

PEDOMAN

Konstruksi dan Bangunan

Desain dan konstruksi pita drain vertikal prefabrikasi (PDVP)

**Kep Men Permukiman dan Prasarana Wilayah
Nomor : 360/KPTS/M/2004
Tanggal : 1 Oktober 2004**



DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

Prakata

Pedoman ini termasuk dalam Gugus Kerja Geoteknik, Bendungan, dan Waduk pada Sub Panitia Teknik Sumber Daya Air yang berada di bawah Panitia Teknik Konstruksi dan Bangunan, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

Penulisan pedoman ini mengacu kepada Pedoman BSN No.8 Tahun 2000 dan telah mendapat masukan dan koreksi dari ahli bahasa.

Perumusan pedoman ini dilakukan melalui proses pembahasan pada Gugus Kerja, Prakonsensus dan Konsensus pada tanggal 3 September di Pusat Litbang Sumber Daya Air Bandung serta proses penetapan pada Panitia Teknik yang melibatkan para narasumber dan pakar dari berbagai instansi terkait.

Pedoman ini mengacu pada guidelines "*Prefabricated Vertical Drains*" (FHWA / RD-86 / 168) dan standar serta pedoman terkait lainnya seperti dijelaskan dalam bab 2 Acuan normatif.

Pedoman ini menguraikan prinsip-prinsip desain dan konstruksi pita drain vertikal prefabrikasi (PDVP) atau drain sumbu untuk konstruksi bangunan air dan bendungan urugan atau tanggul. Prinsip-prinsip tersebut mencakup pembahasan tentang pengarahannya dan kriteria penggunaan PDVP dalam desain bangunan air (bendungan urugan) dan evaluasi desain aplikasi bangunan yang mengalami prakompresi; informasi tentang jenis dan karakteristik PDVP serta parameter tanah; interpretasi tentang kondisi dan cara pemasangan dan desain PDVP; petunjuk praktis dalam evaluasi, desain, dan konstruksi serta pengawasan dan pertimbangan biaya bangunan yang menggunakan PDVP.

Daftar isi

Prakata	i
Daftar isi	ii
Pendahuluan	iv
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif.....	1
3 Istilah dan definisi	2
4 Pertimbangan umum	3
4.1 Prinsip teknik prakompresi	3
4.2 Aplikasi PDVP	5
4.3 Pengalaman aplikasi PDVP.....	6
4.4 Karakteristik PDVP	8
5 Pertimbangan desain drain.....	10
5.1 Tujuan	10
5.2 Persamaan untuk desain.....	12
5.3 Kondisi disederhanakan	13
5.4 Kasus umum.....	15
6 Evaluasi parameter desain	19
6.1 Kelas proyek	19
6.2 Sifat-sifat propertis tanah (c_h, k_h, k_s)	20
6.3 Sifat-sifat propertis drain (d_w, q_w).....	22
6.4 Zona tanah terganggu (d_s).....	24
6.5 Zona pengaruh drain (D)	26
7 Pemilihan dan desain drain	27
7.1 Tinjauan umum.....	27
7.2 Pemilihan jenis PDVP.....	28
7.3 Pertimbangan desain lainnya	32
7.4 Panjang dan jarak antara drain	33
7.5 Selimut drain horizontal	35
7.6 Prosedur desain drain	36
7.7 Contoh desain	37
7.8 Spesifikasi	37
8 Konstruksi pemasangan drain	38
8.1 Pendahuluan	38
8.2 Persiapan lapangan.....	38
8.3 Alat pemasangan drain.....	39
8.4 Prosedur pemasangan drain	40
8.5 Interaksi kontraktor	42
9 Pemantauan konstruksi drain	43
9.1 Pendahuluan	43
9.2 Desain secara umum.....	43
9.3 Persiapan lapangan.....	43
9.4 Material dan peralatan pemasangan drain	44
9.5 Pelaksanaan pemasangan drain	44
9.6 Selimut drain.....	45

9.7 Instrumentasi geoteknik.....	45
10 Pertimbangan biaya konstruksi drain	46
10.1 Pendahuluan	46
10.2 Faktor-faktor biaya.....	46
Lampiran A Persamaan desain	48
Lampiran B Pengaruh gangguan tanah.....	51
Lampiran C Contoh dan bagan alir desain	53
Lampiran D Spesifikasi.....	59
Lampiran E Daftar nama dan lembaga.....	69
Bibliografi.....	70

Pendahuluan

Dengan meningkatnya penggunaan pita drain vertikal prefabrikasi (PDVP) atau drain sumbu pada proyek-proyek pembangunan bangunan air (bendungan urugan) yang dibangun di atas fondasi tanah lunak, maka sudah sepantasnya diperlukan pedoman teknik desain dan konstruksi untuk membantu para pendesain dan pelaksana. Penelitian tentang hal tersebut telah dikembangkan oleh *Federal Highway Administration (FHWA)*. Tujuan utama pedoman ini adalah untuk memberikan penjelasan rangkuman interpretasi konsultan tentang kondisi dan teknik pemasangan dan desain drain PDVP, serta membekali pendesain dengan petunjuk praktis dalam evaluasi, desain, dan konstruksi proyek-proyek yang menggunakan drain PDVP.

Pedoman ini dimaksudkan untuk menyediakan kriteria dan mengarahkan para pendesain dalam mengevaluasi kemampuan aplikasi drain PDVP untuk suatu proyek dan memberikan pendekatan untuk desain komponen drain PDVP dari suatu proyek yang mengalami prakompresi. Pedoman ini menjelaskan hal-hal sebagai berikut.

- 1) Informasi latar belakang tentang maksud dan tujuan, pengalaman aplikasi, jenis dan karakteristik PDVP
- 2) Persamaan desain dan solusinya dalam bentuk nomograf
- 3) Penjelasan tentang parameter tanah dan metode evaluasi
- 4) Prosedur desain dan contoh desain
- 5) Spesifikasi pedoman
- 6) Penjelasan tentang pemasangan drain, pengaruh pemasangan pada sifat-sifat tanah, pengawasan konstruksi, evaluasi kinerja, dan pertimbangan biaya

Pedoman desain ini dimaksudkan untuk aplikasi penggunaan PDVP yang berlaku di pasaran. Produk yang berlaku dan beredar di pasaran ditunjukkan dalam bentuk grup dengan sebuah inti dari bahan plastik yang menerus atau dijepit dan dibungkus dengan bahan geotekstil. Rasio aspek antara lebar dan tebal secara tipikal adalah 25-30, dan luas permukaan rembesan ke dalam drain biasanya sebesar 0,2-0,3 in² (150-200 mm²) per panjang 0,4 in (1 mm). Pedoman ini diperuntukkan bagi penggunaan PDVP, tetapi dapat juga diaplikasikan untuk jenis drain vertikal lainnya.

Pedoman desain ini dimaksudkan untuk dapat digunakan oleh para teknisi ahli yang mempunyai bekal dasar-dasar mekanika tanah pada aplikasi PDVP untuk lapisan tanah dasar bangunan air yang mengalami prakompresi. Untuk pertimbangan faktor-faktor penting lain yang meliputi: evaluasi stabilitas, perhitungan penurunan batas, prosedur uji pelaksanaan khusus di lapangan atau uji laboratorium, pemilihan sifat propertis tanah, penentuan sifat prakompresi yang diinginkan dan penggunaan instrumentasi lapangan yang memadai, maka para tenaga ahli dianjurkan mengacu pada referensi lainnya. Desain sistem drain PDVP tergantung pada pemilihan jenis drain, jarak, panjang, dan metode pemasangan untuk memperoleh derajat konsolidasi yang diinginkan dalam kurun waktu tertentu. Berdasarkan pada sistem drain PDVP yang dipilih, maka dapat dievaluasi faktor-faktor yang relatif ekonomis dan sesuai dengan desain atau pola prakompresi untuk mencapai desain bangunan air yang mengalami prakompresi secara memadai.

Pedoman ini diharapkan akan bermanfaat bagi semua pihak, terutama yang berkecimpung dalam pembangunan bangunan air (bendungan urugan) yang menggunakan drain PDVP.

Desain dan konstruksi pita drain vertikal prefabrikasi (PDVP)

1 Ruang lingkup

Pedoman ini menjelaskan prinsip-prinsip tentang penggunaan pita drain vertikal prefabrikasi (PDVP) atau drain sumbu untuk konstruksi bangunan (bendungan urugan atau tanah timbunan), yang terdiri atas :

- 1) pengarahannya dan kriteria penggunaan PDVP dalam desain bangunan, dan evaluasi desain aplikasi pada bangunan yang mengalami prakompresi;
- 2) informasi tentang jenis dan karakteristik PDVP, serta pembahasan parameter tanah;
- 3) interpretasi tentang kondisi, cara pemasangan, dan desain PDVP;
- 4) petunjuk praktis dalam evaluasi, desain dan konstruksi, pengawasan, dan pertimbangan biaya bangunan yang menggunakan PDVP.

2 Acuan normatif

- SNI 03-1964-1990 : Metode pengujian berat jenis tanah
- SNI 03-1965-1990 : Metode pengujian kadar air tanah
- SNI 03-1966-1990 : Metode pengujian batas plastis
- SNI 03-1967-1990 : Metode pengujian batas cair dengan alat *Casagrande*
- SNI 03-2435-1991 : Metode pengujian laboratorium tentang kelulusan air untuk contoh tanah
- SNI 03-2436-1991 : Metode pencatatan dan interpretasi hasil pengeboran inti
- SNI 03-2455-1991 : Metode pengujian triaxial A
- SNI 06-2487-1991 : Metode pengujian lapangan kekuatan geser baling
- SNI 03-2812-1992 : Metode pengujian konsolidasi tanah satu dimensi
- SNI 03-2813-1992 : Metode pengujian geser langsung tanah terkonsolidasi dengan drain
- SNI 03-2827-1992 : Metode pengujian lapangan dengan sondir
- SNI 03-2849-1992 : Tata cara pemetaan geologi teknik lapangan
- SNI 03-3420-1994 : Metode pengujian geser langsung tanah tidak terkonsolidasi tanpa drain
- SNI 03-3422-1994 : Metode pengujian batas susut tanah
- SNI 03-3423-1994 : Metode pengujian analisis ukuran butir dengan alat hidrometer
- SNI 03-3637-1994 : Metode pengujian berat isi tanah berbutir halus dengan cetakan benda uji
- SNI 03-3638-1994 : Metode pengujian kuat tekan bebas tanah kohesif
- SNI 03-4153-1996 : Metode pengujian penetrasi SPT
- SNI 03-4813-1998 : Metode pengujian triaxial untuk tanah kohesif dalam keadaan tanpa konsolidasi dan drain

- ASTM D-2217-85 : *Wet preparation of soil samples for particle size analysis and determination of soil constants*
- ASTM D 2487-90 : *Classification of soils for engineering purposes*
- ASTM D-2488-90 : *Description and identification of soils (visual-manual procedure)*

3 Istilah dan definisi

3.1 Prakompresi adalah proses pembebanan tanah fondasi akibat tegangan tanah vertikal yang telah bekerja sebelumnya terhadap pengurangan atau penambahan beban konstruksi permanen pada akhir pelaksanaan.

3.2 Beban tambahan adalah sisa beban dari beban sementara yang bekerja melebihi beban akhir dapat berfungsi untuk mempercepat pelaksanaan prakompresi, dan mengurangi penurunan karena proses kompresi sekunder.

3.3 Penurunan awal adalah penurunan yang terjadi selama beban bekerja akibat adanya tekanan air pori berlebih dalam lapisan tanah dasar. Jika lapisan tanah relatif tebal dan permeabilitasnya rendah, tekanan air pori eksess tidak terdrainase. Tanah akan mengalami deformasi akibat tegangan geser, tetapi tidak terjadi perubahan volume sehingga kompresi vertikal akan terjadi seiring dengan pengembangan lateral.

3.4 Penurunan konsolidasi primer adalah penurunan yang terjadi sejalan dengan waktu dan tekanan air pori berlebih dapat diabaikan karena adanya drainase, serta perubahan volume dan penurunan terjadi akibat tekanan air pori dan tegangan efektif tanah. Laju konsolidasi ini ditentukan oleh laju aliran air akibat gradien hidraulik yang tergantung pada karakteristik tanah dan batasan lokasi dan kontinuitas aliran drainase.

3.5 Penurunan kompresi sekunder adalah penurunan jangka panjang yang terjadi secara kontinu setelah tekanan air pori eksess diabaikan dan tegangan tanah efektif tetap bekerja. Perubahan volume dan peningkatan penurunan akibat drainase biasanya dinyatakan dalam hubungan linier antara penurunan dan logaritma waktu.

3.6 Pita drain vertikal prefabrikasi (PDVP) adalah drain berbentuk pita yang dibuat di pabrik dan dapat dipasang vertikal dengan suatu metode pemasangan tertentu serta mempunyai karakteristik fisik dan ukuran yang berlainan sesuai dengan produk pabrik. Penggunaan pita drain biasanya dilakukan bersama-sama dengan teknik prakompresi untuk memperpendek jalan aliran air dan mempercepat laju konsolidasi primer. Pita drain terdiri atas inti dan selimut.

3.7 Inti drain adalah inti yang terbuat dari plastik untuk mendukung lapisan filter dan memungkinkan jalan aliran air sepanjang drain. Jenis yang tipikal terdiri dari saluran aliran, pola tiang atau sejenis jala atau jaring.

3.8 Selimut drain adalah bagian drainase yang secara fisik merupakan pemisah saluran aliran inti dari tanah sekeliling yang berbutir halus dan filter untuk membatasi lolosnya tanah berbutir halus ke bagian inti.

3.9 Kapasitas aliran air drain (qw) adalah salah satu sifat propertis drain yang diperlukan untuk analisis faktor pengaruh drain walaupun kurang signifikan dibanding dengan faktor jarak dan gangguan tanah; kadang-kadang ditentukan oleh pabrik pembuat. Kapasitas aliran vertikal dipengaruhi oleh kompresi vertikal pada bentuk drain.

3.10 Diameter ekivalen (d_w) adalah salah satu sifat propertis drainase sebagai diameter drainase lingkaran yang mempunyai kinerja drainase radial secara teoritis. Untuk kondisi disederhanakan d_w dapat diasumsi tidak terpengaruh kondisi bawah permukaan, akibat pemasangan, dan sifat tanah sehingga hanya merupakan fungsi dari bentuk dan geometri drainase.

3.11 Zona tanah terganggu (d_s) adalah zona tanah di sekitar drain yang mendapat gangguan karena pemasangan drain yaitu dengan adanya pemasangan dan pengangkatan mandrel untuk melindungi pita drain sehingga terjadi pergeseran tanah disertai dengan peningkatan tegangan total dan tekanan air pori.

3.12 Zona pengaruh drain (D) adalah variabel dari faktor jarak drain untuk kondisi disederhanakan, yang akan mempengaruhi waktu untuk mencapai konsolidasi tertentu sebagai fungsi dari diameter pangkat dua dari zona pengaruh drain D .

3.13 Mandrel adalah suatu bentuk pelindung drain terhadap gangguan tanah dan pengaruh drain, yang harus mempunyai bentuk dan luas potongan melintang tertentu dan ujungnya dipasang angker, serta kekakuan yang memadai untuk mengarahkan drain pada posisi vertikal.

3.14 Angker adalah bentuk pelindung drain yang ditempatkan pada dasar tip dari pita drain vertikal yang berupa batang atau pipa atau pelat yang dibuat secara khusus, dan mempunyai ukuran, bentuk, dan kekakuan untuk mengatasi gangguan sekeliling mandrel serta disusun sesuai keperluan untuk menangani gangguan tanah.

4 Pertimbangan umum

4.1 Prinsip teknik prakompresi

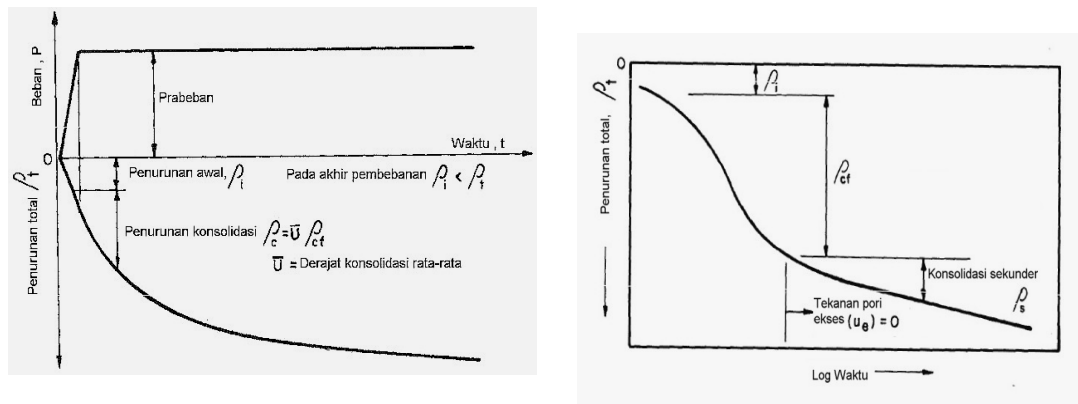
Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam teknik prakompresi adalah sebagai berikut.

- 1) Teknik prakompresi adalah suatu proses pembebanan pada fondasi tanah lunak yang menimbulkan tegangan vertikal sebelum urugan permanen dibangun.
- 2) Jika beban sementara (beban prakompresi) yang bekerja sama dengan beban urugan permanen, maka beban sisanya merupakan beban tambahan (*surcharge*).
- 3) Teknik prakompresi digunakan untuk mengurangi atau menghilangkan sama sekali penurunan primer waktu urugan permanen dibangun. Dengan adanya beban tambahan, maka akan mempercepat pelaksanaan prakompresi dan mengurangi penurunan karena proses kompresi sekunder.
- 4) Tiga jenis penurunan yang harus diperhitungkan adalah yang berikut.
 - a) Penurunan awal atau elastik akan terjadi selama beban bekerja dan diikuti dengan peningkatan tekanan air pori eksese dalam lapisan tanah dasar. Jika lapisan tanah relatif tebal dan kelulusan airnya rendah, maka tekanan air pori eksese pada awalnya takterdrainase. Tanah fondasi akan mengalami deformasi karena adanya tegangan geser dengan ketentuan tidak terjadi perubahan volume sehingga kompresi vertikal akan terjadi seiring dengan pengembangan lateral.
 - b) Penurunan konsolidasi primer berlangsung sejalan dengan waktu dan terjadi sebagai akibat adanya disipasi air hingga tekanan air pori eksese mengecil dan dapat diabaikan. Perubahan volume dan penurunan terjadi akibat pemindahan tegangan

tanah dari air (tekanan air pori) ke massa tanah (tegangan tanah efektif). Laju konsolidasi primer ditentukan oleh laju aliran air keluar dari tanah akibat pengaruh gradien hidraulik. Laju aliran drainase tergantung baik pada karakteristik perubahan volume dan kelulusan air dari tanah maupun kondisi batas dari lapisan drainase.

- c) Penurunan akibat kompresi sekunder adalah penurunan jangka panjang yang berlangsung secara kontinyu, yang terjadi setelah tekanan air pori eksek mencapai nilai yang dapat diabaikan dan tegangan tanah efektif bekerja secara tetap. Perubahan volume selanjutnya dan peningkatan penurunan yang terjadi akibat rayapan terdrainase seringkali dinyatakan dalam hubungan linier antara penurunan dan logaritma waktu.

Untuk keperluan analisis biasanya ketiga komponen itu diasumsikan terjadi secara terpisah sesuai urutan tersebut diatas. Berdasarkan pengalaman, perilaku deformasi dari tanah fondasi lunak mengalami pembebanan lebih kompleks dibanding asumsi penyederhanaan ini. Dalam hal tertentu besaran dari salah satu komponen atau lebih bukan merupakan faktor yang menentukan. Akan tetapi, asumsi penyederhanaan ini cukup beralasan dan memadai untuk desain. Gambar 1 menunjukkan hubungan secara umum dari ketiga komponen penurunan dengan waktu.



Gambar 1 Jenis-jenis penurunan yang umum

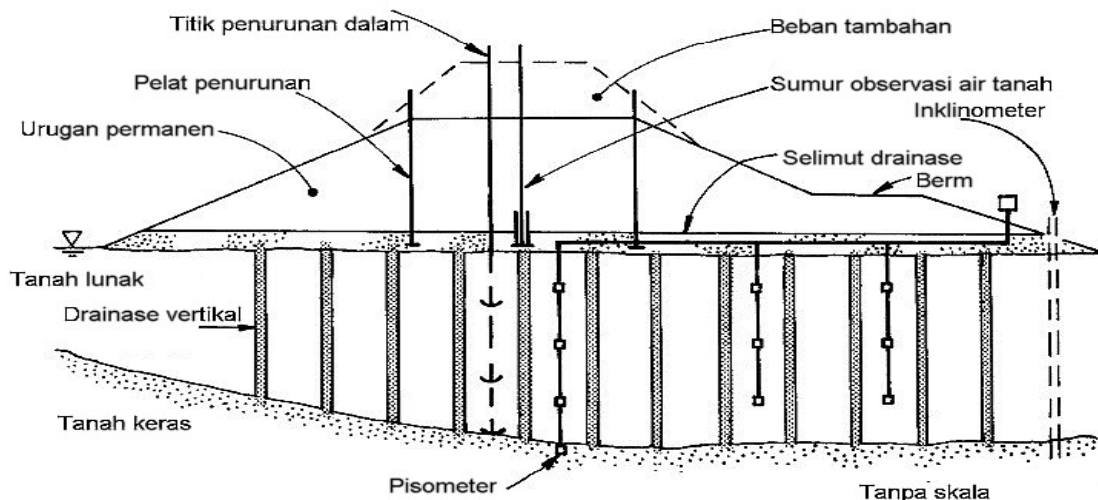
- 5) Besaran dan manfaat dari tiap-tiap jenis penurunan tergantung pada banyak faktor, antara lain : jenis tanah dan karakteristik kompresibilitas, riwayat tegangan, besaran dan laju pembebanan, dan hubungan antara luas pembebanan dan ketebalan lapisan tanah yang mudah mampat. Proyek-proyek bangunan (bendungan) yang mengalami prakompresi pada umumnya dapat dinyatakan sebagai berikut [13].
- Penurunan awal biasanya jarang terjadi dalam praktek, kecuali untuk pembebanan pada lapisan tanah organik atau plastis yang tebal dan kestabilannya sangat rawan, disertai deformasi geser yang besar berlangsung menerus karena adanya rayapan tak terdrainase [7]. Penurunan awal yang terjadi selama pelaksanaan pembebanan secara bertahap umumnya tidak mempengaruhi kinerja urugan permanen karena urugan tambahan dapat ditempatkan untuk menggantikan penurunan yang telah terjadi.
 - Penurunan akibat konsolidasi primer pada umumnya lebih signifikan dan untuk beberapa proyek bangunan yang mengalami prakompresi merupakan satu-satunya jenis penurunan yang harus diperhitungkan dalam desain pembebanan awal.
 - Penurunan akibat kompresi sekunder biasanya mempunyai arti penting untuk lapisan tanah dengan kadar organik tinggi (khususnya gambut) dan hal itu berlangsung bila terjadi konsolidasi primer yang relatif cepat dibanding dengan umur desain bangunan.

