



REPUBLIK INDONESIA

KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT

DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA

SPESIFIKASI KHUSUS



**PEKERJAAN PERBAIKAN TANAH DENGAN KOLOM BATU VIBRASI
SKh-1.7.46**



2021



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA**

Jalan Pattimura Nomor 20, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan 12110, Telepon (021)-7203165, Faksimili (021)-7393938

Jakarta, 20 Januari 2022

Nomor : Bm 0301 - 06/67
Sifat : Segera
Lampiran : 1 (satu) Berkas
Hal : Persetujuan Penggunaan Spesifikasi Khusus
Pekerjaan Perbaikan Tanah dengan Kolom Batu
Vibrasi

Kepada Yth.

1. Sekretaris Direktorat Jenderal Bina Marga
2. Para Direktur di Direktorat Jenderal Bina Marga
3. Para Kepala Balai Besar/Balai Pelaksanaan Jalan Nasional
4. Para Kepala Satuan Kerja di Direktorat Jenderal Bina Marga

di-

Tempat

1. Bersama ini Kami Sampaikan Dokumen Spesifikasi Khusus:

No.	Nomor Seksi	Judul Dokumen
1.	SKh-1.7.46	Pekerjaan Perbaikan Tanah dengan Kolom Batu Vibrasi

2. Spesifikasi tersebut telah disetujui untuk dipergunakan di Direktorat Jenderal Bina Marga dan dimaksudkan untuk menjadikan acuan bagi para pemangku kepentingan di lingkungan Direktorat Jenderal Bina Marga dalam pelaksanaan Pekerjaan Perbaikan Tanah dengan Kolom Batu Vibrasi.

Demikian disampaikan, atas perhatian Bapak/Ibu kami ucapkan terima kasih.

Direktur Jenderal Bina Marga,

Hedy Rahadian

NIP 19640314 199003 1 002

Tembusan:

1. Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Sebagai Laporan);
2. Sekretaris Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
3. Inspektur Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
4. Direktur Jenderal Bina Konstruksi, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

SPESIFIKASI KHUSUS

SEKSI 1.7.46

PEKERJAAN PERBAIKAN TANAH DENGAN KOLOM BATU VIBRASI

SKh. 1.7.46.1 UMUM

1. Uraian

- a) Pekerjaan perbaikan tanah menggunakan kolom batu vibrasi terdiri dari pengadaan peralatan kerja, tenaga kerja, dan material; dan pemasangan untuk pelaksanaan pekerjaan.
- b) Pekerjaan kolom batu vibrasi dimaksudkan untuk meningkatkan daya dukung tanah, mempercepat disipasi tegangan air pori, mengurangi penurunan, atau meningkatkan stabilitas lereng. Pekerjaan kolom batu vibrasi juga dapat dimaksudkan untuk mengurangi potensi likuifaksi di wilayah rawan gempa.
- c) Penyedia Jasa bertanggung jawab atas pembersihan lahan, pengadaan bahan, material, alat, pemasangan alat/instrumentasi, pembuangan bahan, pemadatan, dan monitoring dan evaluasi selama waktu yang ditetapkan oleh Pengawas Pekerjaan.

2. Pekerjaan lain yang berkaitan dengan seksi ini :

- | | |
|--|--------------|
| a) Mobilisasi | : Seksi 1.1 |
| b) Manajemen dan Keselamatan Lalu Lintas | : Seksi 1.8 |
| c) Manajemen Mutu | : Seksi 1.21 |
| d) Galian | : Seksi 3.1 |
| e) Timbunan | : Seksi 3.2 |
| f) Penyiapan Badan Jalan | : Seksi 3.3 |
| g) Lapis Fondasi Agregat | : Seksi 5.1 |

3. Standar Rujukan

Standar Nasional Indonesia (SNI):

- SNI 8460:2017, *Persyaratan Perancangan Geoteknik*
SNI 1970:2008, *Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles*
SNI 2827:2008, *Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan Alat Sondir*
SNI 3407:2008, *Metode Pengujian Sifat Kekekalan Bentuk Agregat terhadap Larutan Natrium Sulfat dan Magnesium Sulfat*
SNI 3423:2008, *Cara Uji Analisis Butir Tanah*
SNI 4153:2008, *Standar Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT*

BS :

BS EN:14731:2005 *Execution of Special Geotechnical Works – Ground Treatment by Deep Vibration*

BS 882: 1992, *Specification for Aggregates from Natural Sources for Concrete*

BS 812-110 : 1990, *Testing Aggregates – Methods for Determination of Aggregate Crushing Value (ACV)*

BS 812-105: 1989, *Testing Aggregates – Methods for Determination of Particle Shape, Flakiness Index*

EN ISO 22476-2, *Geotechnical Investigation and Testing, Field Testing, Dynamic Probing*

EN ISO 22476-6, *Geotechnical Investigation and Testing, Field Testing, Flexible Dilatometer Test*

