

6.8 Pemadatan dalam (*deep compaction*)

6.8.1 Ruang lingkup pekerjaan pemadatan dalam

Subpasal ini menetapkan prinsip-prinsip perancangan pekerjaan pemadatan dalam (*deep compaction*). Jenis-jenis pemadatan dalam yang dibahas di dalam subpasal ini mencakup:

- *deep vibratory compaction*;
- *stone columns*;
- pemadatan dinamik (*dynamic compaction*).

Metode-metode pemadatan dalam yang dibahas di dalam standar ini meliputi:

- metode pemadatan dengan menggunakan vibrator dengan arah getaran horizontal, pada kondisi vibrator tersebut masuk ke dalam tanah. Teknik ini dikenal dengan nama ***vibroflotation***;
- metode pemadatan dengan memasukkan batang penggetar ke dalam tanah, dengan vibrator yang bergetar dalam arah vertikal dan vibrator tersebut tetap berada di atas permukaan tanah. Teknik ini umumnya dikenal dengan nama ***vibrocompaction***;
- metode pemadatan dengan menumbuk permukaan tanah dengan menggunakan beban (umumnya berupa blok susunan pelat-pelat besi) seberat 5 - 200 ton. Teknik ini dikenal dengan nama kompaksi dinamik.

6.8.2 Informasi yang diperlukan untuk perancangan dan pelaksanaan pekerjaan

Sebelum pelaksanaan pekerjaan, informasi berikut harus tersedia.

- a) Batasan hukum.
- b) Acuan tetap untuk penentuan titik-titik perbaikan tanah.
- c) Kondisi struktur, jalan, sarana utilitas (pipa air bersih, pipa gas, kabel), dan lain-lain yang berdekatan dengan lokasi pekerjaan.
- d) Sistem manajemen mutu, termasuk pengawasan, pemantauan dan pengujian.

Informasi yang berkaitan dengan kondisi di lapangan harus mencakup:

- geometri lokasi termasuk batas lahan, topografi, akses, lereng dan keterbatasan tinggi ruang kerja;
- struktur bawah tanah eksisting, (fasilitas) sarana publik, kontaminan yang sudah dikenal dan kendala-kendala arkeologi (bila ada);
- pembatasan lingkungan termasuk kebisingan, getaran, perpindahan, polusi dan efek variasi musiman dalam cuaca termasuk lapisan permukaan yang membeku;
- aktivitas di masa yang akan datang atau yang sedang berlangsung seperti *dewatering*, pembuatan terowongan, penggalian dalam dan peningkatan tingkat situs (peningkatan status lokasi tersebut).

Informasi khusus dalam kaitan dengan aspek perancangan dan pelaksanaan pemadatan dalam adalah sebagai berikut.

- a) Tujuan perbaikan tanah dengan pemadatan dalam.

SNI 8460:2017

- b) Persyaratan pasokan air dan pembuangan lumpur untuk proses basah saat pemasangan *vibrated stone columns*.

Instruksi tertulis yang harus disediakan kepada kontraktor, adalah:

- prosedur pelaporan untuk keadaan yang tidak terduga, atau kondisi yang didapati berbeda dengan yang diasumsikan dalam perancangan;
- prosedur pelaporan, jika perancangan didasarkan atas metode pengamatan;
- pemberitahuan keterbatasan yang dijumpai, misalnya tahapan konstruksi yang disyaratkan dalam perancangan tidak dapat dipenuhi/dilaksanakan;
- jadwal dan prosedur pengujian bahan untuk kriteria penerimaan.

Persyaratan tambahan atau penyimpangan dari syarat-syarat yang termuat dalam dokumen ini harus dibuat dan disetujui sebelum pekerjaan dimulai.

6.8.3 Penyelidikan geoteknik untuk pekerjaan pemadatan dalam

Jumlah dan jenis penyelidikan tanah yang dikerjakan harus memadai untuk menentukan jenis dan karakteristik tanah setempat. Semua proses penyelidikan tanah harus memenuhi kriteria SNI untuk penyelidikan tanah dan mengacu pada penjelasan di Pasal 5.

Bila ada tanah timbunan yang heterogen, maka perlu dilakukan pemeriksaan melalui sumur uji.