- 6) Jika tanah fondasi relatif lemah terhadap tegangan geser akibat beban urugan, desain prakompresi harus diperhitungkan terhadap kestabilan fondasi dan urugan secara menyeluruh. Tindakan khusus misalnya pelandaian lereng atau penambahan berm kaki dimungkinkan sesuai dengan laju pengurugan terkontrol untuk meningkatkan kekuatan geser akibat konsolidasi. Hal ini akan memadai bila kondisi bangunan telah cukup stabil. Penilaian keamanan terhadap ketidakstabilan juga di luar lingkup pedoman ini (lihat referensi Ladd [13]).

4.2 Aplikasi PDVP

Dalam menggunakan PDVP perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut.

- 1) PDVP adalah jalan atau alur salir (drain) berbentuk pita vertikal yang dibuat di pabrik, yang dapat dipasang dengan salah satu metode pemasangan dan mempunyai karakteristik fisik yang berlainan. Penggunaan PDVP bersama-sama dengan prakompresi bertujuan untuk memperpendek jalan aliran air pori sehingga akan mempercepat laju konsolidasi primer. Gambar 2 menunjukkan pemasangan pita drain vertikal prefabrikasi tipikal untuk tanggul penutup (bisa juga untuk tanggul jalan raya)..
- 2) Apabila digunakan bersamaan dengan proses prakompresi, keuntungan utama dari sistem pita drain vertikal prefabrikasi (misal untuk mempercepat konsolidasi) adalah :
 - a) mengurangi waktu keseluruhan yang diperlukan untuk proses konsolidasi primer karena pembebanan awal;
 - b) mengurangi beban tambahan yang diperlukan untuk memperoleh beban prakompresi yang diinginkan dalam waktu tertentu;
 - c) meningkatkan kekuatan geser tanah akibat proses konsolidasi dari tanah lunak jika stabilitas diperhitungkan.



Gambar 2 Pemasangan drain PDVP tipikal untuk tanggul penutup

- 3) Pita drain vertikal prefabrikasi dapat juga digunakan sebagai pipa pelepas tekanan (*pressure relief well*) untuk mengurangi tekanan air pori karena rembesan di bawah lereng alami dan memperbaiki efektivitas lapisan drainase alami di bawah daerah yang dibebani.
- 4) Pita drain vertikal prefabrikasi dapat dikelompokkan ke dalam salah satu dari tiga jenis umum yaitu drain pasir, drain pasir bentuk kotak, dan pita drain vertikal prefabrikasi (PDVP). Masing-masing dari jenis umum ini selanjutnya dapat dibagi ke dalam subjenis

seperti diperlihatkan dalam Tabel 1. Lingkup pedoman ini terbatas untuk pita drain vertikal prefabrikasi, namun dapat juga digunakan sebagai referensi untuk drain pasir dan jenis umum drain vertikal lainnya bila memadai.

- 5) Keterbatasan penggunaan pita drain vertikal prefabrikasi tergantung pada profil pelapisan tanah. Pada lapisan tanah fondasi yang mudah mengalami kompresi terhampar (dilapisi) dengan urugan padat atau pasir, lempung yang sangat kaku, pemasangan drain memerlukan pengeboran awal (*predrilling*), pemancaran (*jetting*), dan atau penggunaan alat pemukul getar, atau mungkin tidak dapat dikerjakan. Dalam hal ini, sebaiknya dilakukan penggalian awal secara umum. Bila tanah fondasi bersifat sensitif atau stabilitasnya diragukan, maka gangguan tanah karena pemasangan pita drain vertikal tidak dapat ditoleransi. Karena itu, lebih baik dilakukan pemasangan drain pasir dengan metode tanpa geseran atau dengan cara perbaikan tanah alternatif. Berdasarkan faktor-faktor sebelumnya, proses konsolidasi dengan PDVP dapat berlangsung dalam kondisi umum untuk proyek-proyek bangunan yang menggunakan PDVP. Penggunaan pita drain vertikal prefabrikasi dapat diaplikasikan untuk tanah :
- dengan kompressibilitas tinggi sampai sedang (moderat) yang mengalami kompresi bila mendapat pembebanan statik;
 - dengan sifat kompresi sangat lamban bila mengalami kondisi drain alami karena permeabilitas tanah yang rendah dan jarak antara batas-batas drain alami yang relatif besar;
 - dengan sifat kohesif, tanah berbutir halus baik organik maupun inorganik, seperti lempung dan lanau inorganik dengan kepekaan rendah sampai sedang, lempung dan lanau organik, deposit lempung berlapis dan gambut, tetapi tidak memadai untuk tanah butiran atau yang sangat lulus air.

Tabel 1 Jenis-jenis umum drain vertikal (setelah [13])

Jenis umum	Subtipe	Keterangan
Drain pasir vertikal	Mandrel ujung tertutup	Pergeseran maksimum
	Tipe auger sekrup	Pengalaman terbatas
	Tipe auger lubang bertangga menerus	Pergeseran terbatas
	Pancaran internal (<i>Internal jetting</i>)	Sukar dikontrol
	Pancaran berputar (<i>rotary jet</i>)	Mungkin tak ada pergeseran
	<i>Dutch jet bailer</i>	Mungkin tak ada pergeseran
Drain vertikal tenunan terapis (<i>fabric encased sand drain</i>)	<i>Sandwick, pack drain, Fabridrain</i>	Pergeseran penuh dengan volume relatif kecil
Pita drain vertikal prefabrikasi	<i>Drain cardboard</i>	Pergeseran penuh untuk volume yang kecil
	Tenunan drain dilapisi plastik produk pabrik (<i>fabric covered plastic drain</i>)	Pergeseran penuh untuk volume yang kecil
	Drain plastik tanpa selubung (<i>plastic drain without jacket</i>)	Pergeseran penuh untuk volume yang kecil

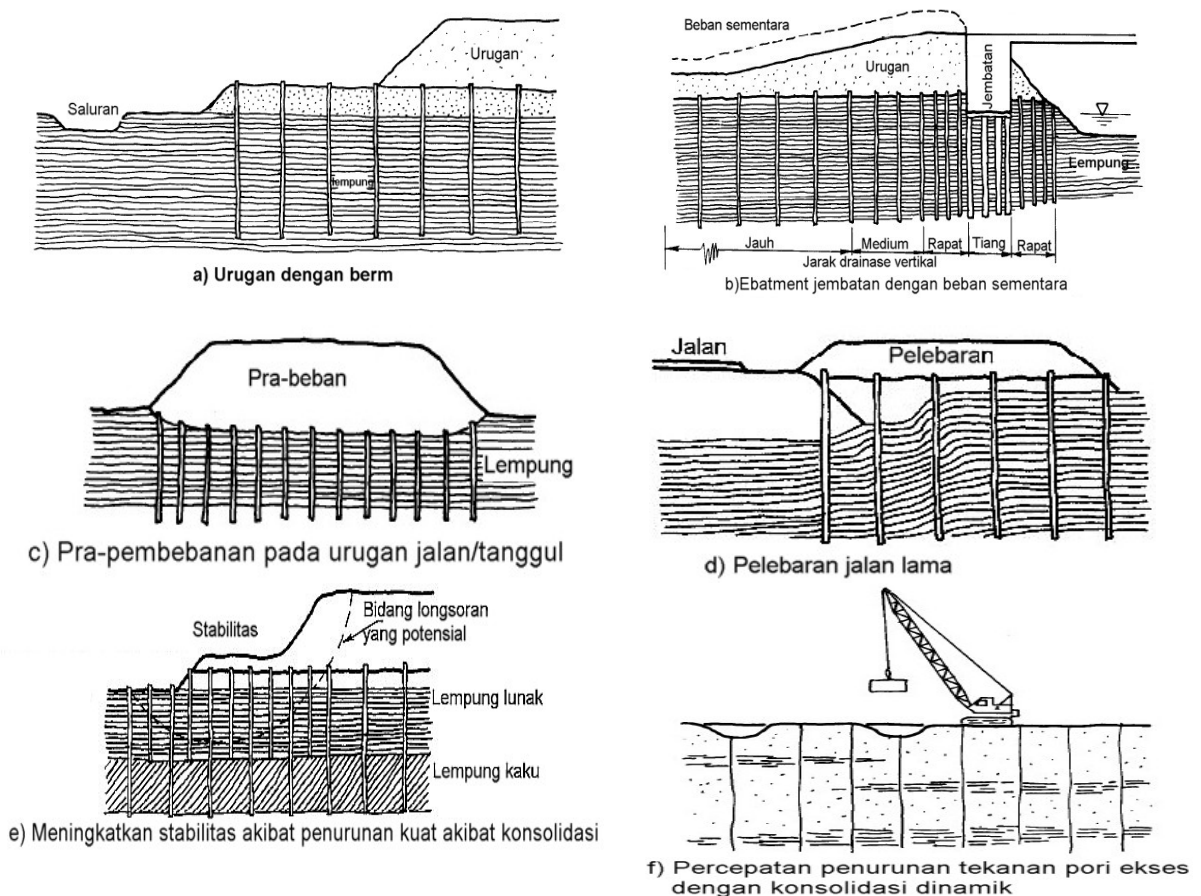
4.3 Pengalaman aplikasi PDVP

Informasi tentang pengalaman aplikasi PDVP dijelaskan sebagai berikut.

- Pada awalnya aplikasi drain vertikal di berbagai negara dimaksudkan untuk mempercepat proses konsolidasi yang terjadi di bawah tanggul jalan raya dengan menggunakan drain pasir vertikal. Penggunaan hak paten Amerika Serikat untuk sistem drain pasir telah diakui sejak tahun 1926. Divisi Jalan Raya California, Departemen Reset dan Bahan telah melaksanakan uji lapangan dan laboratorium pada kinerja drain pasir vertikal dalam tahun 1933. Sejak itu drain pasir telah berhasil digunakan pada sejumlah besar proyek-proyek jalan raya yang melintasi negara.
- Meskipun keberhasilan drain pasir telah terbukti dapat mempercepat konsolidasi, tetapi metode ini tidak mempertimbangkan lingkungan dan kinerja menurut laporan di Eropa.

Pada akhir tahun 1930 *Walter Kjellman* dan Direktur Institut Geoteknik Swedia telah mengembangkan drain vertikal berbentuk pita prefabrikasi, yang terbuat dari inti kertas karton dan selubung filter kertas yang dipasang ke dalam tanah dengan alat jahit mekanik. Drain jenis *Kjellman* yang mempunyai lebar 3,94 in (100 mm) dan tebal 0,16 in (4 mm), terbukti ekonomis dan telah memperhitungkan lingkungan dibanding dengan drain pasir, dan telah digunakan secara luas di Eropa dan Jepang selama tahun 1940-an.

- 3) Pengembangan bahan plastik selama dan setelah Perang Dunia II telah mendorong pengembangan penggunaan variasi pita drain vertikal dari plastik dengan penampang berbentuk segi empat (bentuk pita) ataupun lingkaran. Hingga kini telah berlaku lebih dari 50 jenis PDVP di seluruh dunia.



Gambar 3 Beberapa aplikasi tipikal penggunaan PDVP

- 4) Penggunaan PDVP telah menggantikan fungsi drain pasir vertikal secara luas. Tabel 2 menunjukkan beberapa keuntungan penggunaan PDVP dibandingkan dengan drain pasir konvensional. Keuntungan utama PDVP adalah daya saing ekonomisnya, gangguan pada masa tanah lebih kecil dibandingkan dengan pergeseran pada drain pasir dan pemasangannya lebih cepat dan sederhana. Selain itu, pemasangannya dapat juga dilakukan dalam arah tidak vertikal, tetapi tidak dibahas dalam pedoman ini.
- 5) PDVP juga dapat digunakan untuk perubahan kondisi lapangan yang biasa dijumpai. Penggunaan PDVP secara tipikal pada beberapa proyek diperlihatkan pada Gambar 3.

4.4 Karakteristik PDVP

PDVP mempunyai karakteristik sebagai berikut.

- 1) Mampu dipasang secara vertikal ke dalam lapisan tanah dasar yang kompresif di lapangan.
- 2) Mampu mengeluarkan air-pori dalam tanah untuk merembes ke dalam drain.
- 3) Mampu memindahkan air-pori yang terkumpul naik dan turun sepanjang drain.

Drain vertikal prefabrikasi yang paling umum digunakan di berbagai negara adalah bentuk pita dengan penampang segi empat, yang terdiri dari lembaran geotextil sintetik yang mengelilingi inti plastik. Lembaran ini biasanya terbuat dari geotextil *polypropylene* atau *polyester non-woven* yang berlaku di pasaran.

Tabel 2 Beberapa keuntungan secara teknik dari PDVP dibanding dengan drain pasir (setelah [13])

Jenis drain vertikal pasir	Keuntungan PDVP
Tipe pergeseran	<p>Gangguan pada tanah kohesif kecil selama pemasangan karena pergeseran mandrel dan tip kecil akibat dorongan statik.</p> <p>Alat pemasangan biasanya lebih ringan, mudah ditempatkan di lapangan.</p> <p>Tidak memerlukan sumber air berlebih untuk penyemprotan.</p>
Tipe taktergeser	<p>Tidak memerlukan pengontrolan yang ketat, bahan buangan tidak perlu diproses karena tidak terlalu mencemari lingkungan.</p> <p>Kontrol dan inspeksi lapangan tidak kritis.</p> <p>Biaya cenderung ekonomis.</p> <p>Untuk drain, biaya urugan pasir, uji mutu dan lalu-lintas truk angkutan dapat diabaikan.</p> <p>Persyaratan inspeksi dan pekerjaan kontrol berkurang karena prosedur pemasangan sederhana.</p>
Kedua tipe di atas	<p>Asuransinya lebih besar dari drain vertikal yang menerus dan permanen; tidak ada diskontinuitas karena pemasangan.</p> <p>PDVP dapat bertahan terhadap pergeseran lateral atau tekukan bila mengalami pergerakan tanah secara horizontal atau vertikal.</p> <p>Laju pemasangan lebih cepat.</p> <p>Bila diperlukan konsolidasi yang sangat cepat, secara praktis drain PDVP dipasang pada jarak yang lebih dekat.</p> <p>PDVP dapat dipasang di bawah air dan sebaiknya dalam arah tidak vertikal.</p>

Inti plastik mempunyai dua fungsi utama yaitu: mendukung lembaran jaringan filter, dan menyediakan jalan aliran sepanjang drain. Secara tipikal, inti terdiri dari saluran-saluran aliran, sebuah pola tiang, atau sejenis jala. Bahan lapisan secara fisik merupakan penghalang untuk memisahkan saluran aliran inti dari sekeliling tanah berbutir halus dan filter untuk membatasi lolosnya tanah berbutir halus ke dalam inti.

Pada umumnya pita drain dibuat di pabrik dengan ukuran hampir sama dengan drain Kjellman, yaitu kira-kira dengan lebar 3,94 in (100 mm) dan tebal 0,16 in (4 mm). Ukuran drain dapat bervariasi dan ada pula pita drain vertikal prefabrikasi yang mempunyai lebar 11,8 in (300 mm).

Tabel 3 menunjukkan pita drain vertikal prefabrikasi tipikal yang tersedia di Amerika Serikat. Nama-nama produk dan informasi yang disajikan dalam tabel 3 dan di tempat lain dalam pedoman ini sebagian telah dilengkapi dengan referensi umum, sebagai bahan pertimbangan pemilihan jenis. Ternyata banyak juga produk drain yang ditunjukkan dalam Tabel 3 tidak dapat diterima oleh departemen jalan raya dan agen lainnya yang telah mengembangkan produk yang telah diakui. Jenis-jenis drain PDVP yang telah digunakan di luar Amerika adalah tabung kain terisi pasir bentuk lingkaran, inti pipa atau spiral logam atau plastik yang dilapisi kain, dan drain yang hanya terdiri dari baris-baris kain filter.

Fungsi utama dari bagian inti dan lapisan filter drain vertikal konvensional ditunjukkan dalam Tabel 4. Lapisan selimut dan inti harus bervariasi sesuai dengan fungsi yang saling berkaitan. Aplikasi dari setiap jenis drain yang ditentukan untuk proyek khusus tergantung pada kinerja dan fungsi drain di bawah kondisi tanah setempat dan kondisi pembebanan.

Untuk sebuah bangunan dengan kondisi tanah fondasi yang khusus, terdapat banyak faktor yang mempengaruhi kemampuan dan fungsi drain tersebut di atas. Faktor-faktor ini terdiri dari dua jenis yaitu: berkaitan dengan geometri drain, sifat material, dan hubungannya dengan karakteristik (kekuatan geser, permeabilitas, dan konsolidasi) tanah, dan yang berkaitan dengan metode dan peralatan pemasangan. Kriteria pemilihan jenis dan karakteristik pita drain vertikal prefabrikasi dibahas dalam subbab 7.2 dari bab Pemilihan dan desain drain. Pemasangan dibahas dalam subbab 8.3 dan 8.4 dari bab Konstruksi pemasangan drain.

Tabel 3 Drain PDVP tipikal yang tersedia di pasaran

Nama produk		Pabrik pembuat (M)/ Distributor Amerika (D)
<i>Alidrain, Alidrain S Hitek Flodrain</i>	<i>M</i> <i>D</i> <i>D</i>	<i>Burcan Industries, Ltd. and Burcan Manufacturing Inc. Suite 17, 111 Industrial Drive Whitby, Ontario, Canada L1N 5Z9.</i> <i>Drainage & Ground Improvement, Inc. P.O. Box 13222 Pittsburgh, Pennsylvania 15243 (412)257-2750.</i> <i>Geosystems, Inc. P.O.Box 618 Sterling, Virginia 22170 (703)430-5444.</i>
<i>Amerdrain 307 dan 407</i>	<i>M,D</i>	<i>American Wick Drain Co. 301 Warehouse Drive Matthew, North Carolina 28105, 1-800-438-9281.</i>
<i>Bando Drain</i>	<i>M</i> <i>D</i>	<i>Bando Chemical Company, Inc. Isobe, Japan.</i> <i>Fukuzawa & Associates, Inc. 6129 Queenridge Drive Rancho Palos Verdes, Ca 90274 (213)377-4735.</i>
<i>Castle Drain Board</i>	<i>M</i> <i>D</i>	<i>Kinjo Rubber Co., Ltd. Atobe Kitamomachi Yao City, Osaka, Japan.</i> <i>Harquim International Corporation 3112 Los Feliz Boulevard Los Angeles, California 90039 (213)669-8332.</i>
<i>Colbond CX-1000</i>	<i>M</i> <i>D</i>	<i>Colbond BV Velperweg 76 6824 BM Amhen, Holland.</i> <i>BASF Corporation Fibers Division Geomatrix Systems Enka, North Carolina 28728 (704)667-7713.</i>
<i>Desol</i>	<i>M</i> <i>D</i>	<i>Soletanche 6 rue de Watford F-92005 Nanterre, France.</i> <i>Recosol Incorporated Rosslyn Center 1700 North Moore Street Suite 2200 Arlington, Virginia 22209 (703)524-6503.</i>
<i>Mebradrain MD7007</i>	<i>M</i> <i>D</i>	<i>Geotechnics Holland, BV Baambrugse Zuwe 212 III Vinkeveen, Holland.</i> <i>L.B. Foster Company 415 Holiday Drive Pittsburgh, Pennsylvania 15220 (415)262-3900.</i>
<i>Sol Compact</i>	<i>M</i> <i>D</i>	<i>Rhone-Poulenc Paris, France.</i> <i>Moretrench American Corporation 100 Stickle Avenue Rockaway, New Jersey 07866 (201)627-2100.</i>
<i>Vinylex</i>	<i>M,D</i>	<i>Vinylex Corporation P.O. Box 7187 Knoxville, Tennessee 37921 (615)690-2211.</i>

Tabel 4 Fungsi inti dan selimut PDVP (setelah [13])

Fungsi selimut drain	Fungsi inti drain
1) Membentuk permukaan yang memberi kesempatan filter tanah alami untuk mencegah pergerakan partikel tanah pada waktu air mengalir ke dalam drain. 2) Menciptakan permukaan luar dari jalannya aliran drain internal. 3) Mencegah tertutupnya jalan aliran drain internal di bawah pengaruh tekanan tanah lateral.	1) Memberikan jalan aliran internal sepanjang drain. 2) Memberikan dukungan pada lapisan filter. 3) Mengatur bentuk dan konfigurasi drain. 4) Memberikan perlawanan baik pada peregangan memanjang maupun tekukan dari drain.

5 Pertimbangan desain drain

5.1 Tujuan

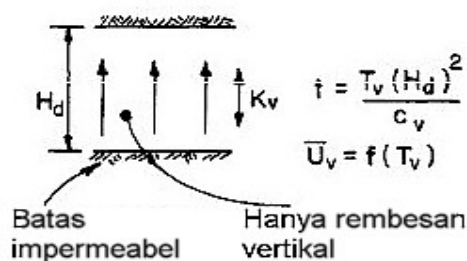
Tujuan utama prakompresi dengan atau tanpa PDVP adalah untuk mencapai derajat konsolidasi yang diinginkan dalam kurun waktu tertentu. Dalam desain prakompresi dengan PDVP terlebih dahulu perlu dilakukan evaluasi tentang sifat-sifat tanah dan drain (secara terpisah dan sebagai satu sistem) maupun akibat pemasangan.

Untuk konsolidasi satu dimensi tanpa drain horizontal, hanya diperhitungkan konsolidasi akibat rembesan (vertikal) satu dimensi pada batas-batas drain alami. Derajat konsolidasi dapat diukur dengan rasio antara penurunan pada setiap waktu dan penurunan primer total yang akan terjadi. Rasio ini berdasarkan pada \bar{U} yaitu derajat konsolidasi rata-rata.