4. Istilah dan Definisi

- a) Pekerjaan kolom batu vibrasi atau *vibrated stone column* adalah jenis perbaikan tanah dalam dimana alat penggetar atau vibrator digunakan untuk membentuk kolom batu secara menerus dari kedalaman maksimum penetrasi sampai ke permukaan tanah, dan karenanya untuk membentuk struktur kolom batu harus memiliki kekuatan dan kekakuan meningkat dibandingkan dengan tanah yang tidak diperbaiki.
- b) Proses kering (dengan) penghubung bawah dengan penggetar atas atau *dry bottom-feed process with top-mounted vibrator* adalah metode pemasangan kolom batu vibrasi saat material pengisi disalurkan langsung ke ujung pipa penggetar melalui pipa penghantar yang terhubung dengan penggetar pada bagian atas pipa.
- c) Proses kering (dengan) penghubung bawah dengan penggetar bawah atau *dry bottom-feed process with bottom vibrator* adalah metode pemasangan kolom batu vibrasi saat material pengisi disalurkan langsung ke ujung pipa penggetar melalui pipa penghantar yang melekat pada pipa.
- d) Proses kering (dengan) penghubung atas atau *dry top-feed process* adalah metode pemasangan kolom batu vibrasi saat material pengisi diisikan ke dalam tanah langsung ke lubang yang terbentuk oleh batang penggetar tanpa menggunakan batang penghantar dan tanpa menggunakan air.
- e) Proses basah atau *wet process* adalah metode pemasangan kolom batu dimana pembilasan air dilakukan untuk menghilangkan material yang lunak, menstabilkan lubang, dan memungkinkan material berbutir tertentu mencapai ujung penggetar tempatnya dipadatkan.
- f) Perbaikan tanah adalah proses perbaikan karakteristik kompresibilitas, daya dukung, permeabilitas, atau ketahanan likuifaksi tanah *in situ* di tempat pondasi bangunan atau infrastruktur akan didirikan, sehingga karakteristik tanah tersebut berubah secara permanen dan memiliki kompresibilitas, daya dukung, permeabilitas, atau ketahanan likuifaksi yang memadai dan mencapai tingkat aman.
- g) Pipa penggetar atau *depth vibrator* merupakan bagian yang berfungsi untuk penetrasi ke dalam tanah hingga mencapai kedalaman kolom batu vibrasi rencana dan sebagai pemadat batu pecah pada setiap interval kedalaman. Pipa ini diletakkan pada bagian yang paling bawah dari sistem vibro sehingga dapat memadatkan tanah pasir atau batu

hingga di setiap kedalaman.

- h) Material pengisi adalah material yang diisikan ke dalam lubang yang terbentuk untuk membentuk kolom.
- i) Likuifaksi adalah kondisi tanah yang kehilangan kuat geser akibat gempa sehingga daya dukung tanah turun secara mendadak.

5. Pengajuan Kesiapan Kerja

Sebelum memulai pekerjaan, Penyedia Jasa menyediakan informasi sebagai berikut:

- a) Rencana penyelidikan tanah awal pekerjaan
Pengujian bor atau sondir dilakukan dalam jarak tertentu yang disetujui Pengawas Pekerjaan untuk mengetahui kondisi lapisan tanah, kedalaman tanah lunak, dan memperkirakan kedalaman pemasangan kolom batu yang lebih rinci. Penyelidikan tanah terkait persiapan awal pekerjaan merupakan bagian dalam harga satuan pekerjaan kolom batu vibrasi.
- b) Spesifikasi peralatan yang akan digunakan.
Spesifikasi peralatan yang akan digunakan dijelaskan pada pasal SKh 1.7.46.2 Peralatan Kerja dalam Spesifikasi ini.
- c) Spesifikasi material pengisi
Spesifikasi material pengisi yang akan digunakan dijelaskan pada pasal SKh 1.7.46.3 Bahan dalam Spesifikasi ini.
- d) Rencana pengujian tambahan dan pengujian di lapangan dan di laboratorium sebelum dan sesudah pelaksanaan pekerjaan.

6. Jaminan Mutu

Pengujian lapangan harus dilakukan sebelum dan sesudah pekerjaan kolom batu vibrasi untuk membuktikan tingkat perbaikan tanah yang dicapai. Lokasi pengujian diusahakan berdekatan dengan pengujian awal. Beberapa uji lapangan yang dapat dilakukan adalah :

- Uji sondir (CPT) untuk mendapatkan nilai perlawanan konus dan *friction ratio* tanah secara menerus di sepanjang kedalaman tanah.
- Uji SPT mendapatkan tahanan penetrasi pada saat pengeboran.