Kemungkinan terdapatnya tanah keras dan batu-batu di dalam tanah yang dapat menghambat masuknya batang penggetar harus diselidiki.

Untuk pekerjaan pemadatan dalam, laporan penyelidikan tanah harus memuat informasi berikut.

- a) Komposisi, sebaran arah lateral, ketebalan dan konsistensi lapisan permukaan, keberadaan dan kondisi akar-akar pohon, kondisi tanah timbunan, dan lain-lain.
- b) Ada tidaknya bongkahan batu, lapisan tanah tersementasi, atau batuan yang dapat menyebabkan kesulitan pelaksanaan.
- c) Keberadaan tanah lempung kembang-susut (montmorillonite).
- d) Letak muka air tanah, variasinya dan kemungkinan keberadaan tekanan artesis.
- e) Parameter-parameter tanah sebagai berikut:
 - klasifikasi tanah;
 - distribusi ukuran butiran;
 - kadar air alami;
 - batas-batas Atterberg;
 - berat isi;
 - kadar organik;
 - parameter kekakuan tanah atau parameter konsolidasi;
 - kekuatan tanah (geser, tekan, tarik);
 - permeabilitas.

- f) Lapisan tanah yang berpotensi likuifaksi.
- g) Keberadaan tanah timbunan yang masih mengalami penurunan akibat berat sendiri.
- h) Ada tidaknya kontaminasi tanah dan air tanah di sekitar proyek.

Untuk pekerjaan pemadatan dalam, juga diperlukan beberapa data sebagai berikut:

- keberadaan lapisan tanah yang dapat membatasi efisiensi getaran yang diberikan, di antaranya keberadaan tanah lempung, lanau dan lapisan-lapisan yang kedap air;
- daya tahan hancurnya butiran tanah (*crushability of particles*);
- ikatan antar butiran akibat sementasi, hisapan (*suction*) dan kohesi.

Untuk pekerjaan *vibrated stone columns* diperlukan informasi tambahan sebagai berikut:

- kompresibilitas;
- batas konsistensi;
- kuat geser tak terdrainase;
- sensitivitas.

Pengujian laboratorium dan lapangan selengkapnya dapat dilihat pada Pasal 5.

6.8.4 Persyaratan material dan produk

Material yang digunakan sebagai bahan pengisi untuk pemadatan dalam dapat berupa pasir dan kerikil alam, batu pecah atau material daur ulang, seperti hancuran batu bata atau beton. Material pengisi ini harus memiliki gradasi yang baik dan dapat dipadatkan dengan efek getaran atau tumbukan. Juga 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 *stone columns*, harus cocok dengan peralatan yang digunakan dan dapat disalurkan ke dalam tanah dengan lancar, baik dengan metode penghubung bawah (*bottom feed*) ataupun penghubung atas (*top feed*).

Gradasi tanah pengisi tipikal yang umum digunakan pada proses-proses pemadatan dalam yang berbeda disajikan pada Tabel 15.

Tabel 15 - Gradasi bahan pengisi tipikal

Proses	Gradasi (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

Distribusi gradasi ukuran material pengisi harus diperiksa apakah sesuai spesifikasi perencanaan. Jika diperlukan, kekerasan (*hardness*) material berbutir yang digunakan untuk membuat *stone columns* dapat diperiksa dengan mengacu pada prosedur pengujian sifat mekanik dan fisik agregat yang diatur di dalam SNI terkait.

6.8.5 Pertimbangan lain dalam perancangan

6.8.5.1 Umum

Data penyelidikan tanah harus digunakan untuk menentukan apakah tanah yang diselidiki dapat diperbaiki dengan menggunakan metode pemadatan dalam.

Hal-hal berikut harus ditentukan dalam perancangan pemadatan dalam.