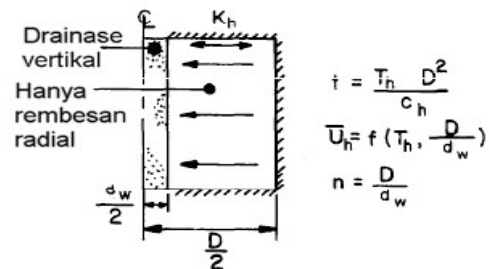
Konsolidasi satu dimensi yang dimaksud di sini adalah konsolidasi yang hanya terjadi karena drain vertikal saja, tetapi secara teoritis dapat juga terjadi karena drain horizontal atau radial. Tergantung pada kondisi batasannya konsolidasi dapat terjadi secara bersamaan karena drain horizontal dan vertikal. Derajat konsolidasi rata-rata \bar{U} dapat dihitung untuk drain vertikal, horizontal atau kombinasi tergantung pada situasi yang dipertimbangkan.

Untuk drain vertikal derajat konsolidasi rata-rata \bar{U} keseluruhan merupakan hasil dari gabungan drain horizontal (radial) dan vertikal. Akibat gabungan tersebut dapat dihitung derajat konsolidasi rata-rata sebagai berikut.

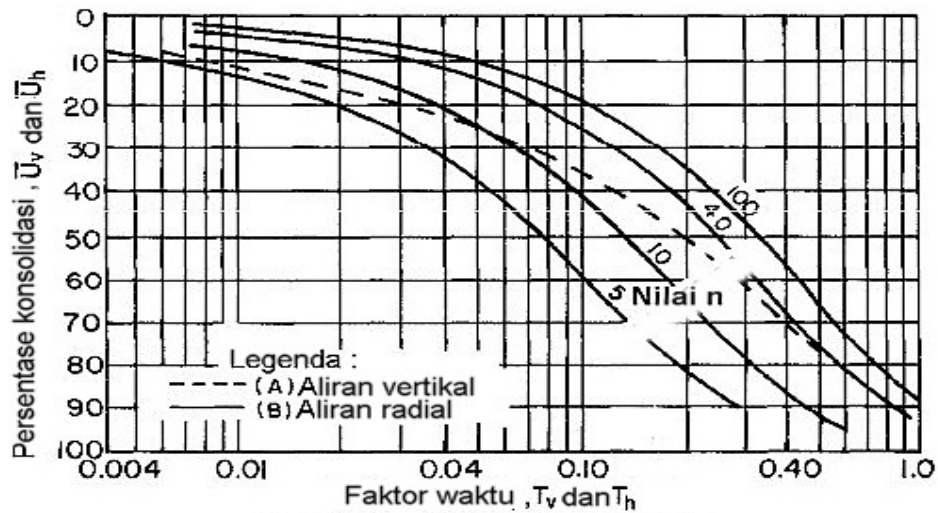
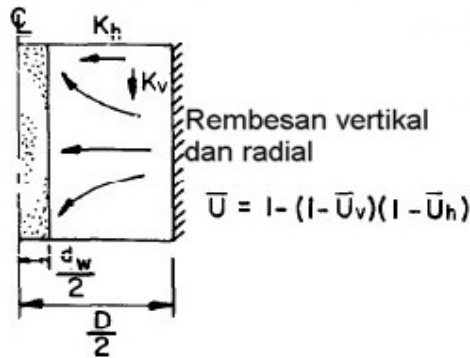
a) Hanya drainase vertikal



b) Hanya drainase horisontal



c) Kombinasi drainase vertikal dan radial



Kecepatan konsolidasi rata-rata:
 A) Untuk aliran vertikal terdrainase atas dan bawah dalam lapisan lempung tebal H
 B) Untuk aliran radial kearah sumur drainaise dalam silinder lempung dengan nilai n bervariasi (menurut BARRON 1948)

Gambar 4 Konsolidasi akibat kejadian drain vertikal dan radial

$$\bar{U} = 1 - (1 - \bar{U}_h)(1 - \bar{U}_v) \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

\bar{U} adalah derajat konsolidasi rata-rata keseluruhan.

\bar{U}_h adalah derajat konsolidasi rata-rata akibat drain horizontal (atau radial).

\bar{U}_v adalah derajat konsolidasi rata-rata akibat drain vertikal.

Pertimbangan untuk evaluasi \bar{U}_v telah banyak dibahas dalam literatur mekanika tanah, maka konsolidasi akibat drain vertikal saja tidak dibahas disini. Pedoman ini ditujukan pada perkiraan (penilaian) konsolidasi akibat drain radial dan akibat gabungan dari drain vertikal dan radial. Perbandingan antara konsolidasi satu dimensi akibat drain vertikal dan akibat drain radial ditunjukkan pada Gambar 4.

5.2 Persamaan untuk desain

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam desain dijelaskan sebagai berikut.

- 1) Dalam mendesain suatu sistem PDVP diperlukan suatu teori yang dapat memperhitungkan pengaruh disipasi tekanan air pori eksek dalam dua arah, yaitu arah radial dan arah vertikal. Teori semacam ini untuk pertama kali diperkenalkan oleh *Barron* (2) menggunakan drain vertikal pasir yang formulasinya secara rinci dapat dilihat pada Lampiran A dan didasarkan atas asumsi *Terzaghi*. Untuk solusi yang disederhanakan, *Barron* menganjurkan suatu persamaan hubungan antara waktu, diameter, dan jarak antara drain dan derajat konsolidasi rata-rata sebagai berikut.

$$t = (D^2 / 8c_h) F(n) \ln (1 / (1 - \bar{U}_h)) \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

t adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai \bar{U}_h (hari).

\bar{U}_h adalah derajat konsolidasi rata-rata akibat drain horizontal (-).

D adalah diameter silinder pengaruh drain vertikal (zona pengaruh drain) (m).

c_h adalah koefisien konsolidasi untuk arah horizontal ($m^2/hari$) .

$F(n)$ adalah faktor jarak drain (-) = $\ln(D/d) - 3/4$ (disederhanakan) (3)

d adalah diameter dari drain bentuk lingkaran (m).

Sebagai tambahan pada teori satu dimensi, persamaan ini selanjutnya menganggap bahwa :

- a) drain vertikal sendiri mempunyai permeabilitas tak terhingga (misalnya tidak ada pengaruh tahanan drain);
 - b) tidak ada faktor gangguan yang merugikan terhadap sifat-sifat konsolidasi dan permeabilitas tanah karena pemasangan drain (misalnya tidak ada gangguan).
- 2) Kemudian persamaan (2) dimodifikasi oleh *Hansbo* [9] untuk dapat digunakan pada pita drain vertikal dengan memperhitungkan pengaruh tahanan terhadap gangguan tanah dan faktor tahanan drain. Terminologi (istilah) dan asal mula *Hansbo* didasarkan pada analisis teoritis (lihat Lampiran A untuk rangkuman modifikasi teori *Hansbo*). Persamaan umum yang dihasilkan adalah yang berikut.

$$t = (D^2 / 8c_h) (F(n) + F_s + F_r) \ln (1 / (1 - \bar{U}_h)) \dots\dots\dots (4)$$

dengan :

t adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai \bar{U}_h (hari).

\bar{U}_h adalah derajat konsolidasi rata-rata pada kedalaman z akibat drain horizontal (-).

D adalah diameter pengaruh silinder PDVP (m).

c_h adalah koefisien konsolidasi untuk arah horizontal ($m^2/hari$).

$F(n)$ adalah faktor jarak drain (-) = $\ln (D/d_w) - 3/4$ (5)

d_w adalah diameter ekuivalen (m).

F_s adalah faktor pengaruh gangguan tanah (-) = $((k_h / k_s) - 1) \ln (d_s/d_w)$ (6)

k_h adalah koefisien permeabilitas dalam arah horizontal pada tanah tak terganggu ($m/hari$).

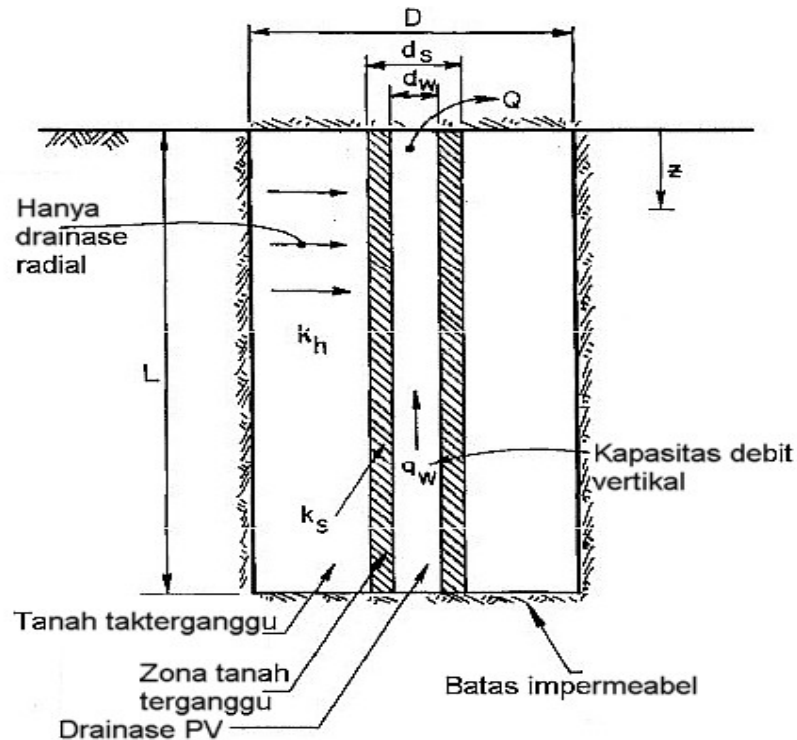
k_s adalah koefisien permeabilitas dalam arah horizontal pada tanah terganggu ($m/hari$).

d_s adalah diameter dari zona terganggu yang ideal sekeliling drain (m).

F_r adalah faktor pengaruh tahanan drain (-) = $\pi z (L - z) (k_h / q_w)$ (7)

- z adalah jarak di bawah permukaan atas dari lapisan tanah yang kompresif (m).
 L adalah panjang efektif drain bila hanya terjadi pada satu ujung; setengah dari panjang drain bila terjadi pada kedua ujungnya (m).
 q_w adalah kapasitas aliran air (*discharge*) drainase (pada gradien = 1,0) ($m^3/hari$).

Variabel-variabel dari persamaan (4) ditunjukkan pada gambar 5 dan dibahas dalam bagian berikut ini.



Gambar 5 Skema PDVP dengan pengaruh tahanan drain dan gangguan tanah

5.3 Kondisi disederhanakan

Persamaan yang digunakan dalam desain untuk kondisi disederhanakan adalah sebagai berikut.

- 1) Persamaan (4) dapat disederhanakan dengan mengabaikan pengaruh tahanan terhadap drain dan gangguan tanah (misalnya $F_s = F_r = 0$). Persamaan sederhana yang dihasilkan adalah ekivalen dengan solusi dari *Barron* yaitu persamaan (2):

$$t = (D^2 / 8c_h) F(n) \ln (1 / (1 - \bar{U}_h)).$$

Waktu untuk mencapai derajat konsolidasi disederhanakan menjadi sebuah fungsi dari sifat-sifat tanah (c_h), persyaratan desain (\bar{U}_h), dan variabel desain (D, d_w).

- 2) Teori konsolidasi dengan drainase radial hanya berlaku dengan asumsi bahwa tanah mengalami proses drainase dengan potongan melintang berbentuk lingkaran, dengan persamaan konsolidasi radial meliputi diameter drain d . Oleh karena itu, pita drain vertikal yang berbentuk persegi harus diganti dengan diameter ekivalen d_w , sebagai diameter drain lingkaran yang mempunyai kinerja drain radial yang sama secara teoritis.

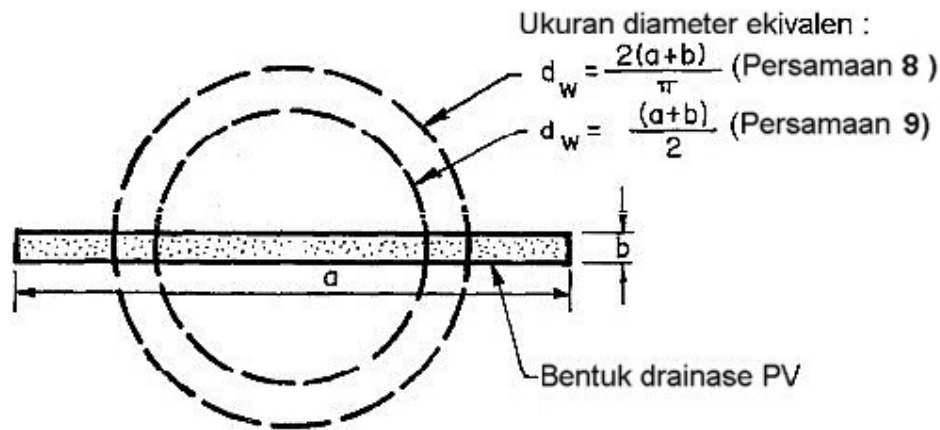
Untuk kondisi umum d_w dapat diasumsi tidak terpengaruh oleh kondisi bawah permukaan akibat pemasangan dan sifat-sifat tanah sehingga hanya merupakan fungsi dari bentuk (konfigurasi) dan geometri drain.

Untuk desain diameter ekivalen dapat dihitung sebagai berikut [9] :

$$d_w = (2(a+b) / \pi) \dots\dots\dots (8)$$

dengan :

- a adalah lebar dari potongan melintang pita drain vertikal (m)
- b adalah tebal dari potongan melintang pita drain vertikal (m) .



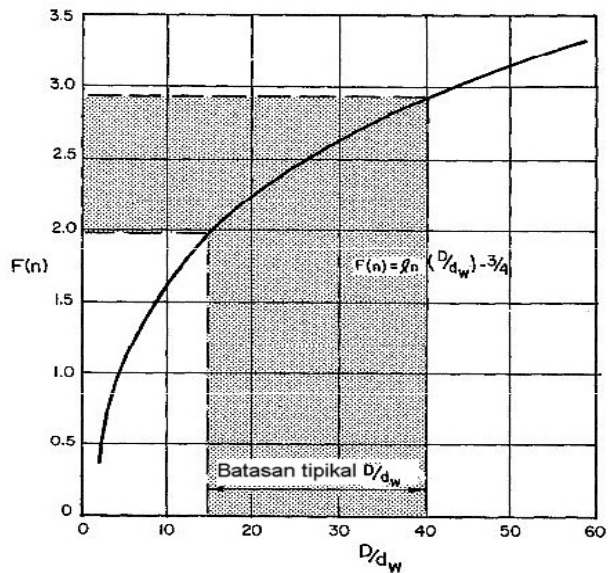
Gambar 6 Diameter ekivalen PDVP

Persamaan (8) didasarkan pada asumsi praktis bahwa pita drain vertikal dan lingkaran akan menghasilkan kinerja konsolidasi yang sama jika kelilingnya sama (lihat gambar 6). Persamaan (8) disusun dengan anggapan bahwa bagian inti tidak menahan rembesan secara signifikan ke dalam saluran drain. Pengaruh tahanan akan terjadi bila bukaan inti pada saluran drain sangat kecil dan/atau berjarak lebar, atau jika presentase yang tinggi dari luas selimut berada dalam bidang kontak langsung dengan inti.

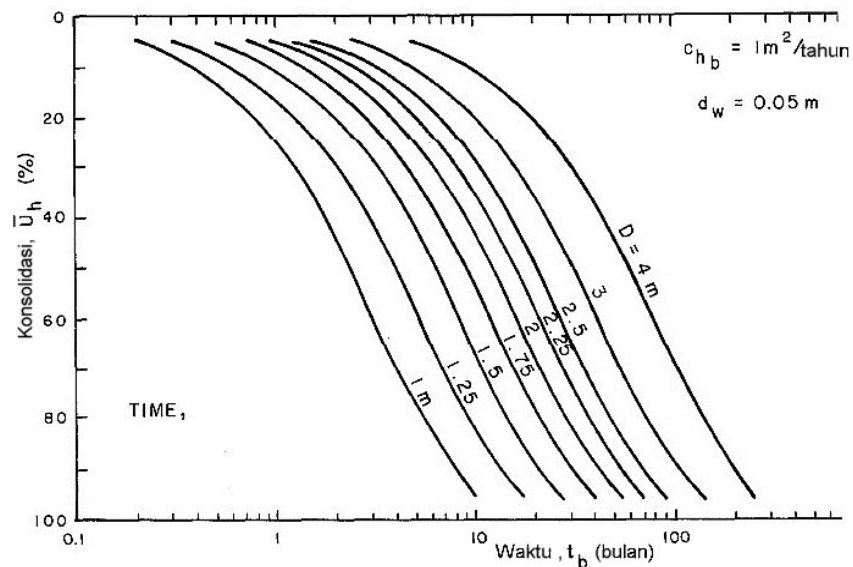
- 3) Berdasarkan penelitian, persamaan (8) dapat berlaku secara umum bila bagian dari luas keliling pita drain vertikal memungkinkan aliran air masuk (tidak tertahan oleh inti drain) melebihi 10 sampai 20 % dari keliling total. Untuk jenis PVDP pada umumnya hal ini mudah diperoleh. Rembesan dalam lapisan antara bukaan ke saluran drainase, secara teoritis akan mengurangi pengaruh tahanan dari inti. Dengan menggunakan studi elemen hingga persamaan (8) dimodifikasi menjadi persamaan (9) berikut.

$$d_w = (a+b) / 2 \dots\dots\dots (9)$$

Persamaan (9) akan lebih memadai untuk desain pita drain vertikal konvensional yang mempunyai rasio a/b kira-kira 50 atau lebih kecil; dan lebih praktis dalam menentukan diameter ekivalen pita drain vertikal.



Gambar 7 Hubungan antara $F(n)$ dan D/d_w untuk kondisi sederhana



Gambar 8 Contoh kurva desain untuk kondisi sederhana

- 4) Persamaan sederhana biasanya digunakan untuk desain awal dan bahkan untuk desain akhir. Persamaan desain yang memadai untuk desain tipikal dibahas berikut ini. Gambar 7 menunjukkan hubungan antara $F(n)$ dan D/d_w untuk kondisi sederhana. Dengan kisaran D/d_w tipikal, maka nilai $F(n)$ akan berkisar antara 2 sampai 3. Gambar 8 adalah serangkaian kurva desain untuk kondisi sederhana.

5.4 Kasus umum

Hal-hal umum yang perlu diperhatikan dalam desain drainase vertikal adalah yang berikut.

- 1) Pengaruh tahanan drain dan gangguan tanah sebaiknya diperhitungkan sesuai dengan kondisi bangunan proyek. Persamaan umum (4) meliputi faktor-faktor untuk pengaruh tahanan drain dan gangguan tanah adalah :

$$t = (D^2 / 8c_h)(F(n) + F_s + F_r) \ln (1 / (1 - \bar{U}_h)) \dots\dots\dots (4)$$

- 2) Asumsi kondisi yang digunakan untuk membuat model dengan faktor pengaruh terhadap gangguan tanah dan drain ditunjukkan pada Gambar 9.
- 3) Faktor-faktor pengaruh tahanan terhadap gangguan (F_s) dan drain (F_r) dalam persamaan (6) dan (7) merupakan faktor tambahan untuk memperlambat laju konsolidasi. Berdasarkan studi parametrik, secara teoritis pengaruh jarak drain ($F(n)$) selalu merupakan faktor penting, maka pengaruh tahanan gangguan tanah (F_s) mungkin sama atau lebih signifikan daripada $F(n)$, dan pengaruh tahanan drain (F_r) secara tipikal menjadi kurang penting.

5.4.1 Gangguan tanah

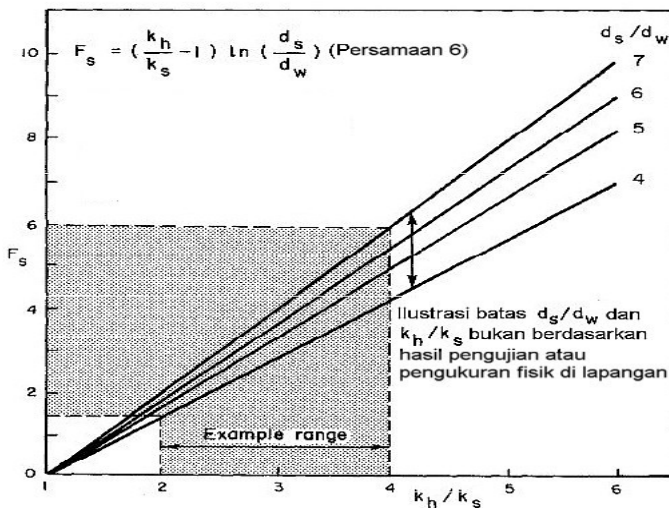
Aspek-aspek gangguan tanah yang perlu diperhatikan adalah yang berikut.

- 1) Untuk keadaan tanah dengan gangguan (tidak ada pengaruh tahanan drain), maka persamaan (4) dapat disederhanakan sebagai berikut :

$$t = (D^2 / 8c_h) (F(n) + F_s) \ln (1 / (1 - \bar{U}_h)) \dots\dots\dots (10)$$

dengan :

F_s adalah $((k_h / k_s) - 1) \ln (d_s / d_w)$ dari persamaan (6).



Gambar 9 Faktor gangguan (F_s) untuk parameter tipikal

- 2) Gambar 9 menunjukkan besaran relatif dari F_s untuk suatu kisaran nilai parameter tanah dan rasio d_s/d_w . Untuk nilai-nilai tipikal dari $F(n)$, maka rasio $F_s/F(n)$ mungkin berkisar antara 1 sampai 3. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh gangguan dapat mengurangi laju konsolidasi secara teoritis sebesar 3 kali dibanding dengan pengaruh jarak drain.
- 3) Studi analitik tentang gangguan tanah karena penempatan (sisipan) dan pengambilan kembali mandrel telah dikembangkan oleh *Barron* [2] dan *Hansbo*[9]. Rangkuman studi dan pola perkiraan pengaruh gangguan pemasangan disajikan dalam lampiran B. Dengan adanya pengembangan penelitian itu, maka diperoleh pendekatan pola perkiraan pengaruh gangguan tanah yang praktis atau dapat mengabaikan pengaruh itu secara simultan.