Pekerjaan yang dinyatakan memenuhi persyaratan adalah pekerjaan dengan Nilai N-SPT atau nilai uji sondir (CPT) yang sama atau lebih besar dari yang diisyaratkan dalam kriteria perencanaan. Uraian lebih lengkap dapat dilihat pada pasal SKh 1.7.46.6 Pengendalian Mutu dalam Spesifikasi ini.

SKh. 1.7.46.2 PERALATAN KERJA

1. Peralatan Kerja Kolom Batu Vibrasi

Peralatan untuk proses kering dengan penghubung bawah dengan penggetar atas (*dry bottom-feed process with top-mounted vibrator*) terdiri dari peralatan dengan ketentuan sebagai berikut :

Berat total alat	: 10 – 30 ton
Diameter pipa penggetar	: 0.3 – 0.8 m
Panjang pipa penggetar	: 4.0 – 20.0 m
Daya penggetar atas	: 25 – 90 kW

Peralatan untuk proses kering dengan penghubung bawah dengan penggetar bawah (*dry bottom-feed process with depth bottom vibrator*) menggunakan *vibro-rig* dan *vibro-probe* (pipa penggetar) dengan ketentuan sebagai berikut :

Kapasitas <i>vibro-rig</i>	: 35 – 45 ton
Diameter pipa penggetar	: 0.3 – 0.5 m
Panjang pipa penggetar	: 3.0 – 3.5 m
Daya pipa penggetar	: 50 – 120 kW
Gaya sentrifugal	: 13 – 16 ton
Amplitude	: 6 – 7.5 mm

Peralatan untuk proses basah dengan penggetar bawah (*wet process*) dan proses kering dengan penghubung atas dengan penggetar bawah (*dry top-feed process with depth bottom vibrator*) menggunakan derek (*crane*) dan *vibro-probe* (pipa penggetar) dengan ketentuan sebagai berikut :

Kapasitas derek	: 50 – 100 ton
Diameter pipa penggetar	: 0.3 – 0.5 m
Panjang pipa penggetar	: 3.0 – 3.5 m
Daya pipa penggetar	: 50 – 120 kW
Gaya sentrifugal	: 13 – 22 ton
Amplitude	: 6 – 15 mm

2. Peralatan Monitoring

Peralatan pekerjaan kolom batu vibrasi, diperlukan pencatatan data-data sebagai berikut :

- Nomor kolom batu vibrasi,
- Kedalaman kolom batu vibrasi,
- Konsumsi tenaga vibrator (*amperage*) selama proses penetrasi dan saat pemadatan
- Tanggal pemasangan kolom batu vibrasi harus tertera di setiap catatan (*record*)
- Arus *amperage* yang digunakan
- Waktu saat penetrasi dan waktu hingga kolom batu vibrasi terbentuk sesuai rencana.
- Pencatatan volume batu yang terpasang

Hal ini dimaksudkan untuk kontrol pengisian material, mengurangi risiko kerusakan kolom, dan menyediakan informasi langsung untuk inspeksi dan persetujuan pekerjaan oleh Pengawas Pekerjaan. Data pencatatan untuk setiap kolom dilakukan dengan sistem *real time monitoring*.

SKh. 1.7.46.3 BAHAN

1. Sumber Bahan

Sumber bahan untuk perbaikan tanah dengan metode kolom batu dengan penggetaran harus dipilih dari sumber bahan yang disetujui.

2. Persyaratan Material Pengisi

- Material pengisi yang digunakan untuk pekerjaan kolom batu berupa batu pecah.
- Material pengisi ini harus memiliki gradasi yang baik dan dapat dipadatkan dengan efek getaran atau tumbukan. Selain itu, material pengisi harus memenuhi kriteria drainase, dalam arti dapat relatif cepat mengalirkan air.
- Material yang ditambahkan harus cukup keras dan tahan terhadap efek kimiawi sehingga tetap stabil selama proses perbaikan tanah berlangsung, dan sepanjang umur rencana pada kondisi tanah dan muka air tanah yang sudah diantisipasi.
- Material yang digunakan untuk membentuk kolom batu harus cocok dengan peralatan yang digunakan dan dapat disalurkan ke dalam tanah dengan lancar.
- Material batu yang digunakan untuk pekerjaan kolom batu harus memenuhi spesifikasi berikut.

Tabel SKh-1.7.46.1). Pengujian untuk Material Batu

Pengujian	Standar uji	Kriteria
Angka Kehancuran Agregat atau <i>Aggregate Crushing Value</i>	BS 882:1992	< 30%
Abrasi Los Angeles atau <i>Los Angeles Abrasion</i>	SNI 1970:2008	Maksimum kehilangan 40% dari 500 putaran
Indeks Serpihan atau <i>Flakiness Index</i>	BS 812-105:1989	< 30%
Kekekalan Bentuk terhadap Sulfat atau <i>Sulphate Soundness</i> *)	SNI 3407:2008	< 15%

*) diperlukan jika kolom batu dipasang di daerah dengan kandungan organik tinggi, pH ekstrim, atau daerah dengan perubahan cuaca/iklim ekstrim.