- a) Tujuan perbaikan (misalnya meningkatkan daya dukung, mengurangi penurunan, mengurangi potensi likuifaksi).
- b) Target pencapaian parameter geoteknik yang diperlukan setelah perbaikan tanah (misalnya kuat geser, kekakuan, atau permeabilitas).
- c) Kriteria kedalaman, jarak dan area titik-titik perbaikan yang direncanakan.
- d) Kriteria kinerja yang ditargetkan dan jenis pengukuran parameter tanah yang disyaratkan (setelah proses perbaikan selesai) untuk menilai apakah target perbaikan telah tercapai.
- e) Rencana pemadatan ulang (bila perlu), jika akan ada penggalian tanah yang telah diperbaiki.
- f) Akibat sifat alami tanah yang tidak seragam, bahkan setelah proses perbaikan selesai dipastikan parameter tanah juga akan bervariasi. Karena itu variasi parameter tanah harus dipertimbangkan dengan jalan memberikan batas atas dan batas bawah yang diizinkan dari suatu parameter tertentu.
- g) Besarnya penurunan tanah dan pengangkatan tanah (bila ada) selama proses perbaikan tanah harus diantisipasi. Dampak besaran pengangkatan dan penurunan yang diperbolehkan terhadap bangunan sekitar (bila ada) harus diperhitungkan.

Beberapa proses pemadatan dalam membutuhkan air dalam jumlah besar. Jika dilakukan pengambilan air tanah pada proses pelaksanaan, perlu diperhitungkan volume air yang diperlukan dan dampak lingkungan yang mungkin terjadi.

Kemungkinan gangguan terhadap lingkungan, seperti kebisingan, getaran, polusi udara dan air yang berdampak pada struktur yang berdekatan harus diminimalkan dan bila memungkinkan harus diiadakan.

Jika *stone columns* dibutuhkan untuk bekerja sebagai drainase, diperlukan perancangan drainase permukaan dengan jalan membuat selimut drainase atau sistem drainase horizontal.

Jika pemadatan getar pada kedalaman tertentu atau *deep vibratory compaction* tidak ditujukan untuk memadatkan lapis permukaan, *roller* atau *stamper* harus digunakan untuk memadatkan lapisan tersebut.

6.8.5.2 Pemilihan metode perbaikan

Metode yang dipilih untuk melaksanakan perbaikan tanah harus memenuhi persyaratan dalam perancangan. Bila tidak terdapat pengalaman yang meyakinkan dalam metode perbaikan tanah yang akan diterapkan, maka harus dilakukan uji coba (*preliminary trials*) untuk membuktikan kelayakan metode tersebut dan/atau untuk mengoptimalkan perancangan perbaikan tanah tersebut.

Pemadatan getar pada kedalaman tertentu (*deep vibratory compaction*) umumnya diaplikasikan pada tanah berbutir kasar. Kandungan tanah berbutir halus mengurangi efisiensi pemadatan, pada umumnya pemadatan tidak akan berhasil baik bila kandungan tanah berbutir halus melebihi 10%. Tanah-tanah yang tersementasi atau memiliki hisapan yang tinggi tidak cocok untuk diperbaiki dengan sistem pemadatan getar pada kedalaman tertentu. Proses perbaikan ini dapat dilakukan dengan menggunakan *top mounted vibrator* yang dipasangkan di ujung atas batang penggetar atau *depth vibrator* yang umumnya dikenal dengan nama *vibroflot*. Proses pemadatan akan berlangsung lebih efisien bila getaran yang ditimbulkan batang penggetar atau *vibrofloat* menimbulkan resonansi getaran pada tanah.

Vibrated stone columns umumnya diaplikasikan untuk memperbaiki tanah lempung lunak yang memiliki kuat geser tak terdrainase minimum 20 kPa, namun dapat juga diaplikasikan pada tanah pasir lepas. Formasi *stone columns* bekerja sama dengan tanah di sekitarnya membentuk suatu struktur tanah komposit yang dapat difungsikan untuk meningkatkan daya dukung, mempercepat disipasi tegangan air pori, mengurangi penurunan, dan/atau meningkatkan stabilitas lereng. *Stone columns* ini dapat dibentuk melalui tiga cara sebagai berikut.

- a) Proses kering (dengan) penghubung atas atau *dry top-feed process*: Pada tanah berbutir kasar pada umumnya metode ini hanya dapat diterapkan untuk tanah yang berada di atas muka air tanah. Metode ini umumnya diaplikasikan dengan menggunakan *vibroflot*. *Vibroflot* dan batang penyambungannya dimasukkan ke dalam tanah melalui getaran dan berat sendiri *vibroflot* yang dibantu dengan semprotan udara bertekanan yang dipompakan ke ujung *vibroflot* dengan menggunakan kompresor. Setelah kedalaman rencana tercapai, *vibroflot* dipertahankan beberapa lama untuk memastikan kestabilan lubang.