5.4.2 Pengaruh tahanan drain (tanpa gangguan)

Hal-hal yang perlu diperhitungkan dalam menentukan pengaruh tahanan drain adalah :

- 1) Untuk keadaan tanah dengan pengaruh tahanan drain (tidak ada gangguan), maka persamaan (4) disederhanakan menjadi :

$$t = (D^2 / 8c_h) (F(n) + F_r) \ln (1 / (1 - \bar{U}_h)) \dots\dots\dots (11)$$

dengan :

F_r adalah $\pi z (L - z) (k_h / q_w)$ dari persamaan (7)

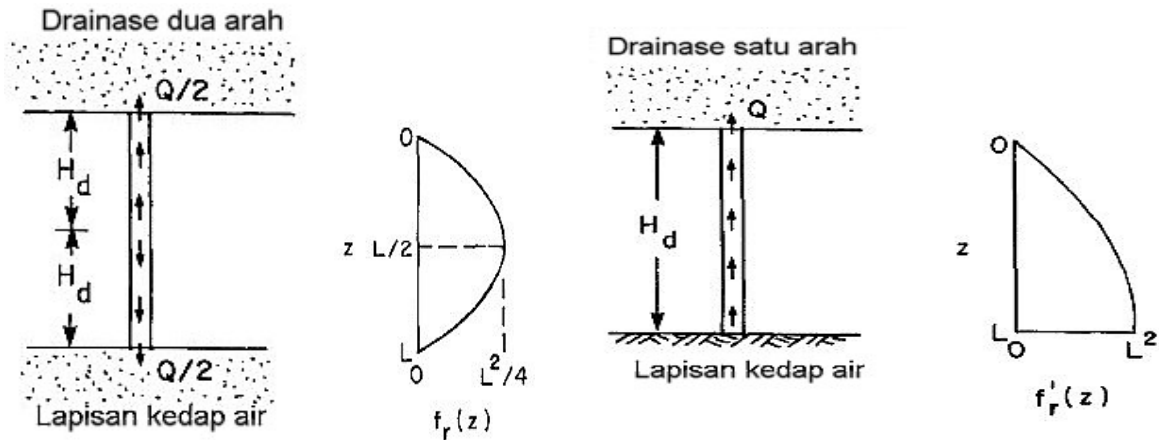
F_r' adalah nilai rata-rata F_r (lihat penjelasan berikut).

- 2) Dari persamaan (7) dan (11) dapat dilihat bahwa \bar{U}_h bervariasi sesuai dengan kedalaman jika terjadi pengaruh tahanan drain (misalnya F_r tidak sama dengan nol), tetapi merupakan konstanta dengan kedalaman. Sementara itu, bila tidak ada pengaruh tahanan drain maka $F_r = 0$. Jika harga rata-rata dari F_r (F_r') dimasukkan ke dalam persamaan (11), \bar{U}_h dapat dianggap sebagai derajat konsolidasi rata-rata untuk seluruh lapisan.

- 3) Dengan menggunakan pendekatan pada proses pemerataan yang disajikan dalam Gambar 10 akan dihasilkan persamaan sebagai berikut.

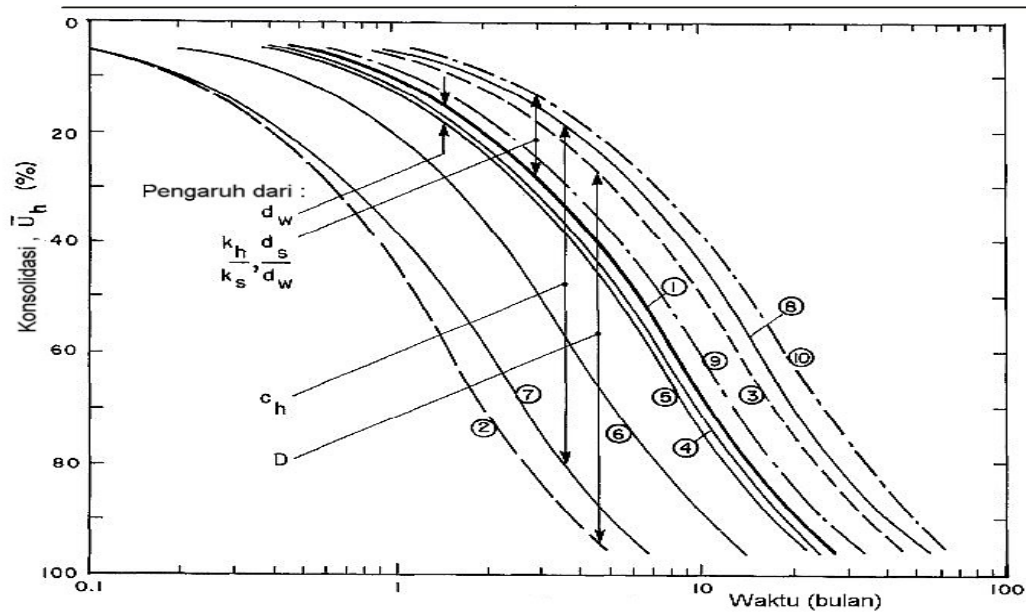
Drain satu arah : $F_r' = (2\pi/3) (L^2) (k_h / q_w) \dots\dots\dots (7a)$

Drain dua arah : $F_r' = (\pi/6) (L^2) (k_h / q_w) \dots\dots\dots (7b)$



Gambar 10 Perkiraan dari faktor pengaruh tahanan drain rata-rata (F_r')

- 4) Nilai-nilai tipikal dari rasio $F_r'/F(n)$ umumnya lebih kecil daripada 0,05. Karena itu, secara teoritis pengaruh tahanan drain akan lebih kecil dibandingkan dengan pengaruh jarak drain atau gangguan tanah.



$$t = \frac{D^2}{8c_h} \left[\left[\ln\left(\frac{D}{d_w}\right) - \frac{3}{4} \right] + \left(\frac{k_h}{k_s} - 1\right) \ln\left(\frac{d_s}{d_w}\right) \right] \ln\left(\frac{1}{1 - \bar{U}_h}\right) \quad \text{(Persaman 10)}$$

CASE	c_h (m^2/yr)	D (m)	d_w (m)	k_h/k_s	d_s/d_w	t_{90} (months)	$\frac{t_{90} \text{ Case i}}{t_{90} \text{ Case 1}}$
1	2	2	0.05	1	1	20.3	1.00
2	2	1	0.05	1	1	3.9	0.19
3	2	2.5	0.05	1	1	34.1	1.68
4	2	2	0.06	1	1	19.0	0.94
5	2	2	0.07	1	1	18.0	0.87
6	4	2	0.05	1	1	10.2	0.50
7	8	2	0.05	1	1	5.1	0.25
8	1	2	0.05	1	1	40.6	2.00
9	2	2	0.05	2	2	25.1	1.24
10	2	2	0.05	4	4	49.0	2.41

Gambar 11 Contoh dari pengaruh parameter pada t_{90}

5.4.3 Gabungan pengaruh gangguan tanah dan drain

Aspek-aspek yang perlu diperhitungkan dalam gabungan pengaruh gangguan tanah dan drain adalah :

- 1) Untuk keadaan gabungan dari pengaruh gangguan tanah dan drain, maka persamaan (4) menjadi :

$$t = (D^2 / 8c_h) (F(n) + F_s + F_r) \ln(1 / (1 - \bar{U}_h))$$

dengan :

$$F(n) + F_r + F_s = \left(\ln(D/d_w) - \frac{3}{4} \right) + \left(\frac{k_h}{k_s} - 1 \right) \ln\left(\frac{d_s}{d_w}\right) + \pi z(L-z)(k_h/q_w) \quad \dots\dots\dots (12)$$

- 2) Persamaan (4) dan (12) mewakili keadaan umum untuk PDVP dengan memperhitungkan jarak drain, pengaruh gangguan tanah, dan pengaruh tahanan drain. Gambar 11 menunjukkan pengaruh relatif dari parameter kunci dalam persamaan (4) dan (12) untuk keadaan tertentu; dan pengaruh potensi terbesar pada t_{90} adalah akibat perubahan c_h dan D . Nilai c_h yang mudah berubah dengan faktor 10 mempunyai pengaruh yang paling dominan pada t_{90} . Nilai D yang dapat berubah dengan faktor antara 2 sampai 3 mempunyai pengaruh sebesar D^2 . Pengaruh sifat-sifat zona terganggu (k_s dan d_s) sulit diukur, namun dapat juga menjadi faktor yang sangat signifikan. Diameter ekuivalen d_w , hanya berpengaruh kecil pada t_{90} .

5.4.4 Pendekatan desain

Desain prapembebanan yang menggunakan PDVP harus mengikuti langkah-langkah sebagai berikut.

- Evaluasi tentang waktu konstruksi bangunan berlangsung dan penentuan besarnya penurunan pasca konstruksi yang dapat ditoleransi;
- Program penyelidikan tanah dasar di lapangan dan pengujian tanah di laboratorium untuk memberi informasi rinci tentang karakteristik perlapisan tanah di lapangan, kondisi drainase (drainase satu atau dua arah) dan memberi data yang berkualitas tinggi dari tanah yang kompresif;
- Perkiraan penurunan total yang dapat diantisipasi pada lokasi-lokasi yang mungkin mengalami konsolidasi primer dan kompresi sekunder;
- Perkiraan laju konsolidasi primer (t vs \bar{U}_v) pada lokasi-lokasi yang mengalami kondisi tanpa drain dan dengan drain PDVP untuk berbagai jarak antara;
- Evaluasi stabilitas untuk menentukan tinggi urugan yang aman dan kemungkinan perlunya berm dan/atau konstruksi bertahap;
- Evaluasi manfaat relatif secara ekonomis dan teknis dari tambahan beban versus jarak antara drain dan laju penurunan akibat konsolidasi primer yang harus dipercepat untuk menyesuaikan jadwal pembangunan proyek.

Pendekatan di atas memerlukan pengetahuan tentang prosedur desain drain PDVP, pengalaman, dan pertimbangan rekayasa geoteknik. Jika terjadi kesalahan atau asumsi yang tidak realistis pada langkah tersebut di atas, kemungkinan pembangunan proyek tidak akan berhasil (berkaitan dengan stabilitas longsor dan batasan penurunan pasca konstruksi yang masih dalam batas yang diizinkan) meskipun drain PDVP dapat berfungsi sesuai dengan prediksi secara teoritis.

Proses desain PDVP berlangsung secara iteratif alamiah karena pendekatan umum yang disusun dalam langkah-langkah tersebut saling berkaitan. Hubungan antara parameter desain PDVP akan dibahas berikut ini.

6 Evaluasi parameter desain

6.1 Kelas proyek

Dalam desain bangunan proyek yang menggunakan PDVP perlu dilakukan evaluasi terperinci tentang parameter desain tanah, sifat drain, dan pengaruh teknik pemasangan. Karena itu, tingkat keberhasilannya tergantung pada evaluasi parameter desain yang sebagian besar berkaitan dengan ukuran relatif dan kompleksitas proyek secara keseluruhan. Kelompok (kategori) proyek yang disajikan pada Tabel 5, merupakan rangkuman untuk evaluasi parameter desain yang diperlukan.

Tabel 5 Kelas proyek untuk desain penggunaan PDVP

Kelas proyek	Deskripsi
A	Pada dasarnya tanah seragam (tidak ada perlapisan (<i>varving</i>), sensitivitas rendah sampai sedang) Konstruksi sederhana (tidak ada pembebanan bertahap) PDVP (sedikit, panjang kurang dari 60 ft (18 m)).
B	Pada umumnya mirip dengan kelompok A meskipun dengan derajat kompleksitas yang lebih tinggi – antara kelompok A dan C.
C	Satu atau lebih dari butir-butir berikut : Tanah tidak umum (berlapis atau sensitivitas tinggi) Pembebanan bertahap atau kesulitan konstruksi lainnya. Jumlah atau panjang PDVP lebih besar dari 60 ft (18 m)).

6.2 Sifat-sifat propertis tanah (c_h , k_h , k_s)

Aplikasi persamaan umum (4) memerlukan evaluasi sifat-sifat tanah c_h , k_h dan k_s . Untuk tanah yang bersifat kompresif, sebaiknya digunakan nilai-nilai sifat propertis tanah yang dievaluasi pada tegangan vertikal efektif maksimum.

6.2.1 Koefisien konsolidasi untuk drain horizontal (c_h) dan koefisien permeabilitas untuk rembesan horizontal (k_h)

Penentuan koefisien konsolidasi dan koefisien permeabilitas dijelaskan sebagai berikut.

- 1) Koefisien konsolidasi untuk drain horizontal c_h dapat dievaluasi dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$c_h = (k_h / k_v) c_v \dots\dots\dots (13)$$

Cara mengevaluasi c_h tergantung pada kompleksitas proyek (kategori A, B atau C).

- 2) Untuk proyek kategori A, c_h biasanya dapat diperkirakan secara konservatif sama dengan c_v yang diukur di laboratorium (misalnya $k_h/k_v=1$) dengan uji konsolidasi satu dimensi (SNI 03-2812-1992) termasuk untuk drain vertikal. Rasio dari permeabilitas dapat diperkirakan dengan menggunakan Tabel 6 sebagai petunjuk awal atau dengan menggunakan data tanah tersedia yang akan digunakan. Pengukuran lapangan dan/atau laboratorium harus dilakukan untuk perbandingan dari hasil estimasi. Aplikasi persamaan (13) memerlukan pengalaman tentang asumsi dasar dan potensi pengembangan makrofabrik (susunan tanah) untuk rasio k_h/k_v terkait.
- 3) Untuk proyek kategori C atau B, c_h dan rasio k_h/k_v dapat diestimasi dengan teliti menggunakan metode yang dijelaskan dalam Tabel 7. Pemeriksaan pisometer lapangan dan analisis kurva disipasi tekanan air pori juga dapat digunakan untuk evaluasi c_h dan k_h . Cara-cara ini telah dikaji ulang oleh *Jamiolkowski et.al.*[12] Penentuan k_h di lapangan dengan uji pompa skala kecil pada pisometer atau alat permeameter dengan pengeboran dapat digunakan dengan nilai m_v laboratorium untuk menghitung c_h dari persamaan (14) berikut ini.

$$c_h = k_h / (m_v \gamma_w) \dots\dots\dots (14)$$

dengan :

γ_w (kN/m^3) adalah berat volume air

m_v (m^2/kN) adalah koefisien kompresibilitas perubahan volume.

- 4) Penggunaan cara-cara khusus di lapangan memerlukan pemahaman teori konsolidasi tanah yang cermat agar diperoleh hasil analisis yang memadai. Risiko pendekatan yang dianjurkan umumnya adalah menggunakan uji konsolidasi secara konvensional untuk mengukur c_v yang perlu digabungkan dengan penyelidikan lapangan dan laboratorium untuk memperkirakan k_h/k_v dan mengevaluasi c_h dengan menggunakan persamaan (13). [13]

6.2.2 Koefisien permeabilitas dalam arah horizontal untuk tanah terganggu (k_s)

Evaluasi persamaan umum memerlukan perkiraan nilai rasio k_h/k_s , tetapi publikasinya jarang sekali. Walaupun demikian, rasio k_h/k_s umumnya diperhitungkan berkisar antara 1 dan 5 untuk tingkat regangan tanah terganggu yang dapat diantisipasi. Rasio k_h/k_s dapat bervariasi akibat sensitivitas tanah dan ada atau tidak adanya susunan atau makrofabrik tanah. Untuk memperkirakan nilai rasio k_h/k_s secara realistis pada proyek tertentu, diperlukan pertimbangan yang seksama, penentuan rekayasa, dan uji khusus yang mungkin dapat dilakukan.

Tabel 6 Rasio k_h/k_v yang mewakili lempung lunak *

No.	Deskripsi	k_h/k_v
1	Tidak ada petunjuk tanah berlapis-lapis (lempung kering sebagian penampilannya hampir seragam) **	$1,2 \pm 0,2$
	Tidak ada atau hanya sedikit makrofabrik yang berkembang (misalnya lempung sedimen dengan lensa-lensa diskontinuitas dan lapisan tanah yang lebih lulus air) ***	1 – 1,5
2	Perlapisan tipis (misal campuran lempung sedimen dengan debu lanau menjadi lensa lanauan yang random) **	2 – 5
	Lapisan makrofabrik yang berkembang agak baik sampai baik (misal lempung sedimen dengan lensa-lensa diskontinuitas dan lapisan material yang lebih lulus air) ***	2 – 4
3	Lempung berlapis (<i>varved</i>) .**	10 ± 5
	Lempung berlapis dan deposit berlapis lainnya yang terdiri dari lapisan endapan dan mendekati lulus air secara kontinu.***	3 – 15

Catatan :

* Lempung lunak ditentukan sebagai lempung dengan kekuatan geser takterdrainase kurang dari 48 kPa

** Referensi : [13]

*** Referensi : [11]

Rasio ini disajikan hanya untuk keperluan informasi umum. Perencana harus menyelidiki sifat-sifat sebenarnya dari setiap tanah yang dihadapi.

Tabel 7 Metode pengukuran nilai c_h dan k_h/k_v (setelah [14])

Metode dan parameter	Keterangan	Referensi
Uji laboratorium dengan alat konsolidometer pada tanah dicetak horizontal (c_h).	m_v keliru Ukuran benda uji akan mempengaruhi hasil.	[21]
Uji konsolidasi di laboratorium dengan drain radial pada tepi (c_h).	Dapat bermasalah karena pengaruh friksi tepi dan faktor skala.	[17]
Uji konsolidasi di laboratorium bersama-sama dengan drain radial menggunakan drain pasir vertikal (c_h).	Dianjurkan contoh tanah yang besar untuk mengurangi pengaruh skala.	[22, 25]
Uji permeabilitas di laboratorium pada contoh dicetak secara vertikal dan horizontal (c_h).	Ada masalah akibat perubahan dengan menggunakan contoh-contoh yang berbeda.	[24]
Uji permeabilitas di laboratorium pada contoh bentuk kubus (k_h / k_v).	Lebih baik daripada No. 4; dianjurkan menggunakan contoh yang besar (10 cm).	[6, 16]
Uji tinggi tekan konstan di lapangan dengan pisometer hidraulik (c_h, k_h).	Metode pemasangan penting. Perlu mempertimbangkan rasio antara panjang dan diameter.	[19]
Uji pemompaan di lapangan pada drain pasir vertikal (k_h).	Metode pemasangan penting. Lapisan lulus air sangat berpengaruh.	[3]
Uji tinggi tekan jatuh di lapangan dengan pisometer (k_h) dan pisokonus untuk disipasi tekanan air pori (c_h).	Lapisan lulus air akan sangat berpengaruh.	[13]

6.3 Sifat-sifat propertis drain (d_w, q_w)

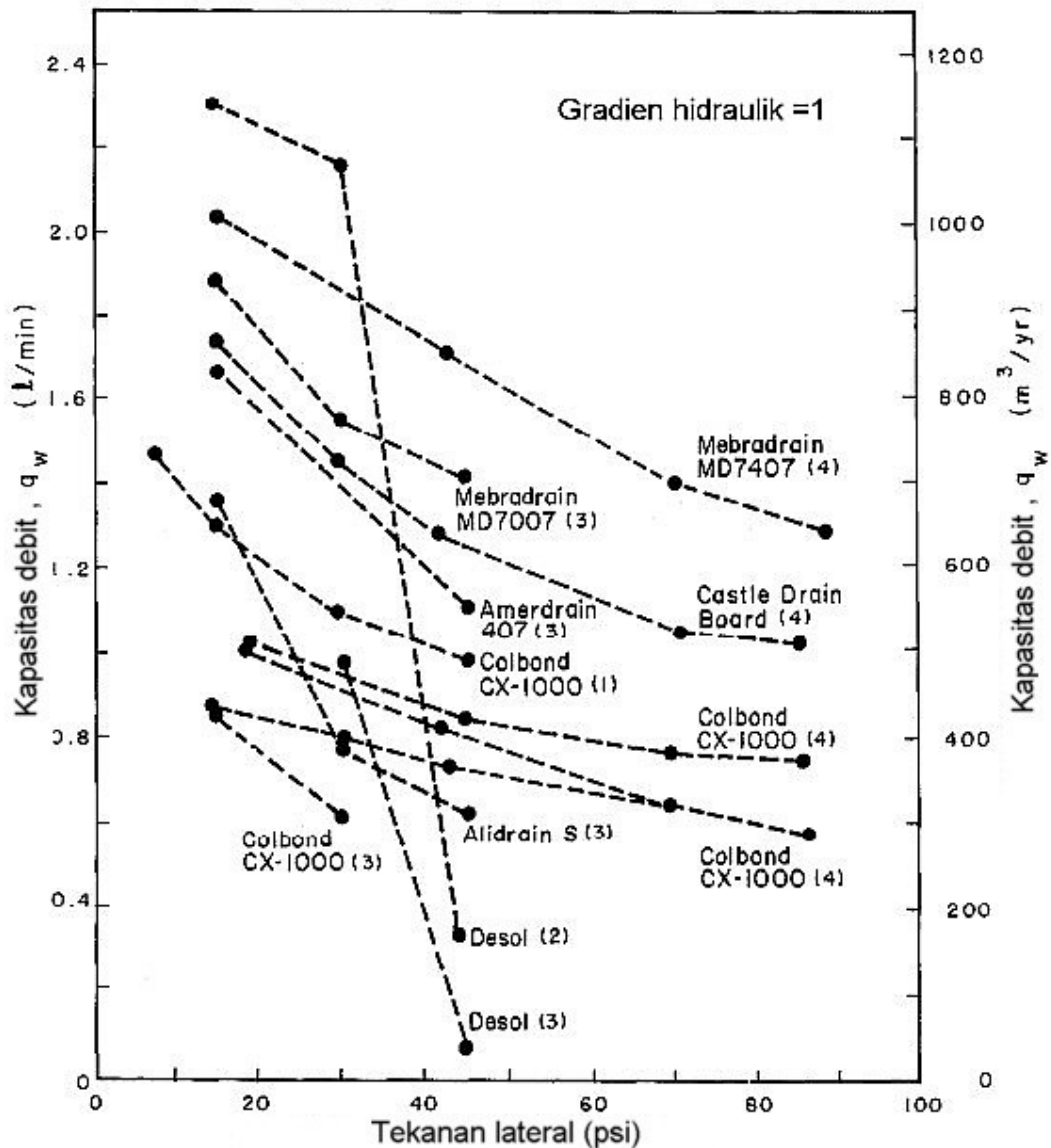
Diameter ekuivalen (d_w) dan kapasitas aliran air (q_w) adalah sifat-sifat propertis drain yang diperlukan dalam menggunakan persamaan umum (persamaan (4)).

6.3.1 Diameter ekuivalen (d_w)

Diameter ekuivalen untuk pita drain vertikal secara konvensional harus dihitung sebagai berikut :

$$d_w = (a+b)/2 \dots\dots\dots (9)$$

Untuk PDVP yang digunakan secara umum, d_w berkisar antara 50 mm (2 in) sampai 75 mm (3 in).