Tabel SKh.1.7.46.2). Ukuran Material Pengisi Tipikal untuk Pekerjaan Kolom Batu (SNI 8460:2017)

Proses	Ukuran (mm)
Proses kering (dengan) penghubung atas (<i>dry top-feed process</i>)	40 – 75
Proses basah (<i>wet process</i>)	25 – 75
Proses kering (dengan) penghubung bawah (<i>dry bottom-feed process</i>)	8 – 50

Ukuran material batu yang digunakan untuk pekerjaan kolom batu dianjurkan mengikuti spesifikasi di atas. Alternatif gradasi yang lain dapat digunakan sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan oleh Konsultan Perencana.

Tabel SKh-1.7.46.3). Granular untuk Lapisan Drainase atau *Drainage Blanket*
(SNI 3423:2008)

Ukuran Saringan (mm)	Presentasi lolos dari Berat (%)
125	100
3.35	25 – 35
2	5 – 10
0.6	0 – 5

Granular yang digunakan untuk lapisan drainase adalah granular yang keras, alami atau terbebas dari bahan organik, sampah atau bahan-bahan yang merusak lainnya, kadar lumpur harus < 5%.

SKh. 1.7.46.4 PERSIAPAN PELAKSANAAN

1. Pemeriksaan Bersama

Penyedia Jasa bersama dengan Pengawas Pekerjaan melakukan pemeriksaan dan pengukuran lokasi pekerjaan dengan melakukan pengukuran dan pemeriksaan detail kondisi lokasi pekerjaan terhadap gambar rencana.

2. Pemilihan Metode Kerja Kolom Batu

Perencana menentukan metode pembuatan kolom batu yang sesuai, yaitu proses kering (*dry process*) atau proses basah (*wet process*), berdasarkan pertimbangan kondisi sebagai berikut:

- Kondisi lahan kerja
- Ketersediaan dan kapasitas sumber air kerja
- Ketersediaan material
- Diameter kolom batu yang direncanakan
- Kedalaman kolom batu yang direncanakan

3. Pembuatan Gambar Kerja atau *Shop Drawing*

Penyedia Jasa menyiapkan gambar kerja atau *shop drawing* dengan rencana pola dan kedalaman pemasangan kolom batu. Gambar kerja tersebut harus mendapat persetujuan dari Pengawas Pekerjaan.

4. Pembuatan Program Keselamatan

Program keselamatan terinci diperlukan untuk memverifikasi bahwa personel di lokasi pekerjaan dan properti yang berdekatan dilindungi. Program keselamatan akan membahas metode untuk melindungi personel di tempat, dan struktur yang berdekatan. Program

keselamatan wajib diberikan kepada Pengawas Pekerjaan untuk setiap proyek sebelum memulai pekerjaan.

5. Survey Koordinat dan Pembuatan Titik Acuan atau *Benchmark*

Penyedia Jasa atau Pengawas Pekerjaan harus melakukan survey koordinat *layout* batas lahan pekerjaan kolom batu vibrasi kemudian membuat titik acuan berdasarkan koordinat. Pembuatan titik acuan atau *benchmark* titik-titik kolom batu harus menggunakan patok beton yang kuat dan diwarnai dengan warna yang cukup terang serta diberi nama agar mudah dipahami oleh semua pihak. Pelaksanaan pekerjaan ini harus diketahui dan disetujui oleh Pengawas Pekerjaan.

6. Pembersihan lahan

Lahan yang akan diperbaiki harus bersih dari material kayu, bahan organik atau benda-benda lainnya yang dapat mengganggu pekerjaan kolom batu. Jika ditemukan penghalang berupa lapisan tanah atau lensa ($N-SPT >10$ pada tanah butir halus atau $N-SPT >15$ pada tanah butir kasar) di kedalaman yang lebih dangkal dari kedalaman rencana dan tidak dapat ditembus, maka perlu dilakukan pra pengeboran sebagai salah satu metode yang dapat digunakan untuk menembus lapisan keras tersebut. Pemilihan metode pra pengeboran perlu didiskusikan terlebih dahulu dengan Pengawas Pekerjaan di lapangan.

Selain itu, lokasi pekerjaan kolom batu vibrasi harus dipastikan sejak awal bahwa terbebas dari keberadaan utilitas bawah tanah.

Beberapa alternatif langkah yang dapat digunakan apabila mengaplikasikan pra pengeboran dan ditemukannya utilitas bawah tanah, adalah sebagai berikut:

- a) Ubah posisi kolom batu vibrasi dengan jarak yang dekat dari posisi rencana awal sesuai dengan yang disetujui oleh Pengawas Pekerjaan.
- b) Membuat kolom batu vibrasi tambahan di sekitar penghalang.
- c) Menggali, penghilangan penghalang, pengurukan dengan bahan granular dan padat untuk persyaratan Pengawas Pekerjaan.