Selanjutnya *vibroflot* diangkat keluar lubang yang terbentuk, lubang segera diisi dengan material pengisi berbutir kasar (lihat Tabel 15) sejumlah tertentu, lalu *vibroflot* diturunkan kembali untuk memadatkan tanah berbutir tersebut. Proses mengangkat *vibroflot*, mengisi lubang, menurunkan *vibroflot* untuk pemadatan dilakukan berulang-ulang hingga material terisi penuh di dalam lubang dan terbentuk *stone column* yang “terkunci” dengan tanah di sekitarnya.

- b) Proses basah atau *wet process*: Proses basah ini digunakan apabila lubang yang terbentuk dengan proses kering (dengan) penghubung atas tidak stabil. Alat pemadat yang digunakan sama seperti sebelumnya, yaitu *vibroflot*, hanya saja disini air yang dipompakan dan bukan udara. Lubang dibentuk dengan bantuan semprotan air (*water*

jetting), getaran dan berat sendiri *vibroflot*. Setelah mencapai kedalaman rencana, *vibroflot* dapat digerakkan naik turun beberapa kali sambil air tetap dipompakan, hal ini dimaksudkan untuk mengeluarkan lumpur dari dalam lubang. Kemudian, dengan *vibroflot* tetap menggantung dalam lubang dan aliran air tetap mengalir (aliran air dalam jumlah yang cukup dan kontinu menjamin kestabilan lubang yang terbentuk), material pengisi diisikan dari atas melalui lubang yang terbentuk. *Vibroflot* di tarik secara perlahan-lahan, getaran *vibroflot* akan memadatkan tanah berbutir yang diisikan dan membentuk *stone column*. Bilamana perlu *vibroflot* dapat didorong turun kembali untuk lebih memadatkan *stone column* yang dihasilkan. Proses ini memerlukan aliran air yang banyak, dan juga perlu disediakan parit untuk mengalirkan lumpur ke tempat penampung sementara.

- c) Proses kering (dengan) penghubung bawah atau *dry bottom-feed process*: Proses kering (dengan) penghubung bawah ini dilakukan dengan menggunakan pipa penggetar yang dimasukkan ke dalam tanah dengan menggunakan *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. Saat ujung pipa penggetar mencapai kedalaman rencana, material pengisi sejumlah volume tertentu (tidak sekaligus sebesar volume lubang yang dihasilkan) diisikan ke dalam pipa penggetar, kemudian pipa diangkat setinggi 2-3 m, saat ini material pengisi akan turun ke dalam lubang (saat ini udara bertekanan dipompakan ke ujung pipa penggetar melalui pipa kecil yang terpasang untuk menghilangkan dampak vakum dan membantu proses turunnya material)

Selanjutnya pipa penggetar didorong ke bawah setinggi 1-2 m untuk memadatkan material pengisi dan membentuk *stone column*. Sepanjang proses vibrator tetap bergetar. Proses pengisian pipa, mengangkat pipa dan mendorong kembali sambil tetap bergetar dilakukan berulang-ulang ke arah atas lubang hingga proses pembentukan *stone column* selesai. Karena sepanjang proses batang penggetar selalu berada di dalam tanah, maka kestabilan lubang tidak menjadi masalah.

Pola titik-titik pemadatan dengan pemadatan getar pada kedalaman tertentu dapat berupa pola segitiga sama sisi atau pola segi empat, sedangkan pola titik-titik *stone column* disesuaikan dengan tipe fondasi yang akan ditempatkan di atas *stone column*.

Kompaksi dinamik umumnya sangat efektif untuk diaplikasikan pada tanah berbutir kasar, dan tidak efektif untuk diaplikasikan pada tanah kohesif tanpa modifikasi. Teknik ini dilaksanakan dengan menjatuhkan penumbuk (*tamper*) seberat 10 – 200 ton dari ketinggian 10 – 40 m dengan pola tumbukan teratur. Pada tanah kohesif, teknik ini dapat dikombinasikan dengan Prefabricated Vertical Drain (PVD). Tumbukan pada tanah kohesif menghasilkan tegangan air pori berlebih yang kemudian terdisipasi melalui penyalir vertikal.

