotcrete* merata dan tidak terjadi segregasi. Setelah penyemprotan selesai, dilakukan pemeriksaan ketebalan dan kualitas permukaan, kemudian dilanjutkan dengan perawatan (*curing*) guna

mencapai mutu beton yang diharapkan. Contoh dari pekerjaan penyemprotan *shotcrete* ditunjukkan pada gambar 4.3 berikut:



Gambar 4.3 Penyemprotan Shotcrete

Sumber : Dokumentasi Pribadi

9. Setelah penyemprotan selesai, perataan dilakukan pada area yang masih terbuka. Jika permukaan sudah mengeras, perataan ditunda selama minimal 24 jam. Contoh dari pekerjaan setelah penyemprotan *shotcrete* ditunjukkan pada gambar 4.4 berikut:



Gambar 4.4 Setelah Penyemprotan Shotcrete

Sumber: Dokumentasi Pribadi

10. Langkah selanjutnya adalah melakukan *curing*. Jika tidak, penyambungan harus dilakukan ulang hingga sesuai dengan spesifikasi.
11. Setelah tahap *curing* selesai, langkah terakhir adalah memeriksa *core drilling* untuk mengetahui kekuatan tekan dan tebal *shotcrete*. Jika hasilnya tidak sesuai dengan spesifikasi, *shotcrete* harus dibongkar dan disemprot ulang.

12. Setelah pekerjaan *shotcrete* selesai dilanjutkan pekerjaan *soil nailing*. Dengan membuat lubang bor untuk pemasangan batang baja (nail bar). Pengeboran dilakukan secara bertahap dengan kedalaman 6m. Contoh dari pekerjaan pengeboran lubang pada lereng *shotcrete* ditunjukkan pada gambar 4.5 berikut:



Gambar 4.5 Pengeboran Lubang pada Lereng

Sumber: Dokumentasi Pribadi

13. Memasukkan batang baja (*deform bar*) ke dalam lubang bor, dengan posisi *centralizer* agar berada di tengah lubang bor kemudian dimasukkan besi ulir $\varnothing 16\text{mm}$. Contoh dari pekerjaan Pemasangan besi ulir $\varnothing 16\text{ mm}$ ditunjukkan pada gambar 4.6 berikut:



Gambar 4.6 Pemasangan Besi Ulir uk.16 mm

Sumber: Dokumentasi Pribadi

14. Setelah itu dilanjutkan proses *grouting*, dengan memasukkan campuran semen ke dalam lubang bor untuk mengikat besi ulir dengan tanah di

sekitarnya. Selama proses berlangsung, tekanan dan volume grout dipantau untuk memastikan efektivitas pengisian dan mencegah kerusakan struktur di sekitarnya. Setelah grouting selesai, area tersebut dibiarkan hingga material mengeras dan mencapai kekuatan yang diharapkan, sehingga meningkatkan kestabilan tanah dan daya dukung struktur. Contoh dari pekerjaan proses *grouting* ditunjukkan pada gambar 4.5 berikut:

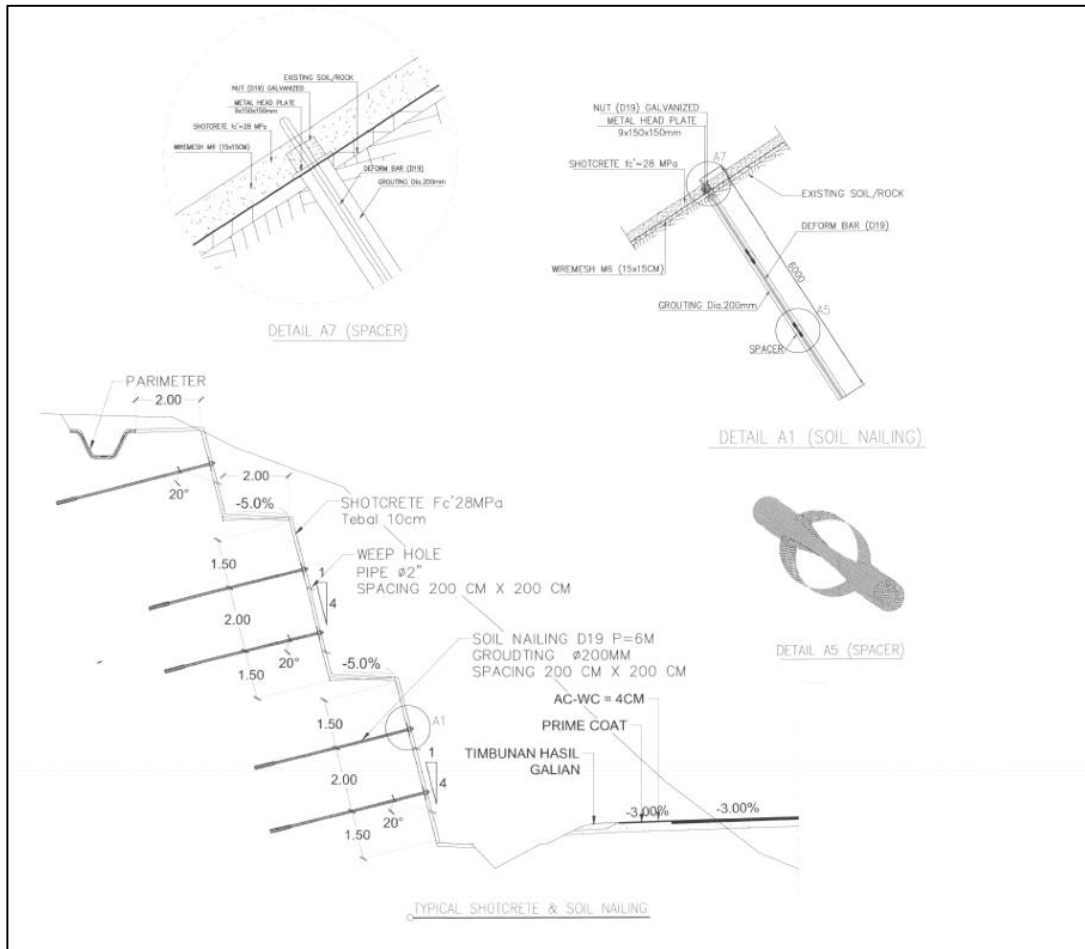


Gambar 4.7 Proses *Grouting*

Sumber: Dokumentasi Pribadi

15. Setelah proses *grouting* selesai, plat baja berukuran 20x20 cm² dipasang pada permukaan tanah.
16. Terakhir, pemasangan plat kepala (*anchor head*) atau baut pengencang (*nut*) untuk mengunci posisi batang besi ulir dan memastikan sistem *nail bar* stabil dan kencang.

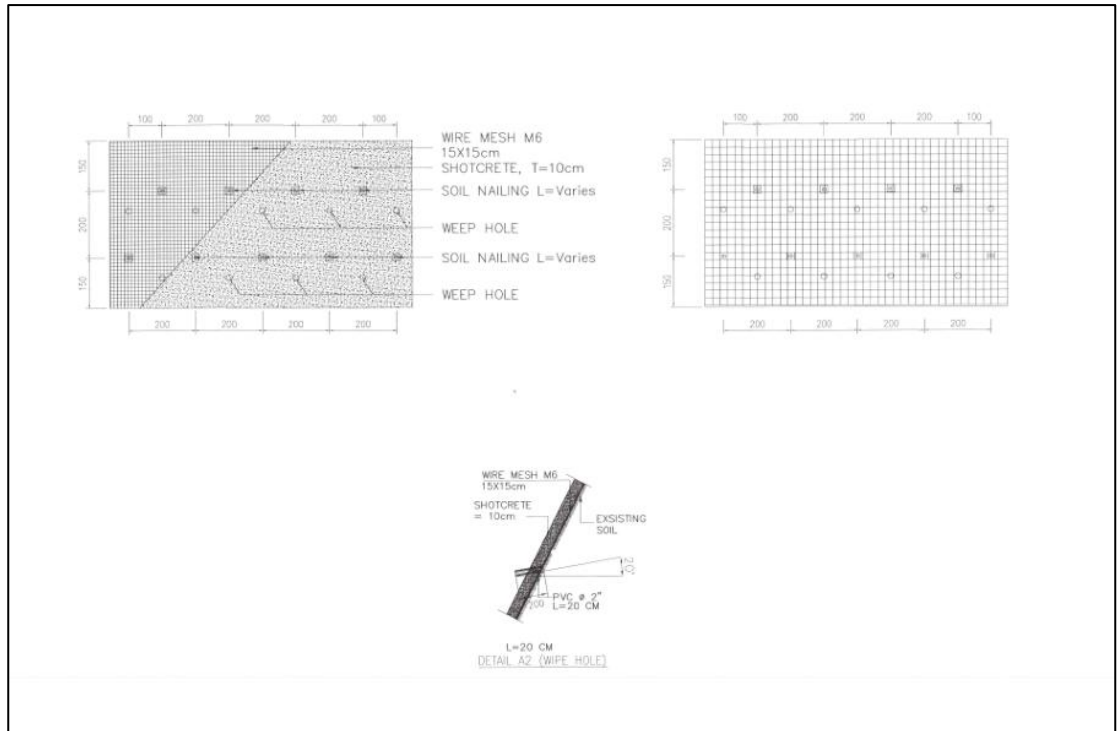
Detail A1 merupakan potongan melintang (*cross section*) lereng yang dilapisi lapisan *shotcrete* dan diperkuat dengan *soil nail*. Detail A5 merupakan bagian kepala (*head*) dari *soil nail* setelah pemasangan *grouting* dan sebelum penutupan dengan *shotcrete*. Dan detail A7 merupakan sistem drainase di balik lapisan *shotcrete* untuk mengurangi tekanan air pori (*pore water pressure*) di dalam lereng. Contoh dari detail A1, A5, A7, dan *typical shotcrete and soil nailing* ditunjukkan pada gambar 4.8 berikut:



Gambar 4.8 Detail A1, A5, A7 dan *Typical Shotcrete and Soil Nailing*

Sumber: Shop Drawing Lot 3

Pada detail A2 menunjukkan penempatan lubang drainase (*weep hole*) yang dipasang di balik lapisan *shotcrete* sebagai sistem pembuangan air dari dalam lereng. Tujuan utama pemasangan *weep hole* adalah untuk mengurangi tekanan air pori (*pore water pressure*) yang dapat menurunkan kestabilan lereng atau dinding tanah yang telah diperkuat dengan sistem *soil nailing*. Contoh dari detail A2 (*wipe hole*) ditunjukkan pada gambar 4.9 berikut:



Gambar 4.9 Detail A2 (*Wipe Hole*)

Sumber: Shop Drawing Lot 3