7. Mobilisasi Alat Kerja, Pekerja, dan Material

Mobilisasi alat berat, pekerja, dan material yang dibutuhkan untuk pelaksanaan pekerjaan pada lokasi proyek harus sesuai dengan jadwal pelaksanaan pekerjaan menyeluruh sehingga pelaksanaan pekerjaan tidak terganggu dan sesuai rencana.

8. Pembuatan Bantalan Kerja atau *Cushion Layer*

Penyedia Jasa membuat bantalan kerja atau *cushion layer* yang berfungsi untuk menopang peralatan sebelum pemasangan kolom batu dan berlaku sebagai lapisan penyalur beban (*load transfer platform*) saat pembebanan diberikan. Bantalan kerja ini harus dibentuk dengan material kerikil atau pasir.

SKh. 1.7.46.5 PELAKSANAAN

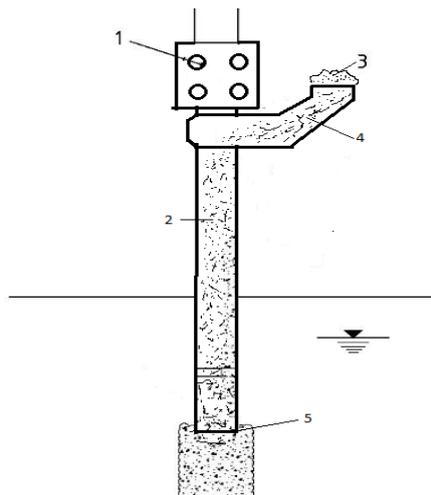
1. Persyaratan Pelaksanaan

- a) Penyedia Jasa harus meminimalkan kemungkinan gangguan terhadap lingkungan, seperti kebisingan, getaran, polusi udara dan air yang berdampak pada struktur yang berdekatan.

- b) Jika dilakukan pengambilan air tanah pada proses pelaksanaan, Penyedia Jasa harus memperhitungkan volume air yang diperlukan dan dampak lingkungan yang mungkin terjadi.
- c) Pemasangan kolom batu dilakukan dalam pola segitiga atau segiempat dengan jarak sesuai Gambar yang disetujui Pengawas Pekerjaan.
- d) Pembuatan lubang kolom batu harus tegak vertikal.
- e) Pengisian material dilakukan setiap interval tertentu yang harus diperhitungkan untuk menjamin kepadatan kolom.
- f) Kecepatan penarikan batang penggetar dan kedalaman penggetaran harus disesuaikan dengan kondisi tanah untuk menjamin kontinuitas dan diameter kolom batu.
- g) Jika kolom batu dibutuhkan untuk bekerja sebagai drainase, diperlukan perancangan drainase permukaan dengan cara membuat selimut drainase atau sistem drainase horizontal.
- h) Konsumsi tenaga minimum dan lama vibrasi pada setiap pemadatan tidak boleh kurang dari yang ditentukan dari instalasi kolom batu vibrasi awal di area uji coba. Penyedia Jasa harus dapat memberikan batas minimum dari tenaga dan lama vibrasi ini sebelum memulai pekerjaan.
- i) Penyedia Jasa bertanggung jawab untuk melakukan uji coba pemasangan kolom batu. Durasi penggetaran, tinggi penarikan dan penurunan pipa penggetar yang dibutuhkan untuk memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Konsultan Perencana ditentukan dalam uji coba ini.
- j) Perbaikan terhadap pekerjaan kolom batu yang gagal atau tidak memenuhi ketentuan termasuk dalam biaya mata pembayaran. Kolom batu pengganti atau tambahan dibuat di dekat kolom batu yang gagal dengan jarak yang ditentukan oleh Pengawas Pekerjaan.

2. Pelaksanaan Pekerjaan

- A. Proses kering (dengan) penghubung bawah dengan penggetar atas atau *dry bottom-feed process with top-mounted vibrator*
 - a) Masukkan pipa penggetar ke dalam tanah dengan menggunakan penggetar yang terpasang pada bagian atas pipa atau *top mounted vibrator*. Ujung bawah pipa penggetar dilengkapi dengan sepatu yang dapat membuka secara otomatis saat pipa ditarik ke atas dan menutup saat pipa didorong ke bawah .
 - b) Saat ujung pipa penggetar mencapai kedalaman rencana, masukkan material pengisi dengan volume tertentu ke dalam pipa penggetar.
 - c) Angkat pipa setinggi 2-3 m atau sesuai dengan ketinggian yang disetujui pada saat uji coba, saat ini material pengisi turun ke dalam lubang. Apabila dibutuhkan, pada saat yang sama, pompa udara bertekanan ke ujung pipa penggetar melalui pipa kecil yang terpasang untuk menghilangkan dampak vakum dan membantu proses turunnya material. Turunkan pipa penggetar sedalam 1-2 m atau sesuai dengan ketinggian yang disetujui pada saat uji coba untuk memadatkan material pengisi dan membentuk kolom batu.
 - d) Ulangi proses pengisian pipa, mengangkat dan menurunkan pipa sambil tetap digetarkan ke atas lubang hingga proses pembentukan kolom batu selesai.