Modifikasi lain adalah dengan menghamparkan material berbutir kasar (kerikil atau sirtu) setebal 50 cm – 80 cm di atas lapisan tanah lempung, lalu ditumbuk dengan tamper berulang-ulang sehingga material kerikil/sirtu masuk ke dalam tanah lunak dan terbentuk pilar-pilar batu.

6.8.5.3 Verifikasi perancangan

Ketercapaian sasaran atau target perancangan harus diverifikasi. Metode verifikasi yang perlu dilakukan harus ditentukan sebelum proses pelaksanaan pemadatan dalam dimulai.

Tipe dan frekuensi pengujian yang diperlukan harus ditentukan. Pelaksanaan dan interpretasi hasil pengujian geoteknik di laboratorium dan lapangan harus memenuhi persyaratan SNI penyelidikan geoteknik yang berlaku.

Meskipun dilakukan pengujian untuk kontrol kualitas, tetap diperlukan supervisi, monitoring dan pencatatan di lapangan.

Pengamatan dan evaluasi terhadap perancangan awal dengan jalan melakukan pengamatan di lapangan harus selalu dilakukan.

6.8.5.4 Area dan rencana titik-titik perbaikan

Perancangan harus mencantumkan area yang akan diperbaiki dan titik-titik pemadatan yang akan dilakukan.

Setiap titik pemadatan harus diberi nomor referensi dan lokasinya harus ditentukan berdasarkan suatu titik acuan tetap.

Kemungkinan adanya hambatan-hambatan dalam pelaksanaan harus diperhitungkan dalam perancangan.

Deviasi horizontal sampai dengan 150 mm dari titik rencana masih dapat diterima.

Area perbaikan harus mencakup area di luar tapak fondasi, terutama sekali bila perbaikan ditujukan untuk meningkatkan ketahanan potensi likuifaksi. Sebagai patokan, panjang dan lebar area perbaikan ditambahkan sebesar minimal setengah dari kedalaman perbaikan yang akan dilakukan.

Bila perbaikan ditujukan untuk meningkatkan daya dukung dan mengurangi penurunan tanah maka kedalaman pemadatan tanah harus mencapai tanah keras atau hingga kedalaman dimana tegangan tanah yang timbul akibat beban sudah relatif kecil dan tidak lagi menimbulkan perbedaan penurunan yang tidak dapat diterima di kemudian hari. Ini berarti kedalaman yang diperbaiki adalah:

- bila diperlukan perbaikan pada seluruh kedalaman tanah lunak, maka *depth vibrator* atau batang pemadat (*compaction probe*) harus masuk sampai kedalaman tanah keras yang diidentifikasi melalui penyelidikan lapangan;
- bila hanya diperlukan perbaikan di sebagian kedalaman (*partial-depth*), *depth vibrator* atau batang pemadat hanya masuk sampai kedalaman pada kondisi tegangan yang timbul akibat beban bangunan sudah relatif kecil dan dapat diabaikan.

6.8.5.5 Urutan perbaikan

Urutan pelaksanaan titik-titik pemadatan di lapangan ditentukan berdasarkan pertimbangan keefektifan proses pemadatan dan pengaruhnya terhadap struktur dan sarana sekitar.

6.8.5.6 Supervisi

Sebelum pekerjaan pemadatan dalam dimulai, harus sudah tersedia prosedur supervisi, monitoring dan pengujian yang perlu dilakukan untuk kontrol kualitas. Prosedur harus tersedia secara tertulis dan harus mencantumkan hal-hal sebagai berikut:

- daftar parameter yang perlu dikontrol dan nilai-nilai batas yang perlu dicapai;
- kondisi lokasi dan kondisi tanah, serta prosedur yang harus dilakukan bila dijumpai penyimpangan signifikan dari perancangan;

SNI 8460:2017

- prosedur penanganan bila dijumpai gangguan di dalam tanah yang menghambat atau mencegah penetrasi tanah dengan alat penggetar.

Supervisi harus dilaksanakan oleh personel yang memenuhi syarat dan berpengalaman.