Gambar 12 Nilai-nilai kapasitas aliran drain vertikal tipikal

6.3.2 Kapasitas aliran air (q_w)

Hal-hal yang berkaitan dengan kapasitas aliran air dijelaskan sebagai berikut.

- 1) Kapasitas aliran air pada PDVP diperlukan untuk analisis faktor pengaruh tahanan drain, walaupun biasanya kurang signifikan dibandingkan dengan faktor-faktor pengaruh jarak drain dan gangguan tanah.
- 2) Pengukuran kapasitas aliran air yang teliti memerlukan waktu cukup lama dan uji laboratorium yang relatif canggih. Oleh karena itu, kapasitas aliran air biasanya tidak diukur oleh tenaga ahli teknik sebagai bagian dari proses desain PDVP tetapi cukup diambil dari hasil publikasi.
- 3) Kapasitas aliran air vertikal sering kali ditentukan oleh pabrik pembuat pita drain vertikal sehingga perlu dilakukan berbagai bentuk uji yang berbeda (media sekeliling, ukuran contoh drain, dan sebagainya). Hasil uji kapasitas aliran air vertikal yang telah dilakukan menunjukkan besarnya pengaruh tekanan keliling, lihat Gambar 12.

- 4) Kapasitas aliran air vertikal dipengaruhi juga oleh kompresi vertikal pada bentuk drain. Tekukan atau kerutan dari pita drain vertikal perlu diamati dengan pengujian laboratorium dan lapangan. Potensi reduksi pada aliran vertikal sangat sulit diestimasi secara teliti.
- 5) Pengamatan yang dilakukan oleh *van de Griend* [26] dengan uji konsolidasi di laboratorium menunjukkan bahwa reduksi sebesar 10% sampai dengan 90% dari kapasitas aliran air vertikal terjadi bila contoh mengalami kompresi vertikal sebesar 20%. Maka, (menurut *Van de Griend*) pita drain vertikal yang kaku akan mengalami reduksi aliran lebih besar karena tekukan akan terjadi pada kondisi kompresi yang relatif lebih rendah.
- 6) Selain data uji laboratorium khusus, kapasitas aliran air dapat diasumsi secara konservatif sebesar 3500 ft³/tahun (100 m³/tahun) untuk pita drain vertikal yang berlaku sekarang ini. Kecuali pada pita drain vertikal *Desol* yang tidak terlindungi dengan tekanan keliling horizontal berlebih sebesar 40 psi (276 kPa).

6.4 Zona tanah terganggu (d_s)

Hal-hal yang berkaitan dengan zona tanah terganggu dapat dijelaskan sebagai berikut.

- 1) PDVP secara tipikal dipasang dengan menggunakan alat yang sama dengan yang diperlihatkan pada Gambar 13; dan pemasangannya menghasilkan regangan geser dan pergeseran tanah di sekeliling pita drain. Terjadinya pergeseran biasanya disertai dengan peningkatan tegangan total dan tekanan air pori.
- 2) Pada waktu pemasangan, PDVP dilindungi dengan mandrel. Karena luas mandrel lebih besar daripada luas pita drain vertikal, kemungkinan akan terjadi kehilangan ruang sekeliling pita drain setelah mandrel dipindahkan.
- 3) Pemasangan drain dapat menimbulkan gangguan pada tanah di sekitar drain. Evaluasi pengaruh gangguan biasanya sangat kompleks karena berkaitan dengan kinerja drain dan faktor-faktor lainnya.

6.4.1 Ukuran dan bentuk mandrel

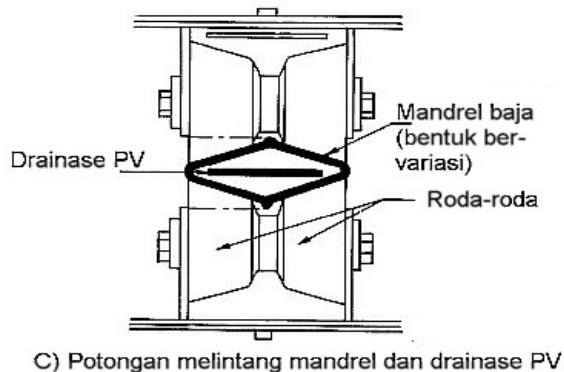
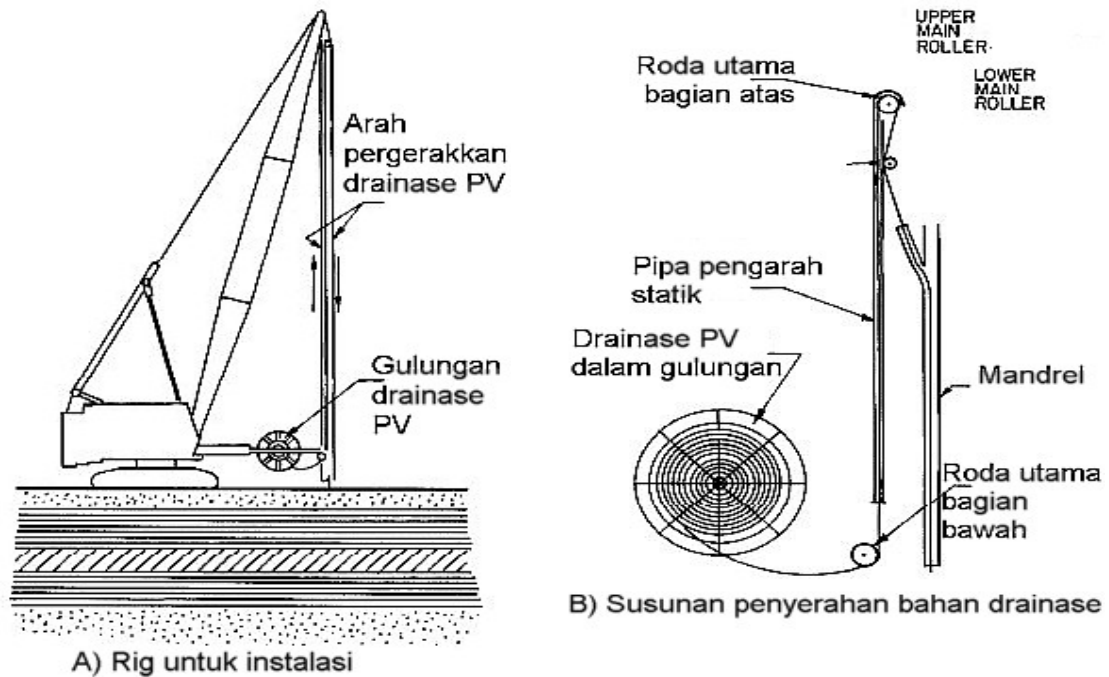
Dalam menentukan ukuran dan bentuk mandrel perlu memperhatikan hal-hal berikut.

- 1) Pada umumnya gangguan akan meningkat sebanding dengan besarnya luas total dari potongan melintang mandrel.
- 2) Luas potongan melintang mandrel sedapat mungkin mendekati luas drain untuk mengurangi pergeseran.
- 3) Diperlukan kekakuan mandrel yang memadai (tergantung pada bentuk dan luas potongan melintang) untuk mengatur pelurusan arah vertikal.
- 4) Bentuk ujung mandrel dan angker sedapat mungkin dibuat runcing.

6.4.2 Makrofabrik tanah (perlapisan tanah)

Hal-hal yang berkaitan dengan perlapisan tanah dijelaskan sebagai berikut.

- 1) Untuk tanah dengan makrofabrik berat, maka rasio k_h/k_v akan sangat tinggi dan bisa mencapai 10.
- 2) Untuk lapisan zona yang dibentuk kembali (*remolded*), maka pengaruh perlapisan tanah akan berkurang atau tidak ada sama sekali (permeabilitas horizontal lebih besar). Pelumasan (*remolding*) lapisan porus dengan tanah yang agak porus dapat memperlambat terjadinya rembesan air pori lateral dari lapisan porus ke dalam drain sehingga akan mengurangi efektivitas nilai rasio k_h/k_v .



Gambar 13 Alat pemasangan PDVP tipikal

6.4.3 Prosedur pemasangan

Dalam melaksanakan prosedur pemasangan harus mempertimbangkan hal-hal berikut.

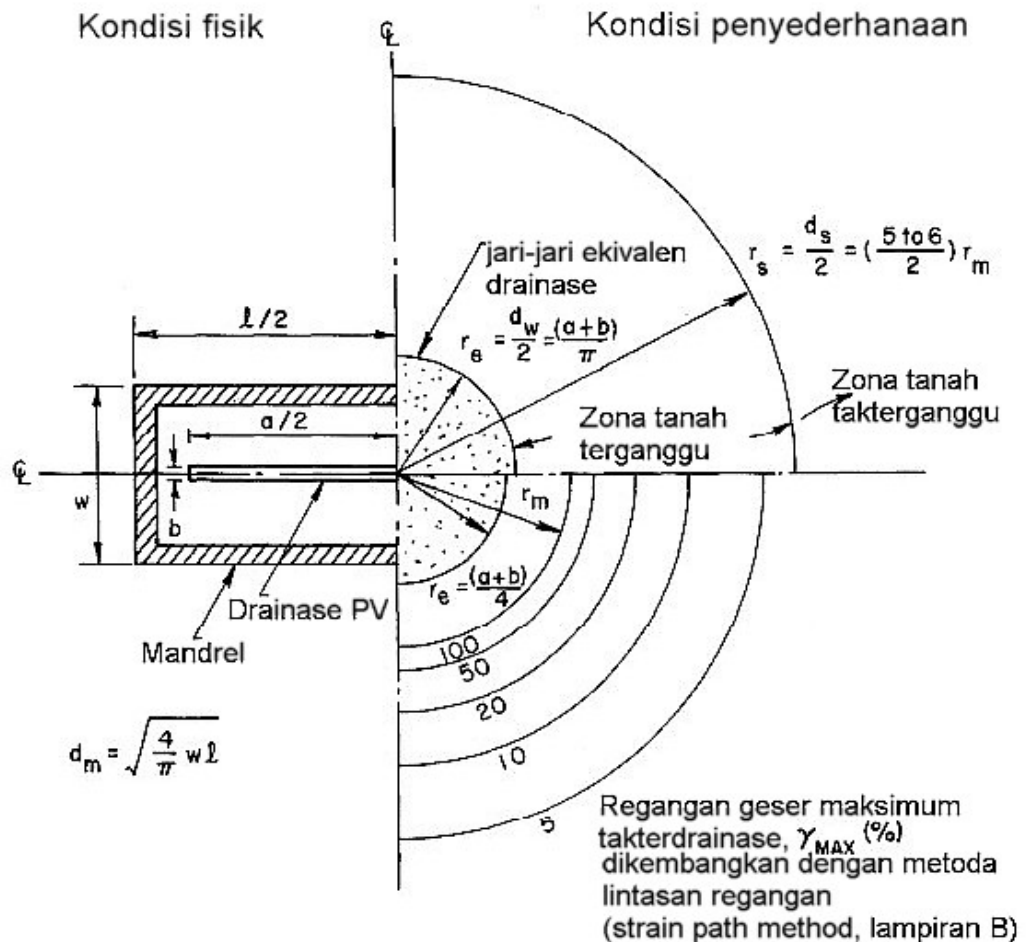
- 1) Bila data tidak tersedia, hal itu dapat mengakibatkan perubahan prosedur pemasangan.
- 2) Untuk menggerakkan atau menggetarkan mandrel dalam tanah yang sensitif sebaiknya digunakan gaya dorong statik.
- 3) Sensitivitas kinerja pita drain vertikal terhadap laju penetrasi mandrel biasanya tidak diketahui. Tekukan atau goyangan dari mandrel dapat menimbulkan tambahan gangguan.
- 4) Laju penetrasi dan kekakuan mandrel harus dipilih untuk membatasi besarnya goyangan.

Pada waktu pemasangan, goyangan yang terjadi akibat laju penetrasi harus diamati dan dikontrol untuk membatasi goyangan

Untuk desain yang memperhitungkan gangguan, maka dianjurkan d_s dievaluasi sebagai berikut [10] :

$$d_s = (5 \text{ sampai } 6) r_m \dots\dots\dots (15)$$

dengan r_m adalah jari-jari lingkaran yang luasnya sama dengan luas potongan melintang terbesar dari mandrel, atau luas potongan melintang dari angker atau tip, dipilih yang lebih besar. Untuk desain dalam zona terganggu dianggap benar-benar terjadi tanah *remolded* (lihat gambar 14). Berdasarkan pengembangan penelitian tentang hal ini (lihat Gambar 14 dan lampiran B) menunjukkan bahwa penyebaran tegangan geser secara teoritis sebanding dengan jarak radial dari sebuah mandrel lingkaran. Dengan jarak d_s dari persamaan (15), secara teoritis diperoleh regangan geser kira-kira 5%. Pengaruh regangan geser sebesar 5% pada sifat tanah kritis, seperti c_h , perlu diteliti lebih lanjut.



Gambar 14 Perkiraan zona terganggu di sekeliling mandrel

6.5 Zona pengaruh drain (D)

Hal-hal yang berkaitan dengan zona pengaruh drain dijelaskan sebagai berikut.

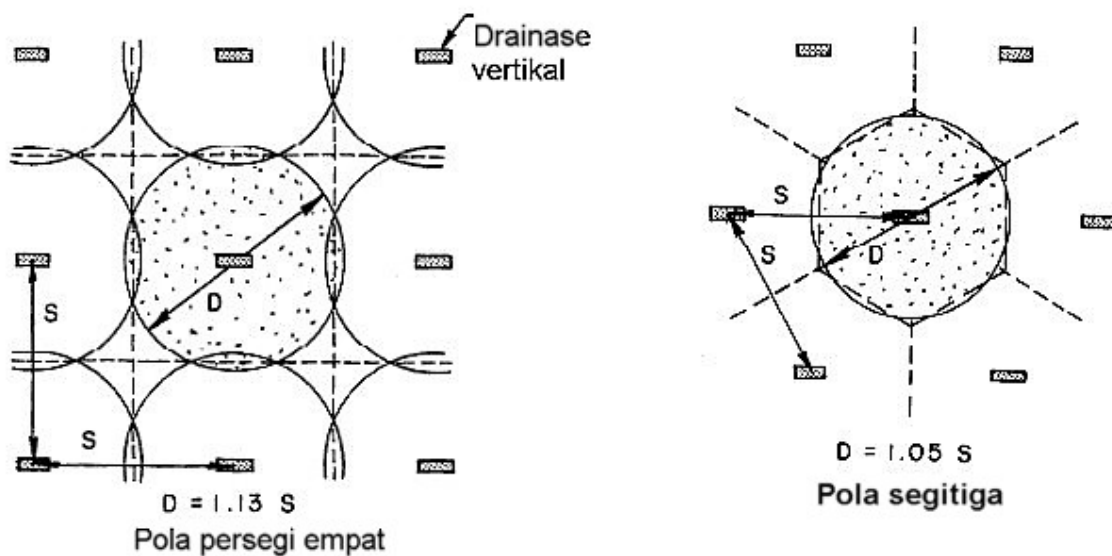
- 1) Waktu untuk mencapai prosentase konsolidasi tertentu merupakan fungsi dari diameter pangkat dua dari silinder pengaruh (D). D adalah variabel dari faktor jarak drain, $F(n)$, yang digunakan secara umum maupun pada kasus sederhana. Untuk parameter lain yang tidak tersebut di atas kecuali d_w , D merupakan variabel kontrol karena merupakan sebuah fungsi dari jarak drain.

- 2) Pita drain vertikal biasanya dipasang dalam pola empat persegi atau segitiga (lihat Gambar 15). Di sini jarak antara drain (S) untuk menentukan D ditunjukkan dalam hubungan berikut ini :

<u>Pola</u>	<u>D sebagai fungsi dari S *</u>	
Empat persegi	$D = 1,13 S$	(16)
Segitiga	$D = 1,05 S$	(7)

* untuk luas denah lapangan yang konstan pada setiap drain.

- 3) Pola empat persegi lebih mudah dibuat dan dikontrol di lapangan, terutama bila survei lapangan sukar dilakukan. Pola segitiga biasanya sering digunakan karena dapat menimbulkan terjadinya konsolidasi yang lebih seragam antara drain, dibandingkan dengan pola empat persegi.



Gambar 15 Hubungan antara jarak drain (S) dengan zona pengaruh drain (D)

7 Pemilihan dan desain drain

7.1 Tinjauan umum

Hal umum yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan dan desain drain adalah hal-hal berikut.

- 1) Tujuan utama desain PDVP adalah untuk memilih jenis, jarak, dan panjang PDVP yang dapat menghasilkan derajat konsolidasi yang diperlukan dalam waktu tertentu. Desain PDVP merupakan salah satu langkah dalam proses iteratif dari pengembangan desain prakompresi yang efisien. Pedoman desain ini hanya dianjurkan untuk desain yang memerlukan sistem PDVP. Contoh dalam Lampiran C menggambarkan desain PDVP yang memadai untuk pola desain prakompresi.
- 2) Prosedur desain PDVP berhasil dikembangkan setelah pengalaman aplikasi desain drain pasir. Pada umumnya pemasangan drain pasir dapat didesain secara konservatif karena belum memasukkan variabel pengaruh pemasangan dan aliran air drainase. Pengembangan metode desain PDVP harus melalui studi mekanisme dasar yang cermat agar tidak meragukan desain selanjutnya.

- 3) Pengaruh gangguan drain telah dibahas dengan menggunakan nilai-nilai c_h efektif untuk mewakili nilai rata-rata dari zona-zona terganggu dan takterganggu. Dengan pendekatan ini, nilai c_h efektif akan bervariasi sesuai dengan diameter, jenis (ada pergeseran, atau tidak ada pergeseran), dan jarak drain. Namun, masih sulit untuk menentukan nilai c_h dan evaluasi akibat gangguan. Pengaruh kapasitas aliran air biasanya diabaikan sehingga nilai q_w untuk drain pasir tipikal 12 in (30 cm) akan lebih kecil daripada aliran 3.500 ft³/tahun (100 m³/tahun) dan jarak antarpusat drain seringkali melebihi 6 ft (2 m).
- 4) Dengan meningkatnya jumlah proyek yang menggunakan PDVP dan perkembangan serta popularitasnya dengan diameter ekuivalen yang relatif kecil, maka diperlukan metode-metode yang lebih rasional untuk mengevaluasi c_h , kapasitas aliran air dan pengaruh gangguan. Berikut ini dibahas prosedur desain PDVP tipikal terkini. Perencana harus mengevaluasi kemandirian prosedur desain untuk setiap proyek yang dihadapi.
- 5) Penilaian keperluan PDVP merupakan langkah pertama untuk sebuah proyek karena prakompresi merupakan pendekatan yang berfungsi untuk perbaikan tanah fondasi. Salah satu faktor penting dalam penilaian adalah riwayat tegangan tanah. Sebagai contoh, jika tanah telah mengalami prakompresi sehingga tanah terkonsolidasi berlebihan akibat pembebanan awal, kemungkinan PDVP tidak diperlukan.
- 6) Pendekatan lain adalah dengan penghitungan tegangan efektif akhir pada waktu prapembebanan selesai dilaksanakan tanpa drain vertikal. Jika disipasi dari sisa tekanan pori berlebihan yang positif mengakibatkan penurunan melebihi yang dapat diterima, diperlukan penggunaan drain dan/atau tambahan beban yang lebih besar.
- 7) Pada beberapa proyek diperlukan percepatan laju peningkatan kuat geser tanah, dengan cara mempercepat laju peningkatan tegangan efektif. Karena itu, drain dapat diperkirakan dengan membandingkan waktu peningkatan tegangan tanpa drain dengan waktu yang tersedia. Jika waktu yang diperlukan lebih besar daripada waktu yang tersedia, kemungkinan diperlukan drain.
- 8) Perbandingan ekonomis antara jumlah tambahan beban versus jumlah PDVP (jarak dan panjang) harus dibuat terlebih dahulu untuk pemilihan desain akhir drain. Contoh desain pada Lampiran C menggambarkan prosedur untuk memperbesar efektivitas tambahan beban pada desain PDVP.

7.2 Pemilihan jenis PDVP

Pemilihan jenis pita drain vertikal prefabrikasi untuk sebuah proyek khusus harus dilakukan secara objektif berdasarkan pengalaman pada proyek-proyek serupa, pengkajian sejarah kasus terkait, dan evaluasi sifat-sifat calon pita drain yang berbeda.

Persoalan utama dalam pemilihan jenis PDVP untuk proyek khusus terdiri dari:

- 1) diameter ekuivalen;
- 2) kapasitas aliran air;
- 3) karakteristik filter selimut dan permeabilitas;
- 4) kekuatan, fleksibilitas dan daya tahan (keawetan) material.

Setiap faktor dibahas berikut ini beserta kriteria untuk evaluasinya.

7.2.1 Diameter ekuivalen, d_w

Diameter ekuivalen harus dihitung dengan menggunakan persamaan (9). Untuk PDVP biasa, d_w berkisar antara 50 mm - 75 mm (2 in - 3 in). Dalam aplikasi sebaiknya tidak menggunakan pita drain vertikal dengan diameter ekuivalen yang lebih kecil daripada 2 in (50 mm).

7.2.1.1 Kapasitas aliran air, q_w

Kapasitas aliran air merupakan pertimbangan untuk pemilihan PDVP, nilai q_w harus diketahui dan pengaruhnya harus diperiksa dengan menggunakan prosedur yang disajikan dalam bab 5 Pertimbangan desain drain. Nilai-nilai tipikal dari q_w diberikan dalam Gambar 12. Pada umumnya pita drain vertikal yang dipilih harus mempunyai kapasitas aliran air vertikal minimal 100 m³/tahun (3.500 ft³/tahun) yang diukur dalam kondisi gradien dari suatu drain terkekang akibat tegangan horizontal efektif maksimum di lapangan.

7.2.2 Karakteristik filter selimut

Selimut PDVP umumnya dipengaruhi air tanah dan tanah *remolded* pada waktu penyelesaian pemasangan drain. Oleh karena itu, minimal sejak awal selimut sudah berfungsi sebagai filter pada waktu prapembebanan sehingga dapat menyebabkan peningkatan tekanan air pori dan air pori merembes secara horizontal ke dalam inti drain. Potensi pelekatan atau penyumbatan yang terjadi pada selimut disebabkan oleh pergerakan butiran halus dari tanah *remolded*, yang hingga kini masih merupakan topik pengembangan penelitian [28]. Kriteria desain PDVP yang dapat diaplikasikan secara umum telah disajikan oleh *Christopher dan Holtz* [6].

7.2.3 Permeabilitas selimut

Hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan permeabilitas selimut adalah yang berikut.