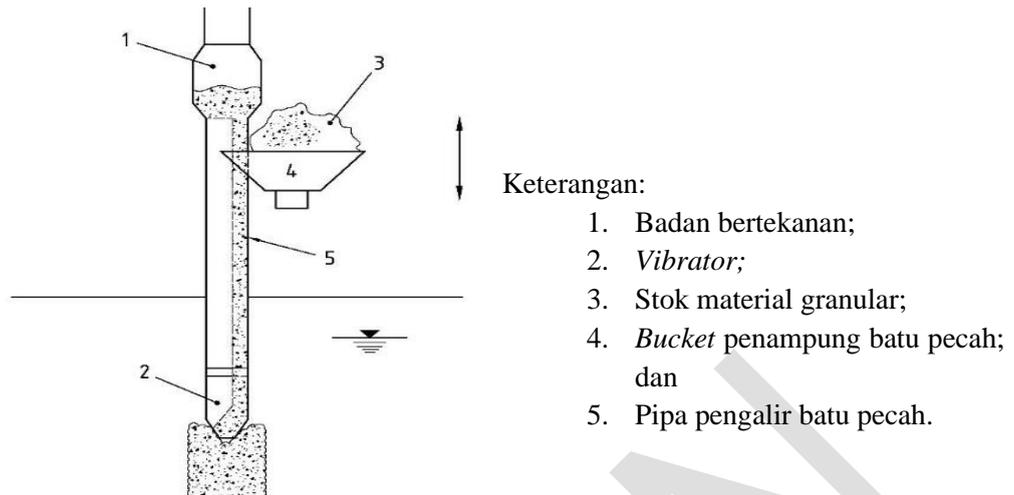
Keterangan:

1. *Vibrator*;
2. Pipa pengalir batu pecah;
3. *Bucket* penampung batu pecah;
4. Batu pecah; dan
5. Katup satu arah.

Gambar SKh. 1.7.46.1). Proses Kering (dengan) Penghubung Bawah dengan Penggetar Atas

B. Proses kering (dengan) penghubung bawah dengan penggetar bawah atau *dry bottom-feed process with bottom vibrator*.

- a) Posisikan pipa penggetar pada titik kolom batu yang akan dibuat. Ujung dari pipa penggetar dan pipa pengalir batu diletakkan hingga menyentuh permukaan tanah.
- b) Material batu dikirim dengan menggunakan *bucket* penampung batu ke dalam badan bertekanan dan kemudian diteruskan ke dalam pipa pengalir batu. Setelah selesai pengisian, badan bertekanan ditutup secara otomatis.
- c) Udara bertekanan tinggi diisikan ke dalam badan bertekanan yang telah ditutup. Hal ini diterapkan untuk memberikan daya tekan tambahan pada pipa pengalir batu, sehingga bisa mencegah intrusi tanah ke dalam pipa ini selama proses penetrasi berlangsung.
- d) Pipa penggetar dimasukkan ke dalam tanah dengan cara ditekan secara hidrolik oleh *vibro-rig* hingga mencapai kedalaman rencana.
- e) Saat ujung pipa penggetar mencapai kedalaman rencana, pipa penggetar perlahan-lahan akan diangkat 1m – 2m untuk membiarkan material batu turun mengisi lubang yang telah terbentuk, kemudian pipa penggetar diturunkan kembali untuk proses pemadatan material batu dan pembentukan diameter kolom. Proses pengangkatan dan pemadatan oleh pipa penggetar ini dilakukan bertahap setiap 100 mm – 200 mm kolom batu yang terbentuk hingga material batu yang ada di pipa pengalir batu habis.
- f) Selama proses pemadatan oleh pipa penggetar, kolom batu dan material batu mengalami gaya sentrifugal secara lateral yang dihasilkan oleh pipa penggetar.
- g) Ulangi proses pengisian material batu hingga proses pemadatan kolom batu oleh pipa penggetar berulang kali hingga kolom batu vibrasi terbentuk sampai permukaan tanah.