Setiap perubahan kondisi tanah yang dapat berpengaruh pada target pemadatan harus dievaluasi dan dilakukan perubahan cara-cara perbaikan. Perubahan yang dilakukan harus mendapatkan persetujuan perencana.

Pencatatan berkala dan sistematis harus dilakukan. Parameter kontrol yang kritis harus dimonitor dan dicatat selama proses pelaksanaan.

Bila proses pemadatan menggunakan material pengisi, maka:

- jika material pengisi didatangkan dari luar lokasi proyek, volume, asal, jenis dan gradasi material perlu dicatat,
- jika material pengisi merupakan material setempat, penurunan permukaan tanah yang diperbaiki perlu dimonitor dan dicatat.

Untuk pembuatan *stone columns*, harus dilakukan pencatatan volume material kerikil yang dihabiskan untuk membuat setiap kolom. Bila terdapat perbedaan penggunaan kerikil dalam volume yang besar untuk membuat satu kolom, maka perlu dilakukan evaluasi pengaruhnya terhadap target perancangan.

6.8.5.7 Pengujian

Kinerja perbaikan tanah yang dikerjakan perlu dinilai dengan melakukan pengujian di lapangan. Pilihan metode pengujian harus berdasarkan tujuan perbaikan tanah yang direncanakan.

Tipe pengujian tanah yang dilakukan harus sesuai dengan SNI penyelidikan tanah. Bilamana tipe pengujian yang akan dilaksanakan belum diatur dalam SNI, maka metode pengujian yang dilakukan harus didasarkan atas standar uji internasional yang disetujui oleh perencana.

Tipe pengujian, parameter-parameter yang harus diuji, lokasi uji, frekuensi uji dan kriteria penerimaan harus ditentukan sebelum pelaksanaan dimulai.

Jumlah pengujian harus cukup representatif dengan: luas area perbaikan tanah, variasi kondisi tanah, tipe fondasi struktur yang akan didukung, kedalaman pengaruh beban fondasi serta faktor-faktor terkait lainnya.

Bila faktor waktu merupakan parameter yang berpengaruh terhadap kekuatan tanah (adanya faktor rheologi), maka tenggang waktu antara selesainya perbaikan tanah terhadap waktu pengujian harus ditentukan sebelum pelaksanaan dimulai.

Untuk pekerjaan pemadatan dalam, perlu dilakukan uji lapangan untuk mengukur dan membuktikan tingkat perbaikan yang tercapai. Satu atau lebih uji lapangan di bawah ini dapat dilakukan.

- a) Uji sondir (CPT) untuk mendapatkan nilai perlawanan konus dan *friction ratio* tanah secara menerus di sepanjang kedalaman tanah.
- b) Uji CPTu, untuk mendapatkan nilai perlawanan konus dan *friction ratio* tanah, serta tegangan air pori tanah (*induced pore pressure*).
- c) Dilatometer tests (DMT) untuk mendapatkan modulus deformasi.
- d) Dynamic probing (DP) untuk mendapatkan tahanan penetrasi (*penetration resistance*).

- e) Pressuremeter tests (PMT) untuk memperoleh modulus deformasi dan/atau tegangan batas (*limit pressures*).
- f) Uji SPT mendapatkan tahanan penetrasi.
- 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.

Parameter-parameter yang diperoleh dari uji lapangan dapat dikorelasikan secara empiris dengan parameter yang mengontrol perilaku massa tanah.

Perbandingan antara uji lapangan yang dilaksanakan sebelum dan setelah perbaikan tanah dapat menjadi indikator tingkat perbaikan tanah yang dicapai.

Bilamana diperlukan, dapat dilakukan uji pembebanan untuk memeriksa daya dukung dan tingkat penurunan yang tercapai.

Untuk pekerjaan *vibrated stone column*, bila *stone column* dipasang pada tanah berbutir kasar, maka pengujian yang tercantum di atas bisa digunakan. Bilamana pekerjaan dilakukan pada tanah berbutir halus (tanah lempung dan lanau), kecuali pengujian di atas, perlu juga dilakukan uji beban sebagai berikut.