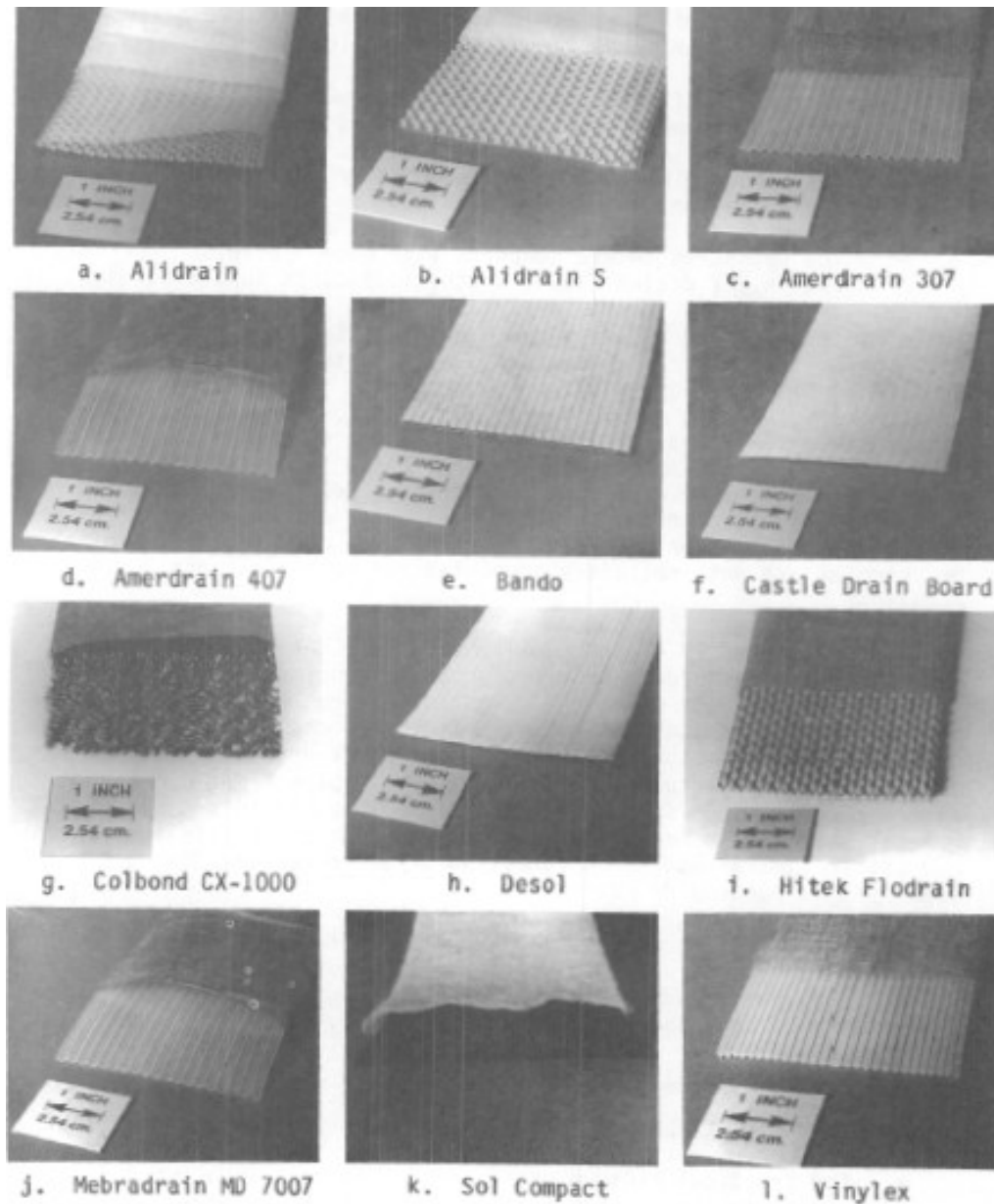
- 1) Permeabilitas selimut dapat memperlambat konsolidasi jika besarnya tidak sama dengan atau lebih besar daripada permeabilitas tanah sekitarnya. Pada umumnya PDVP yang kini tersedia mempunyai permeabilitas selimut lebih besar daripada yang diperlukan untuk mengalirkan air ke dalam drain. Banyak selimut drain yang mempunyai permeabilitas cukup tinggi sehingga tidak efektif untuk mencegah aliran butiran halus ke dalam inti. Untuk tanah pada umumnya, karakteristik filter selimut lebih diperhitungkan daripada permeabilitas.
- 2) Untuk menentukan permeabilitas selimut PDVP atau geotekstil lainnya, diperlukan estimasi ketebalan susunan (fabrik) tanah yang merupakan fungsi dari tekanan keliling dan sangat sulit dilakukan. Karena itu akan lebih baik membandingkan geotekstil dengan menggunakan permitivitas, yang ditentukan sebagai laju aliran volumetrik per satuan luas di bawah tinggi tekan hidraulik tertentu.

7.2.4 Kekuatan, flesiibilitas, dan daya tahan material

Hal-hal yang berkaitan dengan karakteristik material dijelaskan sebagai berikut.

- 1) Karakteristik tegangan-regangan dari selimut dan inti harus sesuai. Drain (inti atau selimut) tidak boleh rusak bila mengalami pemeliharaan dan tegangan pemasangan, yang secara tipikal lebih tinggi daripada tegangan *in-situ* (jika lapisan tanah sudah stabil). Regangan runtuh yang relatif tinggi lebih diperlukan daripada kekuatan tarik yang sangat tinggi. Bagian inti sebaiknya bebas terhadap longsoran selimut untuk mengurangi kerugian akibat kerutan yang terjadi selama konsolidasi.
- 2) Daya tahan selimut geotekstil woven sintesis atau non-woven sepanjang periode konsolidasi biasanya tidak menjadi masalah untuk kondisi air tanah yang tidak tercemar. Jika air tanah diduga mengandung bahan pelarut atau pencemaran kimiawi lain, harus diselidiki kemungkinan pengaruhnya pada keutuhan (integritas) drain. Kemerosotan, degradasi mikrobial dan kekuatan basah yang sangat rendah disebabkan oleh selimut lempengan. Karena itu, sebaiknya digunakan PDVP yang mempunyai selimut sintesis.

- 3) PDVP yang dipilih harus mempunyai karakteristik (kekuatan tegangan-regangan) yang memadai agar dapat mencapai konsolidasi yang diinginkan dalam waktu tertentu. Karakteristik drain secara individu dapat mewakili ciri atau lambang penjualan, tetapi tidak untuk membatasi penggunaannya. Sebagai contoh, drain tertentu dapat mempunyai kapasitas aliran air atau permeabilitas yang relatif rendah, tetapi mempunyai diameter ekuivalen yang cukup besar untuk mengimbangi karakteristik yang tidak menguntungkan. Jika sifat hidraulik relatif dari drain pengganti diketahui, dapat dievaluasi dengan menggunakan persamaan desain. Sifat-sifat lainnya seperti potensi penyumbatan atau kerutan tidak diperhitungkan secara terpisah dalam persamaan desain.



Gambar 16 Foto-foto dari produk PDVP tipikal

Sudah banyak tersedia produk-produk PDVP yang dapat dipilih dan dievaluasi oleh pendesain untuk sebuah proyek khusus. Selama persiapan pedoman ini, Amerika yang mewakili penghasil berbagai produk PDVP telah memberikan informasi produk secara terperinci, yang dirangkum dalam Tabel 8 dan Tabel 9. Penjelasan tersebut hanya merupakan referensi umum sehingga pendesain harus memeriksa dan mencari informasi terbaru yang serupa terlebih dahulu sebelum menentukan pilihan suatu PDVP yang khusus. Gambar 16 menunjukkan foto-foto dari 12 buah contoh produk PDVP yang representatif tersedia dan memberikan perspektif variasinya.

Tabel 8 Karakteristik PDVP yang umum digunakan di pasaran

PDVP	Lebar, a (mm)	Tebal, b (mm)	Berat (g/m)	Permukaan bebas (mm ²)	Volume bebas (mm ³ /mm)
<i>Alidrain</i>	100	7	160	180	470
<i>Alidrain S</i>	100	4	90	100	260
<i>Amerdrain 307</i>	100	3	93	200	250
<i>Amerdrain 407</i>	100	3	93	200	250
<i>Bando</i>	(96)	(2,9)	(70)	-	(150)
<i>Castle Drain Board</i>	96+2	2,6	90	-	(108)
<i>Colbond CX-1000</i>	100	3,5	90	-	(152)
<i>Desol</i>	95	2	50	77*	146*
<i>Hitek Flodrain</i>	100	8	90	200	500
<i>Mebradrain MD7007</i>	100	3	92	200	180
<i>Sol Compact</i>	100*	5*	98*	-	-
<i>Vinylex</i>	95	4	93	137	-
Kisaran	95-100	2-7	50-160	77-200	108-470
Median	100	3	92	190	215

Catatan :

- (1) Penjelasan diberikan oleh pabrik pembuat dan pemasok produksi kecuali jika didesain dengan () menunjukkan disediakan oleh pihak lain dan diperiksa dengan pengukuran, atau * menunjukkan bahwa ditentukan menggunakan penjelasan dari pabrik pembuat dan pemasok produksi.
- (2) Permukaan bebas ditentukan sebagai jarak sekitar keliling drain yang tidak terhalangi untuk mengalirkan air oleh bangunan inti.
- (3) Volume bebas ditentukan sebagai luas potongan melintang total dari drain dikurangi luas potongan melintang dari inti (misalnya luas potongan melintang terbuka dari drain).
- (4) Penjelasan ini diberikan hanya untuk keperluan umum. Pendesain harus memeriksa sifat-sifat sebenarnya dari setiap drain PV tertentu.

Tabel 9 Karakteristik selimut dan inti dari PDVP yang ada di pasaran

PDVP	Hubungan Inti & selimut	S e l i m u t (jacket)				I N T I	
		<i>Poly-mer</i> **	Nama dagang	Berat (ons)	Permeabili- tas(x10 ⁶ cm/dt)	<i>Poly-mer</i> **	Geometri
<i>Alidrain</i>	tidak ada	P	<i>Chicopee</i>	3,5	3	PE	ditatah pd kedua sisi
<i>Alidrain S</i>	tidak ada	P	<i>Chicopee</i>	3,5	3	PE	ditatah pd kedua sisi
<i>Amerdrain 307</i>	tidak ada	PP	<i>Dupont Typar</i>	3	300	PP	saluran
<i>Amerdrain 407</i>	tidak ada	PP	<i>Dupont Typar</i>	4	200	PP	saluran
<i>Bando</i>	terikat	*	*	*	*	*	saluran
<i>Castle Drain Board</i>	terikat	R	*	*	200	PO	saluran
<i>Colbond CX-1000</i>	tidak ada	P	<i>Colbond</i>	5,8	1000	P	kawat pijar
<i>Desol</i>	-	-	-	-	-	PO	saluran
<i>Hitek Flodrain</i>	tidak ada	PP	<i>Dupont Typar</i>	4	200	PE	<i>dimpled</i>
<i>Mebradrain MD7007</i>	tidak ada	PP	<i>Dupont Typar</i>	4	500	PP	saluran
<i>Sol Compact</i>	tidak ada	*	<i>Dupont Typar / Bidim</i>	*	*	*	saluran
<i>Vinylex</i>	tidak ada	PP	<i>Dupont Typar</i>	4	200	PE	rib menerus

• Informasi tidak disediakan oleh pemasok U.S.
** P = *polyester*; PE = *polyethylene*; PO = *polyolefin*; PP = *polypropylene*; R = *Rayon*.

Catatan :

- (1) Penjelasan tersebut dari pabrik pembuat dan pemasok produk dan disediakan hanya untuk keperluan secara umum. Pendesain harus memeriksa sifat-sifat sebenarnya dari setiap drain PV tertentu.
- (2) Metode uji permeabilitas umumnya tidak ditentukan.

7.3 Pertimbangan desain lainnya

Pertimbangan desain yang harus dilakukan terhadap faktor-faktor lain terdiri dari hal-hal berikut.

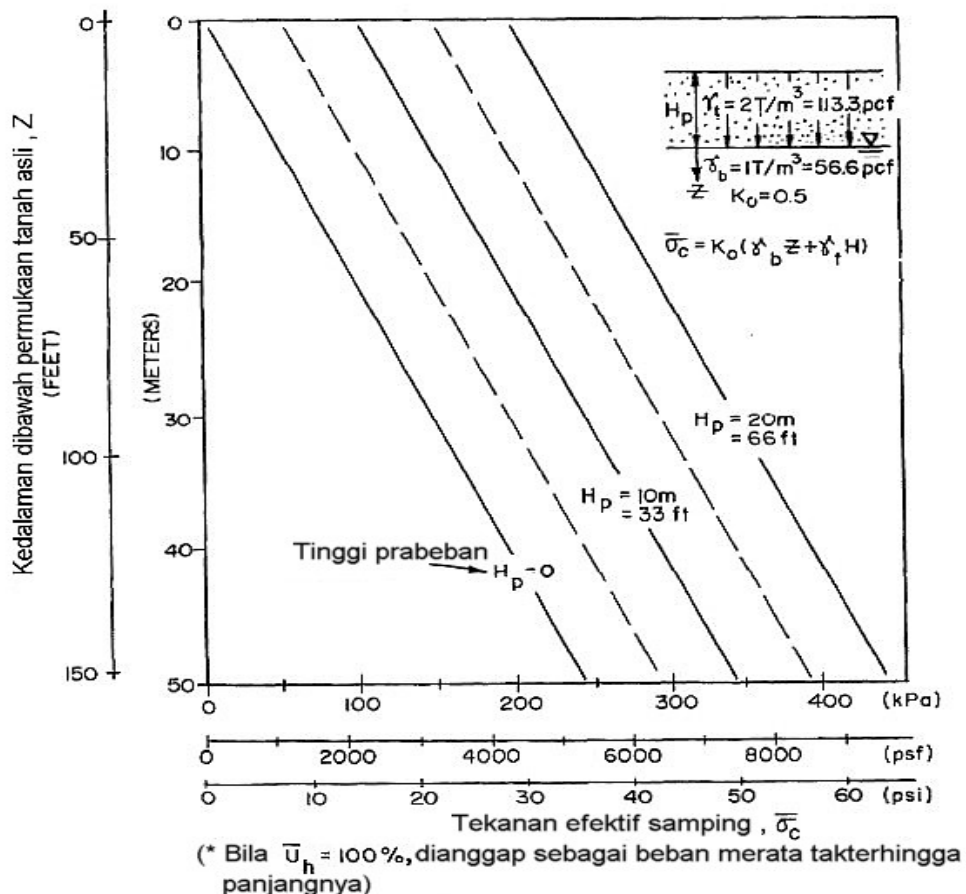
- 1) Jarak drain (pusat ke pusat) minimum biasanya kira-kira 0,90 m (3 ft) karena harus memperhitungkan pengaruh gangguan bila jaraknya terlalu dekat.
- 2) Panjang drain harus cukup untuk menghasilkan konsolidasi deposit atau bagian dari deposit sampai tahapan sesuai dengan desain. Dalam hal tertentu, drain tidak perlu menembus seluruh lapisan kompresif untuk mencapai kekuatan geser atau jumlah konsolidasi yang disyaratkan. Analisis secara teoritis dari penetrasi sebagian yang telah dikembangkan dibahas dalam referensi [23]. Karena drain yang sangat panjang (misalnya lebih dari 25 m (80 ft)), tambahan panjang tidak dapat memperbaiki laju konsolidasi akibat pengaruh drain.
- 3) Luas potongan melintang dari mandrel akan mempengaruhi volume tanah yang dipindahkan oleh mandrel pada waktu pemasangan. Jumlah tanah yang dipindahkan secara intuitif merupakan faktor gangguan tanah. Luas tipikal potongan melintang dari mandrel lebih kecil daripada 65 cm² (10 in²).
- 4) Pemasangan drain akan mengganggu tanah dan dapat mengurangi kekuatan geser deposit. Bila mengganggu kestabilan secara menyeluruh, maka harus dilakukan evaluasi. Proses peremasan (*remolding*) tanah dan tekanan pori berlebih yang disebabkan oleh pemasangan mandrel akan menyebabkan kekuatan geser menurun dan mengganggu stabilitas tanah. Pemasangan dengan alat getar dapat menyebabkan peningkatan tekanan air pori yang lebih besar daripada gaya dorong statik, walaupun belum ada informasi yang pasti tentang besarnya gangguan.
- 5) Denah drain berupa pola berbentuk segitiga atau empat persegi, dengan jarak antarpusat sebesar 1 – 3 m (3 – 9 ft).
- 6) Kondisi lapangan yang terdiri lebih dari satu lapisan kompresif dapat dianalisis dengan menganggap masing-masing lapisan bersifat bebas jika kapasitas aliran air drain tidak memperlambat proses konsolidasi.
- 7) Evaluasi sifat-sifat tanah merupakan tahap yang paling sukar dalam desain drain dan harus meliputi :
 - a) riwayat tegangan: profil tegangan efektif (σ'_{v0}); dan profil tekanan maksimum sebelumnya (σ'_{vm});
 - b) kompresibilitas tanah (C_r , C_c , C_α);
 - c) koefisien konsolidasi (c_v dan c_h): dievaluasi pada kondisi tegangan efektif maksimum;
 - d) batas-batas drain: lapisan drain di puncak, dasar, dan tengah;
 - e) profil kekuatan geser: profil *in-situ* awal dan kekuatan akibat konsolidasi;
 - f) analisis penurunan dan stabilitas.
- 8) Efektivitas drain dapat disebabkan oleh peningkatan tegangan keliling horizontal. Gambar 17 menunjukkan peningkatan tegangan keliling yang dihasilkan karena bertambahnya kedalaman di bawah permukaan tanah dan prapembebanan atau beban tambahan. Pendesain harus memahami potensi perubahan sifat-sifat kinerja dari pita drain vertikal prefabrikasi sebagai akibat dari tekanan keliling horizontal dan kapasitas aliran air drain yang cenderung menurun seiring dengan waktu karena pengaruh rayapan. Pengaruh-pengaruh ini sebagian dapat diimbangi dengan volume aliran melalui drain yang sangat tinggi selama tahap awal konsolidasi dan kapasitas aliran air drain PDVP yang umum tersedia sekarang telah melebihi nilai minimum yang dianjurkan sebesar 100 m³/tahun (3500 ft³/tahun).

7.4 Panjang dan jarak antardrain

Jarak dan panjang drain dapat ditentukan dengan menggunakan pendekatan desain dasar yang diberikan dalam Bab 5 Pertimbangan desain drain. Upaya yang dilakukan pada berbagai tahapan penyelidikan dan desain harus ditentukan berdasarkan proyek yang ditinjau sebagai berikut.

- 1) Untuk proyek sederhana (kelas A seperti dijelaskan di atas; sederhana, ukuran kecil, tanah tidak sensitif, panjang drain kurang dari 60 ft (18 m)), disarankan hal-hal sebagai berikut.
 - a) Mengabaikan pengaruh dari kapasitas aliran air dan gangguan, tetapi menentukan $q_w \geq 100 \text{ m}^3/\text{tahun}$ ($3500 \text{ ft}^3/\text{tahun}$) di bawah tegangan horizontal efektif maksimum.
 - b) Menganggap $c_h = c_v$ yang diperoleh dari hasil uji konsolidasi laboratorium secara konvensional pada tahap tegangan efektif maksimum.
 - c) Desain sistem drain PDVP menggunakan persamaan kondisi disederhanakan (persamaan (2)).
 - d) Jika waktu pemasangan terbatas, jarak drain S dapat dikurangi untuk mengimbangi keraguan.

Dalam hal ini, desain yang konservatif mungkin akan berhasil karena dengan menggunakan $c_h = c_v$ biasanya akan dapat mengimbangi pengaruh gangguan. Biaya untuk penyelidikan bawah permukaan, pengujian laboratorium, dan desain drain PDVP harus memadai dibandingkan dengan biaya proyek keseluruhan. Upaya tambahan biasanya tidak secara signifikan dapat mengurangi biaya sistem drain keseluruhan.



Gambar 17 Tekanan keliling efektif pada PDVP

- 2) Untuk proyek menengah (kelas B seperti dijelaskan di atas; waktu sangat penting, desain yang konservatif tidak cukup), disarankan hal-hal sebagai berikut.
- a) Menentukan c_h dengan menggunakan metode yang dijelaskan dalam Tabel 7, kurva-kurva kehilangan tekanan air pori dari pisometer tabung yang memerlukan pertimbangan rasio konsolidasi berlebih, atau dengan mengatur c_v (hasil laboratorium) untuk mendapatkan c_h berdasarkan rasio antara permeabilitas horizontal dan vertikal dengan rumus :

$$c_h = c_v (k_h / k_v) \dots\dots\dots (13)$$
 - b) Menentukan k_h/k_v dengan salah satu metode atau lebih berikut ini.
 - i) Nilai-nilai k_h/k_v yang telah dipublikasi seperti yang diberikan dalam Tabel 5.
 - ii) Mengukur k_v dan k_h di laboratorium dalam uji – k yang disesuaikan, uji – k dalam sel triaxial atau uji konsolidasi.
 - iii) Mengukur k_v dan k_h dengan menggunakan uji permeabilitas *in-situ* untuk mengetahui asumsi-asumsi yang diperlukan sesuai dengan kondisi-kondisi batas dan aliran.
 - c) Mempertimbangkan kemungkinan pengaruh gangguan tanah dan drain dengan menggunakan persamaan desain umum (persamaan (4)), yaitu :
 - i) memperkirakan perkembangan zona gangguan dengan menggunakan persamaan (15), untuk memperoleh nilai perkiraan d_s/d_w ;
 - ii) memperkirakan k_r/k_s akibat pengaruh permeabilitas awal yang anisotropik dan berubah-ubah dengan tahapan gangguan tanah (misalnya jarak radial dari mandrel). Lihat referensi [8];
 - iii) evaluasi kapasitas aliran air drain dengan menggunakan literatur pabrik produksi yang tersedia dan hasil-hasil uji penelitian yang dipublikasi.
- 3) Untuk proyek-proyek utama dan kompleks (kategori C seperti dijelaskan di atas; sulit untuk mencapai prediksi yang tepat dari waktu-laju konsolidasi, panjang drain lebih dari 60 feet (18 m), jumlah drain cukup besar), disarankan hal-hal sebagai berikut.
- a) Menggunakan prosedur pengujian lapangan dan/atau laboratorium yang canggih untuk memperoleh estimasi terbaik dari c_h dan k_h (lihat Bab 5 Pertimbangan desain drain).
 - b) Estimasi parameter d_s dan k_s menggunakan prosedur yang diberikan untuk kategori B.
 - c) Mempertimbangkan penggunaan urugan uji untuk mengamati kinerja sebenarnya. Pada proyek besar, urugan uji yang dilengkapi instrumentasi biasanya cukup memadai untuk memeriksa asumsi desain dan/atau merevisi desain sebelumnya pada konstruksi pemasangan drain.
 - d) Mendapatkan konsultasi dari tenaga ahli geoteknik yang berpengalaman dalam evaluasi parameter tanah dan sistem desain PDVP.
 - e) Memasukkan pertimbangan dari pengaruh gangguan tanah dan drain dengan menggunakan persamaan desain umum (persamaan (4)) dan pertimbangan dari pembahasan dalam Lampiran B.