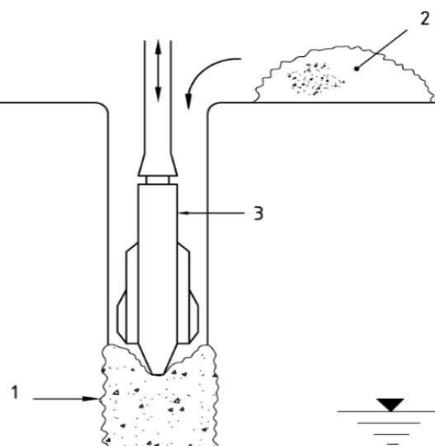
Gambar SKh. 1.7.46.2). Proses Kering (dengan) Penghubung Bawah dengan Penggetar Bawah

C. Proses kering (dengan) penghubung atas atau *dry top-feed process*

- a) Masukkan pipa penggetar ke dalam tanah sambil memompakan semprotan udara bertekanan ke ujung *vibroflot* dengan menggunakan kompresor.
- b) Setelah kedalaman rencana tercapai, pertahankan pipa penggetar beberapa lama untuk memastikan kestabilan lubang.
- c) Angkat keluar pipa penggetar dari lubang yang terbentuk.
- d) Segera isi lubang dengan material pengisi berbutir kasar sejumlah tertentu.
- e) Turunkan pipa penggetar kembali untuk memadatkan material pengisi.
- f) Ulangi proses pengangkatan pipa penggetar, pengisian lubang, dan penurunan pipa penggetar-hingga material terisi penuh di dalam lubang dan membentuk kolom batu yang terkunci dengan tanah di sekitarnya.

Keterangan:

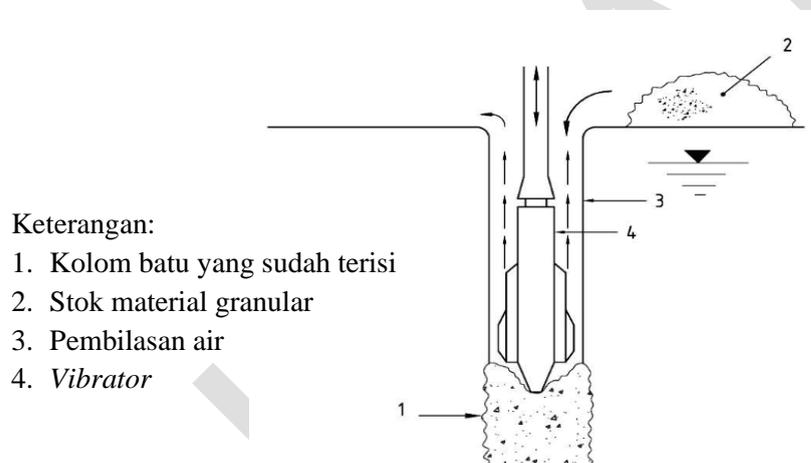
1. Kolom batu yang sudah terisi;
2. Stok material granular; dan
3. *Vibrator*.



Gambar SKh. 1.7.46.3). Proses Kering (dengan) Penghubung Atas

D. Proses basah atau *wet process*

- a) Masukkan pipa penggetar ke dalam tanah. Proses ini disertai dengan penyemprotan air atau *water jetting*.
- b) Setelah kedalaman rencana tercapai, gerakkan pipa penggetar naik turun beberapa kali sambil memompakan air untuk mengeluarkan lumpur dari dalam lubang.
- c) Dengan pipa penggetar tetap menggantung dalam lubang dan aliran air tetap mengalir, isikan material pengisi dari atas melalui lubang yang terbentuk.
- d) Tarik pipa penggetar secara perlahan-lahan, getaran pipa penggetar akan memadatkan tanah berbutir yang diisikan dan membentuk kolom batu.
- e) Jika perlu, turunkan pipa penggetar kembali untuk lebih memadatkan kolom batu yang dihasilkan.
- f) Proses ini memerlukan aliran air yang banyak dan juga perlu disediakan parit atau pompa untuk mengalirkan lumpur ke tempat penampung sementara.



Gambar SKh. 1.7.46.4). Proses Basah

3. Pekerjaan Akhir

Pekerjaan kolom batu diakhiri dengan meratakan dan memadatkan bantalan kerja hingga ketebalan tertentu yang disetujui oleh Pengawas Pekerjaan. Lapisan ini berfungsi sebagai lapisan penyalur beban atau *load transfer platform*.

4. Monitoring Pekerjaan

Lakukan pencatatan berkala dan sistematis. Jika material pengisi merupakan material setempat, penurunan permukaan tanah yang diperbaiki perlu dimonitor dan dicatat.

SKh. 1.7.46.6 PENGENDALIAN MUTU

1. Toleransi Kerja

a) Posisi

Maksimum pergeseran titik dari titik tengah kolom batu vibrasi yang terbentuk terhadap posisi kolom rencana adalah 150 mm untuk semua arah.

b) Ketegakan

Kolom batu vibrasi harus dibangun setegak mungkin. Pipa penggetar tidak boleh memiliki deviasi lebih dari 1 berbanding 20 saat proses instalasi kolom batu vibrasi dilakukan. Pengecekan dilakukan dengan menggunakan waterpass, unting-unting atau cara lainnya.

c) Diameter

Diameter rata – rata kolom batu tidak boleh lebih kecil dari yang direncanakan.