- a) Uji beban pelat besar (*large plate load tests*): uji beban dilakukan melalui pelat baja kaku yang dipasang di atas satu atau lebih *stone column* termasuk tanah di sekelilingnya.
- b) *Zone tests*: uji beban dilakukan di atas area perbaikan yang luas, umumnya dilakukan dengan membangun konstruksi fondasi dalam skala penuh, lalu dibebani dengan memberikan beban berupa tumpukan tanah yang ekuivalen dengan beban struktur yang sesungguhnya.

Lokasi, parameter yang diukur, prosedur pembebanan, penambahan beban, durasi pengujian, dan siklus pemberian/pengangkatan beban harus ditentukan sebelum pengujian.

Uji beban pada satu *stone column* dilakukan dengan uji beban pelat. Pelat baja yang digunakan harus ditempatkan secara konsentrik di atas *stone column* yang akan diuji. Peningkatan beban yang diberikan dan penurunan yang diakibatkannya harus selalu dimonitor.

6.8.5.8 Monitoring

Monitoring instrumentasi pada pekerjaan pemadatan dalam harus mempertimbangkan dua kondisi berikut.

- a) Apabila berdasarkan keputusan konsultan perencana terdapat bangunan gedung/fasilitas sekitar yang peka terhadap getaran, maka sebelum pekerjaan dimulai harus dilakukan percobaan pemadatan. Getaran yang timbul pada bangunan tersebut dipantau dengan menggunakan alat monitor getaran, dan pada tanah yang berbatasan dengan lokasi bangunan gedung/fasilitas sekitar tersebut harus dipasang Inklinometer.
- b) Apabila proses perbaikan tanah dilakukan pada tanah lempung, maka harus dipasang beberapa Vibrating Wire Piezometer untuk memonitor tegangan air pori berlebih yang timbul dan untuk mengukur disipasi tegangan air pori.

Semua letak titik-titik instrumentasi harus mendapat persetujuan konsultan perencana dan/atau pengawas ahli.

6.9 Prefabricated Vertical Drain (PVD)

6.9.1 Ruang lingkup pekerjaan Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Subpasal ini menetapkan prinsip-prinsip perancangan perbaikan tanah lunak berpermeabilitas rendah, berkompresibilitas tinggi dengan menggunakan Prefabricated Vertical Drain (PVD) yang dikombinasikan dengan prapembebanan (*preloading*) berupa tanah timbunan.

PVD dapat digunakan pada pembangunan/pekerjaan di darat dan/atau di laut untuk tujuan sebagai berikut:

- mengurangi besaran penurunan setelah pembangunan;
- mempercepat proses konsolidasi dengan mengurangi panjang lintasan disipasi tegangan air pori berlebih;
- meningkatkan stabilitas (dengan menaikkan tegangan efektif dalam tanah);
- mengurangi/mitigasi efek likuifaksi.

Setiap tujuan di atas akan memperbaiki kondisi tanah secara keseluruhan. Beberapa contoh aplikasi teknik ini adalah:

- timbunan jalan dan jalan kereta api;
- pembangunan dan perkuatan tanggul-tanggul;
- prepembebanan untuk area penimbunan/tempat pembuangan;
- konstruksi lepas pantai dan dekat pantai;
- reklamasi;
- pelabuhan dan lapangan terbang.

PVD ini dapat dikombinasikan dengan metode perbaikan tanah lain, yaitu: elektro osmosis, kolom pasir (*compacted sand piles*), kompaksi dinamik (*dynamic compaction*) dan *deep mixing*.

Subpasal ini tidak membahas mengenai drainase dengan menggunakan *sand drains*, sumur-sumur, *stone columns*, dan kolom-kolom pasir yang dibungkus dengan geotekstil.

6.9.2 Informasi yang diperlukan untuk perancangan dan pelaksanaan pekerjaan

Sebelum pelaksanaan pekerjaan, semua informasi yang diperlukan harus tersedia.

- a) Informasi yang terkait dengan kondisi lapangan.
- b) Titik referensi untuk penentuan titik.
- c) Gambar dengan posisi dan panjang PVD.
- d) Aspek legal.
- e) Metode pemasangan PVD.
- f) Karakteristik hidraulik dan fisik PVD yang akan digunakan.
- g) Spesifikasi PVD dan material lain yang akan digunakan.
- h) Prosedur pengujian dan penerimaan material yang dipakai di proyek.