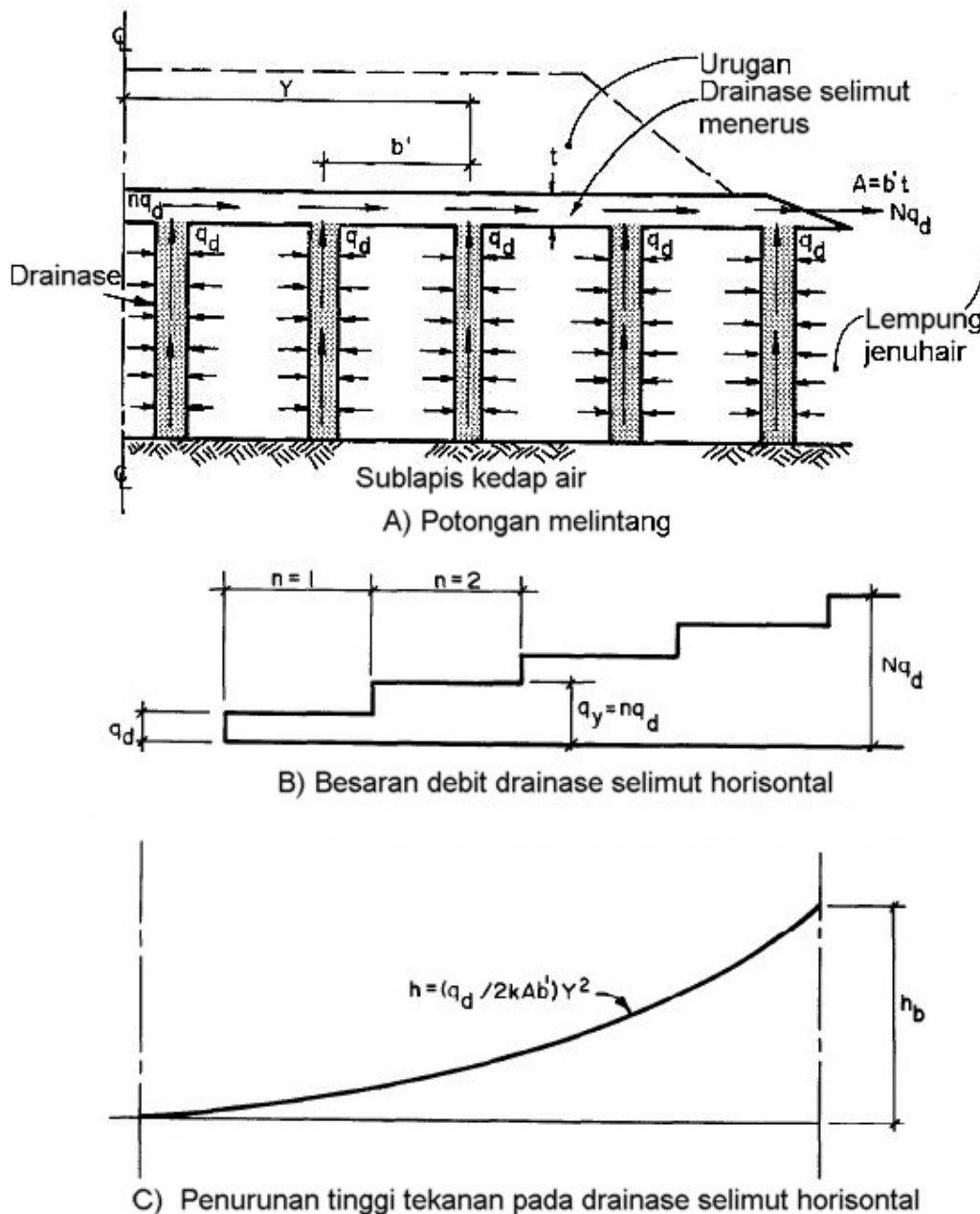
Selain itu, untuk menentukan panjang dan jarak drain yang diperlukan, pendesain juga harus menentukan batasan luas yang diperlukan untuk PDVP. Pita drain vertikal harus dapat menembus setiap tanah kompresif yang memerlukan konsolidasi dipercepat sesuai dengan desain. Tergantung dari tujuan konsolidasi yang diinginkan (misalnya penurunan yang berkurang pascakonstruksi atau stabilitas yang meningkat karena

meningkatnya kekuatan geser), maka batasan luas drainase dapat disesuaikan melebihi luas rencana urugan atau bangunan lainnya.

7.5 Selimut drain horizontal

Dalam mendesain selimut drain horizontal harus memperhatikan hal-hal berikut.

- 1) Air yang merembes dari drain harus dialirkan keluar dari bawah prapembebanan atau beban tambahan. Hal ini dilakukan dengan menggunakan selimut drain yang dibuat antara lapisan tanah dasar dan urugan. Jika material tanah dasar yang muncul di permukaan berupa butiran lulus air, selimut drain mungkin kurang berfungsi. Meskipun demikian, selimut drain tetap harus diperhitungkan dengan seksama sebab akan berdampak pada efisiensi dari sistem drain.



Gambar 18 Selimut drain horizontal

- 2) Dalam mendesain selimut drain, pendesain harus memperhitungkan kehilangan tinggi tekan yang dapat terjadi pada selimut atau tikar drain sebagai pengumpul air drainase dan mengalirkannya ke tepi urugan. Karena itu, untuk memperoleh manfaat PDVP yang maksimum, maka semua air yang merembes keluar dari drain harus dialirkan melalui selimut *outlet* atau drain *outlet* tanpa menimbulkan kehilangan tinggi tekan berlebih. Dari suatu sistem drain sederhana yang ditunjukkan dalam Gambar 18 *Cedergren* [4], tinggi tekan total untuk mengalirkan air dapat dihitung sebagai berikut:

$$h = (q_d y^2) / (2kAb') \dots\dots\dots (18)$$

dengan :

h adalah tinggi tekan total untuk mengalirkan air dari garis sumbu ke titik y .

y adalah jarak dari sumbu ke titik yang ditinjau.

k adalah koefisien permeabilitas dari selimut drain.

A adalah luas potongan melintang dari selimut yang mengalirkan air dari satu baris drain ($A = b' \times$ tebal selimut).

b' adalah jarak antara drain.

q_d adalah laju aliran air dari drain tunggal.

Jumlah total kehilangan tinggi tekan dalam selimut drain adalah :

$$h_b = (q_d b' N^2) / (2 k A) \dots\dots\dots (19)$$

dengan :

N adalah jumlah drain pada satu sisi sumbu.

Jumlah total kehilangan tinggi tekan dalam selimut (h_b) dapat digunakan untuk mengevaluasi apakah selimut drain yang ditentukan sesuai dengan desain dan spesifikasi teknik. Penggunaan pita drain vertikal dimaksudkan untuk meningkatkan kapasitas aliran air drainase dari selimut.

7.6 Prosedur desain drain

Dalam melaksanakan prosedur desain drain harus mempertimbangkan hal-hal berikut.

- 1) Parameter desain sistem drain PDVP ditentukan berdasarkan kriteria desain yang ditentukan atau yang dipilih, yaitu :

\bar{U} adalah derajat konsolidasi rata-rata akibat drain vertikal dan horizontal secara bersamaan

t adalah waktu yang tersedia untuk mencapai \bar{U} .

- 2) Parameter tanah dan drain yang diperlukan terdiri dari :

σ'_{vm} adalah tegangan efektif maksimum tanah deposit yang telah mengalami konsolidasi pendahuluan (tekanan maksimum), yang dievaluasi pada keseluruhan tebal lapisan (kN/m^3).

C_h, C_v adalah koefisien konsolidasi dari drain radial dan vertikal pada tanah takterganggu ($m^2/hari$).

k_h/k_s adalah rasio antara koefisien permeabilitas horizontal pada tanah takterganggu dengan tanah terganggu (-).

RR, CR, C_α adalah rasio rekompresi, rasio kompresi asli, koefisien kompresi sekunder (diperoleh dari uji konsolidasi) (-)

H_d adalah panjang drainase ; (tebal lapisan kompresif pada drainase satu arah; setengah tebal dari lapisan kompresif pada drainase dua arah) (m).

$\sigma'_{vo}, \sigma'_{vf}$ adalah profil tegangan efektif awal dan akhir (kN/m^2).

d_w, q_w	adalah diameter ekivalen dan kapasitas aliran air drain PDVP yang dipilih (m, m ³ /hari)
D	adalah diameter silinder terdrainase oleh PDVP tunggal (m).
d_s	adalah diameter zona tanah terganggu akibat pemasangan drain (m)
L	adalah panjang drain tunggal (m).
S	adalah jarak antarpusat dari PDVP (m) dengan: S=D/1,05 untuk pola segitiga dan S = D/1,13 untuk pola empat persegi.
k_h/q_w	adalah rasio antara koefisien permeabilitas horizontal pada tanah takterganggu dan kapasitas aliran air drainase (m).

3) Pendekatan desain umum untuk menentukan S dan L, terdiri dari yang berikut.

- Memilih jenis PDVP dan prosedur pemasangan berdasarkan kondisi lapangan, tujuan proyek, dan kriteria yang dibahas dalam Bab 6 Evaluasi parameter desain dan Bab 7 Pemilihan dan desain drain.
- Menentukan parameter tanah dengan cara kombinasi antara penyelidikan lapangan dan pengujian laboratorium.
- Estimasi d_s berdasarkan prosedur pemasangan, jenis tanah, dan pertimbangan lain yang dibahas dalam Bab 6 Evaluasi parameter desain.
- Memilih panjang pita drain vertikal percobaan berdasarkan bentuk beban, tebal lapisan dan persyaratan konsolidasi. Biasanya L yang dipilih dapat mencapai atau menembus seluruh lapisan yang mengalami konsolidasi.
- Menghitung \bar{U}_h yang diperlukan setelah mengetahui \bar{U}_v dan \bar{U} dengan menggunakan persamaan (1).
- Memilih nilai D percobaan dan menghitung t menggunakan persamaan (2).
- Membandingkan waktu yang dihitung dengan yang tersedia. Jika waktu yang dihitung melebihi yang tersedia, nilai D harus disesuaikan. Melakukan iterasi hingga waktu yang dihitung lebih kecil dari atau sama dengan waktu yang tersedia.
- Evaluasi kelayakan nilai L percobaan (khususnya untuk drain yang hanya menembus sebagian lapisan yang mengalami konsolidasi).
- Menggabungkan hasil desain drain dan biayanya ke dalam evaluasi keseluruhan dari desain beban tambahan atau prapembebanan.

(Pendekatan desain ini biasanya dilakukan dalam dua tahap. Langkah 1 sampai 4 khususnya diperlukan untuk menentukan pertimbangan dan pemahaman tentang mekanika tanah yang harus dilakukan oleh tenaga ahli geoteknik yang berpengalaman).

7.7 Contoh desain

Contoh desain dalam Lampiran C menggambarkan penggunaan persamaan desain yang dibahas dalam Bab 5 Pertimbangan desain dan Bab 6 Evaluasi parameter desain.

7.8 Spesifikasi

Pendesain harus mempertimbangkan persiapan spesifikasi PDVP sebagai bagian dari proses desain PDVP. Persiapan spesifikasi PDVP memerlukan pertimbangan yang seksama tentang sifat-sifat tanah di lapangan, persyaratan desain dan produk PDVP yang dapat diterima, dan kemungkinan pengaruh pemasangan.

Spesifikasi PDVP tipikal terdiri dari komponen-komponen utama berikut ini.

- 1) Deskripsi
- 2) Definisi
- 3) Material
 - a) Umum
 - b) Selimut (*jacket*)
 - c) Inti
 - d) Pita drain vertikal prefabrikasi yang dipasang
 - e) Uji mutu (*quality control*)
- 4) Alat pemasangan
- 5) Prosedur pemasangan
- 6) Pengukuran kuantitas
- 7) Dasar pembayaran

Perluasan dari tiap-tiap kategori utama secara terperinci akan tergantung pada berbagai faktor, yang terdiri dari :

- a) ukuran proyek;
- b) tingkat kecanggihan desain;
- c) kepekaan parameter tanah terhadap pengaruh pemasangan;
- d) jenis PDVP tertentu.

Spesifikasi umum (produk umum) yang diberikan dalam Lampiran D merupakan petunjuk persiapan spesifikasi drain PDVP untuk suatu proyek. Spesifikasi ini cukup terperinci dan terdiri dari persyaratan parameter seperti kapasitas aliran air. Bila spesifikasi ini memadai, uraian dalam spesifikasi dapat digunakan untuk memberikan pedoman penggunaannya.

Pendesain harus menentukan kebijaksanaan atau keputusan dengan hati-hati sesuai dengan tingkat spesifikasi terperinci yang diperlukan. Sebagai contoh untuk proyek kecil (misalnya kategori A yang ditentukan dalam Bab 6 Evaluasi parameter desain) tidak akan mempertimbangkan tahapan rinci dalam spesifikasi umum seperti disajikan dalam Lampiran D.

8 Konstruksi pemasangan drain

8.1 Pendahuluan

Langkah-langkah utama dalam pemasangan PDVP terdiri dari persiapan lapangan, konstruksi selimut drain dan/atau pengerjaan tikar, dan pemasangan drain. Prosedur dapat berubah-ubah sesuai dengan kondisi lapangan, kontraktor bidang khusus pemasangan drain, alat pemasangan, dan jenis PDVP yang akan dipasang. Yang penting pendesain harus dapat mengantisipasi prosedur dan pekerjaan pemasangan atau kondisi lapangan yang mungkin mempengaruhi kinerja drain. Pembahasan secara kualitatif dan aspek-aspek pelaksanaan pemasangan dikelompokkan dalam persiapan lapangan termasuk konstruksi selimut drain, pelaksanaan pemasangan drain, dan pemilihan kontraktor.

8.2 Persiapan lapangan

Sebelum pemasangan PDVP dilakukan, biasanya perlu dilakukan beberapa pekerjaan lapangan secara umum, yang tergantung pada kondisi lapangan berikut.

- 1) Penggalian dengan cara memindahkan tanaman, batang pohon di permukaan, tanah padat, tanah yang mengandung kerakal atau material lain (tanah membeku, puing bangunan, dan lain-lain) yang akan mengganggu pelaksanaan pemasangan PDVP.
- 2) Perataan lapangan untuk membantu kelancaran pekerjaan pemasangan PDVP yang telah ditentukan dan selimut drain agar berfungsi sesuai dengan desain. Tanah dengan kemiringan kecil 2% sampai dengan 5% dapat menimbulkan kesulitan dalam pelaksanaan pemasangan. Pada umumnya alat pemasangan PDVP yang digunakan pada permukaan lereng yang curam akan kehilangan efisiensi produksi. Biaya relatif untuk perataan harus diperhitungkan dengan biaya akibat berkurangnya efisiensi produksi.
- 3) Pemasangan lapisan matras lantai kerja dan selimut drain dengan cara memasang matras lantai kerja untuk menyokong konstruksi lalu-lintas dan pemasangan beban perlengkapan, tergantung pada kondisi lapangan dan jenis alat pemasangan. Lapisan matras lantai kerja dapat juga berfungsi sebagai selimut drain atau selimut drain digabungkan dengan lapisan matras lantai kerja. Jika selimut drain dipasang terlebih dahulu pada drain atau sebagai bagian dari lapisan matras lantai kerja, maka selimut drain harus dilindungi terhadap proses pembekuan dan pencemaran. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi gangguan tanah permukaan karena operasional peralatan konstruksi. Jika tanah permukaan sangat terganggu sehingga PDVP tergeser atau rusak pada permukaan, hubungan PDVP dengan selimut drain menjadi tidak baik. Kontinuitas antara drain dan selimut drain harus diperhitungkan dalam desain lapisan matras lantai kerja dan/atau selimut drain.

8.3 Alat pemasangan drain

Walaupun terdapat banyak jenis alat pemasangan drain, tetapi secara umum bentuknya sama dan ada yang dapat mempengaruhi langsung kinerja PDVP. Perlengkapan pemasangan PDVP tipikal ditunjukkan pada Gambar 13. Perlengkapan pemasangan biasanya disusun dengan rel derek tiang atau ban karet untuk proyek-proyek yang lebih kecil.

Aspek-aspek peralatan pemasangan drain yang harus dipertimbangkan oleh pendesain terdiri dari yang berikut.

- 1) Mandrel untuk melindungi PDVP pada waktu pelaksanaan pemasangan dan memberikan kesempatan untuk proses drain dengan adanya perpindahan tanah selama penetrasi. Perpindahan tanah yang menyebabkan peremasan (*remolding*) tanah biasanya akan mengganggu konsolidasi radial.

Luas potongan melintang mandrel rata-rata adalah 10 in² (65 cm²) walaupun luasnya mungkin berkisar antara 5 sampai 20 in² (32 sampai 129 cm²). Untuk mengurangi luas mandrel dan pergeseran yang terjadi, diperlukan mandrel kaku untuk melakukan penetrasi melalui tanah padat dan mengatur garis arah atau alinyemen vertikal.

Bentuk mandrel tipikal berupa empat persegi atau belah ketupat, tetapi pengaruh bentuk pada gangguan akibat penetrasi mandrel belum diketahui.

- 2) Metode penetrasi digunakan untuk memasukkan mandrel ke dalam tanah kompresif dengan menggunakan gaya statik atau gaya getar. Gaya statik bekerja atas dasar berat mandrel yang digabung dengan berat mati pada puncak mandrel atau berat perlengkapan alat pemasangan. Metode getaran dilakukan dengan menggunakan alat getar jenis konstruksi besar yang serupa dengan yang digunakan untuk memasang tiang atau tiang pancang.

Gaya penetrasi diestimasi secara khusus oleh kontraktor berdasarkan pengalaman pada kedalaman penetrasi tanah yang sejenis. Pendesain harus memperhitungkan besar gaya penetrasi statik dan atau penetrasi getar yang ditentukan.

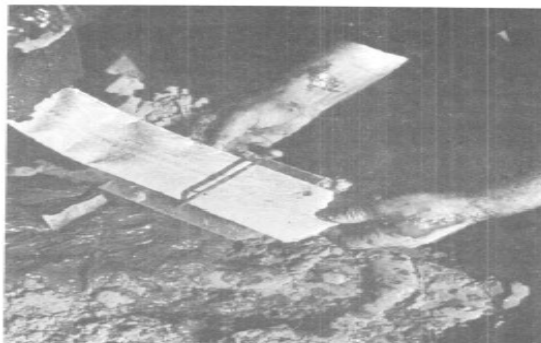
Penggunaan gaya getar harus dipertimbangkan dengan hati-hati sehingga gangguan perubahan sifat tanah (misalnya permeabilitas menurun atau *remolding* meningkat) dapat diantisipasi. Tanah yang rentan dapat terdiri dari tanah sensitif dan yang mengandung serat makro (berlapis-lapis, lensa-lensa pasir dan lanau, dan lain-lain). Pada proyek yang besar dan/atau kritis, pengujian dapat dilakukan dengan menggunakan metode penetrasi yang berbeda untuk mengevaluasi pengaruh gangguan.

- 3) Berat peralatan harus dipertimbangkan terhadap stabilitas tanah dasar lapisan matras lantai kerja dan berat keseluruhan atau daya dukung akibat alat pemasangan untuk mengurangi terjadinya permasalahan konstruksi. Penentuan berat maksimum alat dan/atau daya dukung yang dapat diterima tidak mudah ditentukan sebab pendesain tidak membatasi hal-hal yang berkaitan dengan peralatan konstruksi. Selain itu, pendesain juga harus memahami bahwa ketidakstabilan dapat diakibatkan oleh faktor lain, misalnya pola lalu-lintas alat, yang biasanya tidak ditentukan dalam dokumen kontrak.

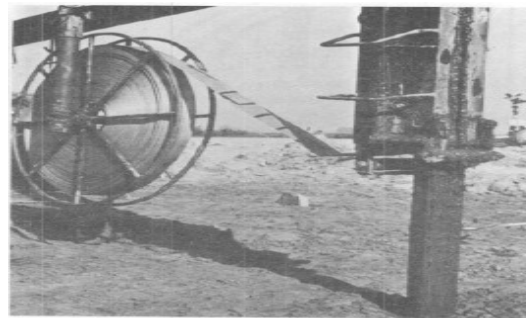
8.4 Prosedur pemasangan drain

Lokasi pemasangan PDVP dapat ditentukan dengan cara prapengeboran untuk menembus material yang merintang (batang pohon, tanah membeku, tanah berkerakal, atau tanah yang sangat padat). Cara prapengeboran terdiri dari penggunaan *jetting*, bor tangan, atau alat pemukul hidraulik.