2. Monitoring

Dalam pelaksanaan pekerjaan kolom batu, diperlukan pencatatan tetapi tidak terbatas pada kedalaman pengisian, waktu siklus, kuantitas pengisian material, dan waktu penggetaran. Hal ini dimaksudkan untuk kontrol pengisian material, mengurangi risiko kerusakan kolom, dan menyediakan informasi langsung untuk inspeksi dan persetujuan pekerjaan oleh Pengawas Pekerjaan.

3. Pengujian

A. Uji Pembebanan

Uji pembebanan dilakukan untuk mengukur konsistensi kolom batu vibrasi. Satu atau lebih uji pembebanan di bawah ini dapat dilakukan.

a) Uji pembebanan kolom tunggal

Uji ini menggunakan pelat kaku yang ditempatkan secara konsentris pada kolom tunggal.

b) Uji pembebanan kelompok kolom

Uji ini dilakukan dengan memuat pelat kaku yang cukup besar untuk menjangkau kelompok 4 kolom dan daerah penyangga.

c) Uji pembebanan zona

Uji zona dilakukan dengan memuat area yang luas (minimal 20 m x 20 m) dari tanah diperbaiki dengan cara membangun dan membebani pondasi dengan ukuran penuh atau menempatkan timbunan untuk mensimulasikan tekanan tanah dasar pada zona yang lebih luas dan lebih dalam dari uji pelat pada kolom kelompok.

B. Uji Lapangan

Perlu dilakukan uji lapangan untuk mengukur dan membuktikan tingkat perbaikan yang tercapai. Satu atau lebih uji lapangan di bawah ini dapat dilakukan sesuai dengan yang ditentukan oleh Konsultan Perencana dengan kriteria penerimaan sesuai fungsi kolom batu tersebut. Uji lapangan tersebut adalah sebagai berikut :

a) Uji SPT mendapatkan tahanan penetrasi pada saat pengeboran.

b) Uji sondir (CPT) untuk mendapatkan nilai perlawanan konus dan *friction ratio* tanah secara menerus di sepanjang kedalaman tanah.

c) Uji CPTu, untuk mendapatkan nilai perlawanan konus dan *friction ratio* tanah, serta tegangan air pori tanah.

d) *Dilatometer test* (DMT) untuk mendapatkan modulus deformasi.

- e) *Dynamic probing* (DP) untuk mendapatkan tahanan penetrasi tanah dan batuan lunak di lapangan akibat penetrasi dinamis konus.
- f) *Pressuremeter test* (PMT) untuk memperoleh modulus deformasi dan/atau tegangan batas.
- g) Tipe pengujian lain yang dapat juga diterapkan adalah: uji geofisika dimana tingkat keseragaman pemadatan yang dicapai dapat dinilai melalui cepat rambat gelombang seismik yang diukur di lapangan; pengambilan contoh dan pengujian laboratorium serta pengujian permeabilitas lubang bor.

SKh. 3.7.7 PENGUKURAN DAN PEMBAYARAN

1. Pengukuran

Jumlah kolom batu vibrasi yang harus dibayar adalah jumlah meter panjang kolom batu yang terpasang di tempatnya pada pekerjaan yang sudah selesai dan disetujui. Pengukuran dilaksanakan dari ujung tiang sampai bagian bawah kaki seperti yang terdapat dalam Gambar Kerja. Bagian kolom batu vibrasi yang lebih dalam dari yang ditentukan, akibat prosedur kerja yang melewati batas, harus tidak dibayar.

2. Dasar Pembayaran

Pekerjaan yang diukur tersebut harus dibayar menurut Harga Satuan Kontrak per satuan pengukuran untuk butir pembayaran pada daftar di bawah ini. Pembayaran ini merupakan kompensasi penuh untuk konstruksi kolom batu vibrasi, termasuk material, tenaga kerja, peralatan, pengangkatan, pengangkutan, pekerjaan lainnya yang termasuk dalam metode kerja, dan pekerjaan insidental lainnya yang terkait.

Nomor Mata Pembayaran	Uraian	Satuan
SKh.1.7.46.(1)	Pekerjaan Pemasangan Kolom Batu Proses Kering Penghubung Bawah dengan Penggetar atas Diameter cm	Meter Panjang
SKh.1.7.46.(2)	Pekerjaan Pemasangan Kolom Batu Proses Kering Penghubung Bawah dengan Penggetar Bawah Diameter cm	Meter Panjang
SKh.1.7.46.(3)	Pekerjaan Pemasangan Kolom Batu Proses Kering Penghubung Atas dengan Penggetar Atas Diameter cm	Meter Panjang
SKh.1.7.46.(4)	Pekerjaan Pemasangan Kolom Batu dengan Proses Basah Diameter cm	Meter Panjang