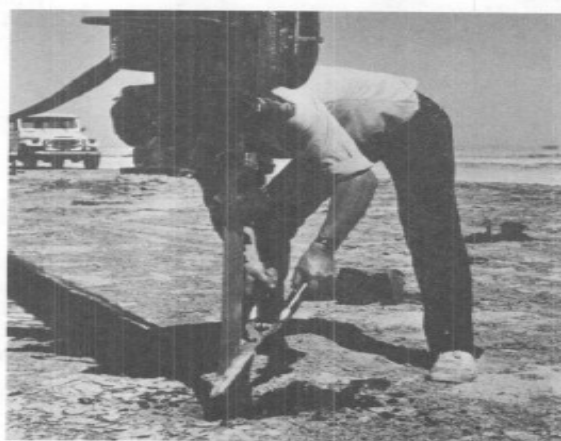
Urutan pelaksanaan pemasangan tipikal (diperlihatkan pada Gambar 19) adalah sebagai berikut.



a) Penempatan jagkar diatas drainase PV



b) Penusukan mandrel kedalam tanah

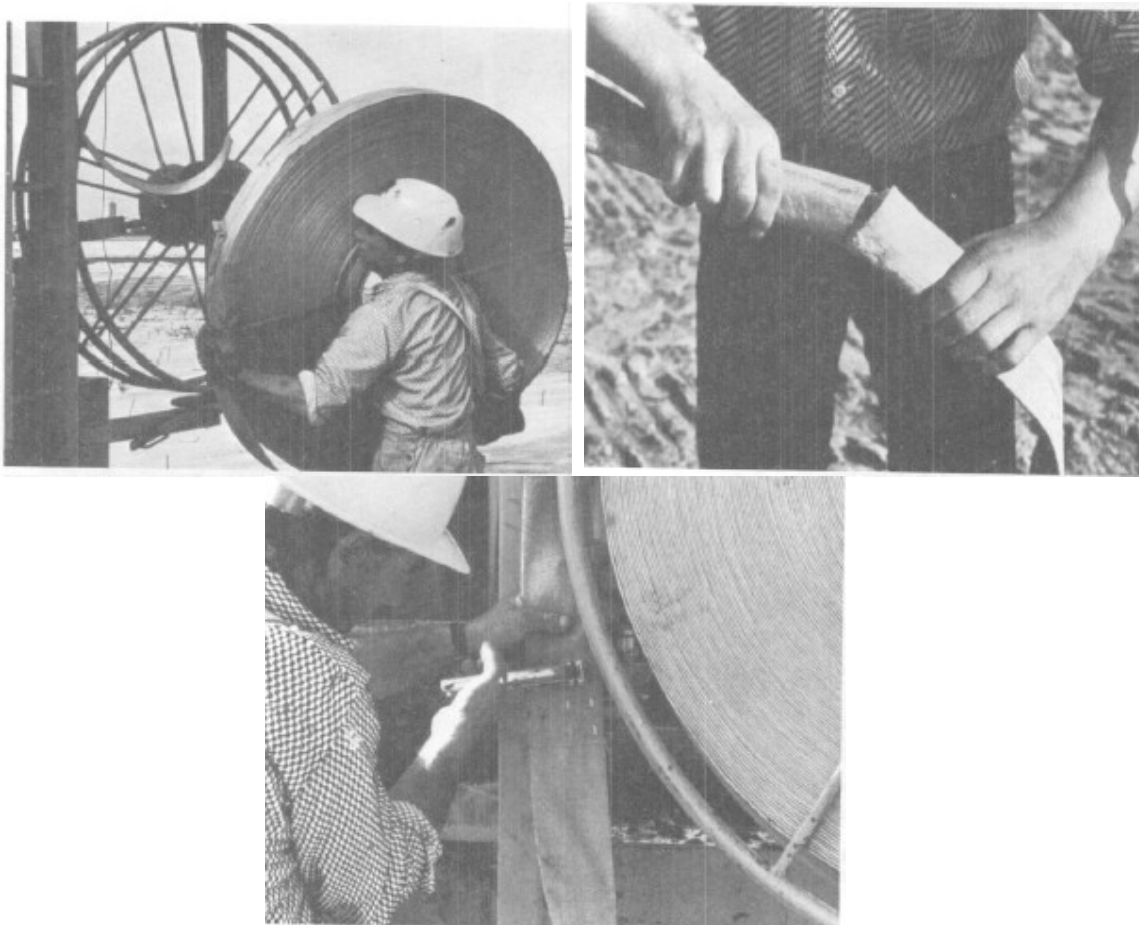


c) Pemotongan drainase setelah pencabutan mandrel

Gambar 19 Prosedur pemasangan PDVP tipikal (foto yang diberikan oleh *Geotechnics Holland, BV*)

- 1) Perlengkapan alat pemasangan ditempatkan dengan mandrel di atas lokasi drain.
- 2) Angker ditempatkan pada ujung PDVP (lihat Gambar 19a).
- 3) Mandrel dipenetrasi ke dalam tanah sampai kedalaman yang diinginkan (lihat Gambar 19b).
- 4) Mandrel ditarik kembali.
- 5) Material drain dipotong di atas selimut drain atau di atas lapisan matras lantai kerja dengan menyisakan panjang ekstra untuk selimut drain (lihat Gambar 19c).

Kinerja drain dipengaruhi oleh persiapan lapangan, alat pemasangan, dan prosedur pelaksanaan pemasangan yang dilakukan. Pembahasan tentang prosedur pelaksanaan pemasangan dan kemungkinan perluasannya adalah sebagai berikut.



Gambar 20 Prosedur penyambungan PDV P tipikal
(foto diberikan oleh *Geotechnics Holland, BV*)

- 1) Laju kenaikan mandrel harus dikontrol untuk menghindari pelendutan atau defleksi arah vertikal yang signifikan. Penetrasi tidak boleh terputus-putus dan laju tipikalnya kira-kira 0,5 – 2 feet per detik (0,15 – 0,60 m/dt).
- 2) Pada ujung gulungan PDVP biasanya terdapat sambungan bagian sisa untuk gulungan pita baru supaya material tidak terbuang. Sambungan yang tidak diperlukan tidak akan disetujui dan sebaiknya tidak dibuat. Sambungan yang diperlukan sebaiknya dibuat terlebih dahulu sebelum melakukan penetrasi mandrel sehingga penetrasi tidak menjadi terputus-putus.

Prosedur penyambungan khusus diperlihatkan pada Gambar 20. Persyaratan utama pada sambungan adalah integritas drain harus dipertahankan, baik dalam sifat kekuatan maupun hidraulik. Inti dan selimut harus disambung dengan cara *overlapping* sebesar kira-kira 6 in (15 cm). Untuk drain tak terikat, bagian inti harus berhubungan langsung bila sambungan telah selesai dikerjakan.

- 3) Kinerja sistem pemasangan PDVP berkaitan dengan asumsi dari persamaan desain yang tergantung pada drain yang dipasang secara vertikal. Deviasi dari arah vertikal dapat menyebabkan besaran dan laju penurunan tidak merata karena adanya perubahan jarak drain dengan kedalaman. Drain harus dipasang dengan mandrel lurus yang berdeviasi maksimum sebesar 0,2 ft (0,06 m) dari posisi vertikal dengan panjang lebih dari 10 ft (3 m).
- 4) Secara umum penggunaan angker ditempatkan pada dasar tip dari PDVP. Angker dapat berupa batang, pipa, atau pelat yang dibuat secara khusus. Ukuran, bentuk, dan kekakuan angker relatif dibanding dengan mandrel akan mempengaruhi jumlah gangguan sekeliling mandrel. Angker harus disusun agar dapat memberikan potongan melintang terkecil sesuai dengan keperluan dan atau kesukaran pengangkatan. Biasanya angker berukuran sedikit lebih besar dari mandrel, tetapi masih cukup kecil agar dapat menangani gangguan tanah.

8.5 Interaksi kontraktor

Kontraktor biasanya memberikan beberapa alternatif penggunaan produk drain yang dapat dipasang oleh kontraktor bidang khusus. Karena berbagai jenis drain merupakan produk pabrik pembuat, tiap-tiap alternatif drain dapat dipasang oleh subkontraktor bidang khusus yang berbeda. Biasanya untuk kontrak konstruksi jalan raya umum yang ditawarkan, kontraktor umum yang berpotensi akan meminta tawaran atau merundingkannya dengan beberapa subkontraktor bidang khusus PDVP. Sistem ini akan menciptakan lingkungan persaingan yang baik untuk harga maupun untuk penggantian alternatif produk PDVP. Karena itu, pendesain harus melakukan hal-hal sebagai berikut.

- 1) Melakukan penelitian sebagai pengganti produk PDVP yang tersedia selama tahap desain.
- 2) Memilih jenis drain alternatif yang dapat diterima setelah melakukan pertimbangan yang seksama.
- 3) Melatih kontraktor umum berkenaan dengan keperluan untuk meningkatkan kualitas kemampuan kerja dan/atau pengalaman sebelumnya dalam pemasangan drain.
- 4) Mempertimbangkan penunjukan kontraktor bidang khusus yang terjamin dan sudah berpengalaman dalam pemasangan PDVP terutama bila pemasangan drain merupakan masalah utama.

Tergantung pada kompleksnya proyek yang menggunakan PDVP, pendesain juga harus mempertimbangkan prosedur berikut ini.

- 1) Apabila pemasangan PDVP dilakukan oleh kontraktor bidang khusus yang berpengalaman, biasanya prakualifikasi tidak diperlukan. Akan tetapi, untuk proyek yang kompleks dengan kinerja drain dalam keadaan kritis atau pekerjaan drain dipasang oleh kontraktor umum, pendesain harus mempertimbangkan untuk meminta prakualifikasi dari kontraktor bidang khusus pemasangan PDVP untuk menghindari masalah dengan kontraktor yang kurang berpengalaman.
- 2) Pada umumnya proyek-proyek besar melakukan pertemuan prapenawaran untuk membahas perincian proyek dan permasalahan sebelum penawaran. Pertemuan prapenawaran sebaiknya dilakukan untuk proyek-proyek yang akan memasang PDVP sebab merupakan saat yang tepat untuk pendesain dalam memilih kriteria yang akan

digunakan untuk evaluasi setiap alternatif produk pita drain vertikal jika diperlukan penggantian.

- 3) Pertemuan prakonstruksi dianjurkan pada proyek-proyek yang memasang PDVP sehingga pendesain, kontraktor umum, dan subkontraktor pemasangan PDVP dapat membahas rincian uji drain (jika perlu) dan proses pemasangan PDVP, sebelum mengangkut peralatan dan material ke lapangan.

9 Pengawasan konstruksi pemasangan drain

9.1 Pendahuluan

Untuk pemasangan PDVP sesuai dengan yang desain, pita drain vertikal harus dipasang sesuai dengan gambar dalam desain kontrak dan spesifikasi. Petugas pemantau lapangan harus memahami prosedur pemasangan yang benar dan kemungkinan perluasan deviasinya. Uraian tentang prosedur pengawasan konstruksi pemasangan yang harus dipertimbangkan untuk proyek-proyek bangunan yang memasang PDVP disajikan berikut ini.

9.2 Desain secara umum

Petugas pemantau konstruksi pemasangan harus memahami dengan cermat gambar-gambar dalam desain kontrak, spesifikasi, dan setiap lampiran yang terkait. Pemahaman ini harus secara luas termasuk di luar spesifik PDVP yaitu meliputi persiapan lapangan, instrumentasi geoteknik, penempatan urugan, dan setiap butir kontrak lainnya yang akan mempengaruhi atau dipengaruhi oleh pemasangan PDVP.

Selain mengetahui persyaratan gambar desain kontrak dan spesifikasi, petugas lapangan juga harus memahami maksud dan tujuan desain serta kemungkinan implikasinya jika prosedur lapangan tidak sesuai dengan desain. Untuk menjaga kontinuitas dari maksud dan tujuan desain, pendesain harus tetap terlibat selama pelaksanaan sistem PDVP dan proses pengawasan selanjutnya.

9.3 Persiapan lapangan

Persiapan lapangan termasuk setiap proses penggalian dan perataan dapat mempengaruhi kinerja drain dalam beberapa hal. Karena itu, petugas lapangan harus mengamati hal-hal berikut ini.

- 1) Lapangan harus diratakan mengikuti tingkatan sesuai dengan gambar desain kontrak. Permukaan tanah dapat dipapas sampai rata atau dipancang tergantung pada kondisi lapangan dan/atau kondisi drain yang diinginkan. Jika permukaan tanah tidak dapat diratakan, selimut drain tidak akan berfungsi dengan baik.
- 2) Kondisi tanah yang terkupas pada waktu pekerjaan lapangan harus diamati untuk menentukan apakah tetap konsisten dengan kondisi yang dialami dalam pengeboran uji atau sumur uji dan asumsi desain. Hasil pengamatan lapangan harus dibahas bersama dengan pendesain.
- 3) Prosedur survei lapangan untuk melaksanakan pemancangan lokasi-lokasi pita drain vertikal harus dipantau. Walaupun hal ini merupakan tanggung jawab kontraktor bidang khusus untuk menentukan posisi drain yang tepat, tetapi petugas lapangan harus memeriksa apakah pengujian telah dilakukan dan lokasi-lokasi yang dipancang sesuai dengan gambar desain kontrak. Dalam kondisi kritis, kemungkinan perlu dilakukan survei pemeriksaan oleh petugas teknik lapangan.
- 4) Selama pelaksanaan konstruksi lapisan matras lantai kerja atau selimut drain, petugas pemantau lapangan harus memperhatikan setiap indikator gangguan tanah permukaan (pemompaan, penggelembungan, pergeseran lateral dan lain-lain).

- 5) Jika diperlukan prapengeboran, harus dilakukan pemantauan yang teliti untuk memeriksa apakah prapengeboran telah dilaksanakan dengan seksama sampai kedalaman yang diperlukan dengan diameter dan cara yang tepat tanpa menyebabkan gangguan tanah berlebih atau pencemaran selimut. Petugas pemantau lapangan harus menyimpan data yang akurat dan terperinci dari hasil prapengeboran pada tiap-tiap lokasi drain (misalnya hasil penggalian, kondisi air tanah, dan lain-lain).

9.4 Material dan peralatan pemasangan drain

Petugas pemantau lapangan harus memeriksa apakah peralatan dan material yang diusulkan kontraktor sesuai dengan dokumen kontrak atau tidak. Butir-butir penting yang harus diperiksa terdiri dari beberapa hal berikut.

- 1) Peralatan yang mencakup :
 - a) metode penetrasi statik atau dinamik (dengan getaran);
 - b) ukuran, bentuk dan kekakuan mandrel;
 - c) ukuran, bentuk, dan jenis angker;
 - d) peralatan untuk memeriksa kedalaman penetrasi;
 - e) berat peralatan.
- 2) Material yang mencakup :
 - a) nama dan nomor model PDVP;
 - b) dimensi PDVP (lebar dan tebal);
 - c) perbandingan antara contoh PDVP yang diusulkan dengan contoh penawaran dari kontraktor;
 - d) contoh-contoh sambungan yang diusulkan;
 - e) angker.

9.5 Pelaksanaan pemasangan drain

Dalam melaksanakan pemasangan drain harus diperhatikan hal-hal berikut.

- 1) Pemasangan PDVP percobaan sebaiknya dilakukan untuk mengevaluasi peralatan pemasangan drain dan prosedur umum untuk proyek-proyek terkait. Pendesain dan petugas lapangan harus mengenal keadaan lapangan dengan baik pada waktu pelaksanaan pemasangan drain percobaan. Petugas pelaksanaan dan pemantauan yang sama harus mengamati dengan cermat, baik pada pemasangan drain percobaan maupun pada pemasangan drain sebenarnya.
- 2) Perbedaan prosedur pemasangan, khususnya prapengeboran dan gaya penetrasi serta metode penanganan rintangan, harus dievaluasi selama program percobaan berlangsung. Jika pemasangan drain percobaan menunjukkan bahwa diperlukan gaya getaran, program percobaan harus dilakukan untuk mengevaluasi jumlah minimum getaran (intensitas dan kedalaman) yang diperlukan. Rintangan dapat ditangani dengan prapengeboran atau dengan pemasangan drain lain sebagai pengganti kerugian ringan yang mungkin terjadi di lokasi yang mengalami rintangan.
- 3) Jika kondisi berbeda dengan asumsi desain, diperlukan kemampuan modifikasi desain. Selama pemasangan drain, petugas pemantau lapangan harus mengamati prosedur pemasangan apakah sesuai dengan spesifikasi kontrak untuk lokasi horizontal, stabilitas mandrel dan laju penetrasi, kedalaman pemasangan, alinyemen vertikal, penyambungan, dan dinding halang (*cutoff*) drain.

- 4) Selain faktor-faktor yang dibahas di atas, personel pemantau lapangan harus menyadari dan mengamati masalah yang berpotensi lainnya meliputi :
 - a) ketidaktepatan alat kalibrasi pada perlengkapan peralatan;
 - b) persoalan potongan dengan anker;
 - c) pelendutan (*bowing*) atau pelenturan mandrel;
 - d) integritas atau keutuhan (pengoyakan, penyobekan dan lain-lain) dari produk pita drain vertikal;
 - e) penyimpanan yang baik untuk material drain sebelum digunakan, terutama perlindungan terhadap sinar matahari dan temperatur beku.

9.6 Selimut drain

Tujuan utama desain selimut drain adalah untuk menyalurkan air keluar dari drain dan biasanya juga digunakan sebagai lapisan matras lantai kerja. Kondisi lapangan dan kegiatan pelaksanaan dapat mempengaruhi fungsi selimut drain karena faktor-faktor berikut.

- 1) Infiltrasi dari tanah dasar berbutir halus atau material pencemar lainnya ke dalam selimut berbutir kasar yang dapat mengganggu drain.
- 2) Penyumbatan bagian puncak drain dan/atau selimut yang dapat mengganggu drain.
- 3) Deviasi jarak yang besar antara selimut drain dan tanah dasar terhadap kemiringan desain yang dapat mengubah drain.

Petugas pemantau lapangan harus mengamati setiap indikator dari kondisi yang berpotensi merugikan yang serupa dan melaporkannya kepada pihak pendesain.

9.7 Instrumentasi geoteknik

Kondisi sulit dari setiap proyek yang mengalami konsolidasi tanah berbutir halus adalah pengukuran derajat konsolidasi sebenarnya akibat beban lapangan. Hal ini harus dilakukan secara khusus dengan menggunakan instrumentasi geoteknik, beberapa dipasang sebelum pemasangan drain dan sisanya sebelum pelaksanaan pengurugan. Alat-alat ukur penurunan dan pisometer masing-masing digunakan untuk mengukur penurunan dan disipasi tekanan air pori berlebih.

Pendesign harus menggunakan referensi lain yang tersedia [14,15] untuk mengembangkan program instrumentasi yang memadai bagi suatu proyek khusus.

Sebagai pedoman umum instrumentasi harus mencakup hal-hal berikut.

- 1) Sebuah kombinasi dari sumur-sumur observasi air tanah dan pisometer diperlukan untuk memberikan profil tekanan air pori yang lengkap sebelum pelaksanaan pemasangan drain. Pada umumnya sumur-sumur observasi airtanah dan pisometer harus dipasang sebelum pelaksanaan pemasangan drain untuk memantau pengaruh pemasangan drain.
- 2) *Platform* atau batas-batas penurunan harus dipasang di dasar selimut drain, di tengah-tengah kedalaman dan di dasar lapisan kompresif sebelum pemasangan drain dilakukan.
- 3) Instrumentasi harus dipasang dengan jumlah yang cukup sesuai dengan kondisi lapangan (perlapisan tanah) untuk mengantisipasi tidak berfungsinya alat (misal pisometer minimal pada segmen paling dalam) dan/atau kerusakan sepanjang periode terjadinya penurunan.

Analisis data tekanan air pori terutama dipengaruhi oleh lokasi pisometer yang relatif berdekatan dengan drain. Pisometer pada sumur-sumur observasi air tanah harus dipasang sama jauhnya dari drain yang berdekatan. Yang terpenting, drain yang berdekatan harus dijaga agar dapat berdiri vertikal.

10 Pertimbangan biaya

10.1 Pendahuluan

Adanya produk alternatif PDVP dan laju produksi baru yang ada sekarang merupakan indikator baik dari persaingan pasar. Oleh karena itu, dalam mengestimasi biaya sistem PDVP, tiap-tiap proyek harus mempertimbangkan faktor persaingan alami pasar produk PDVP secara keseluruhan.

10.2 Faktor-faktor biaya

Faktor-faktor biaya untuk keperluan konstruksi drain vertikal perlu memperhatikan hal-hal berikut.

- 1) Dalam proses desain PDVP, pendesain harus mempertimbangkan faktor-faktor berikut yang dapat mempengaruhi biaya proyek.
 - a) Pekerjaan lapangan seperti telah diuraikan dalam Bab 8 tentang Konstruksi pemasangan drain.
 - b) Biaya untuk drain PDVP pada dasarnya lebih murah daripada drain pasir, tetapi biaya material tetap lebih signifikan. Untuk proyek tipikal biaya PDVP kira-kira 40% - 50% dari biaya pemasangan per satuan panjang. Dalam persaingan pasar biasanya biaya material akan sama untuk produk tertentu.
 - c) Biaya pemasangan drain yang dilakukan setelah lapisan matras lantai kerja terpasang akan tergantung pada jarak dan panjang PDVP yang akan digunakan. Pemasangan secara tipikal dilakukan dengan faktor jarak 1 m - 3 m (3 ft - 9 ft) dan panjang 10 m - 20 m (30 ft - 60 ft). Namun, faktor-faktor ini akan berbeda untuk geometri dan kondisi bangunan proyek tertentu.
 - d) Kondisi tanah permukaan untuk prapengeboran akan mempengaruhi besarnya biaya. Karena itu, pendesain harus mengevaluasi data geoteknik yang tersedia untuk mengantisipasi prapengeboran dan mengestimasi biaya drain sesuai dengan kedalaman yang diperlukan.
- 2) Berdasarkan persamaan (8), (16) dan (17), biaya pemasangan PDVP yang diperlukan (termasuk biaya untuk mempercepat konsolidasi) berkaitan dengan faktor-faktor berikut:
 - a) berbanding terbalik dengan S^2 ;
 - b) berbanding terbalik dengan c_h ;
 - c) berbanding terbalik dengan t yang diizinkan;
 - d) berbanding lurus dengan $\ln(1 / (1 - \bar{U}_h))$.
- 3) Desain PDVP dimaksudkan untuk membuat sistem desain drain dengan mempertimbangkan biaya yang paling rendah dan efektif serta memenuhi persyaratan desain proyek dan faktor-faktor yang dapat dikontrol.
- 4) Jarak drain merupakan faktor utama yang dapat dikontrol dan mempengaruhi biaya desain untuk pemasangan PDVP. Karena biaya relatif untuk mempercepat konsolidasi adalah berbanding terbalik dengan S^2 , peningkatan sedikit saja jarak drain akan menyebabkan biaya jauh lebih rendah. Variabel lainnya (c_h , t dan \bar{U}_h) berpengaruh pada jarak drain tersebut.
- 5) Pengontrolan waktu konsolidasi yang tersedia merupakan faktor utama karena tergantung pada keterbatasan pembangunan proyek. Jika memungkinkan, waktu konsolidasi dapat berlangsung selama waktu proyek keseluruhan. Karena biaya untuk mempercepat konsolidasi berbanding terbalik dengan waktu yang tersedia, peningkatan waktu konsolidasi akan menyebabkan penghematan biaya secara langsung.

- 6) Derajat konsolidasi rata-rata yang diperlukan (\overline{U}_h) merupakan variabel utama dalam desain. Karena biaya percepatan konsolidasi relatif berbanding lurus dengan logaritma normal dari kebalikan ($1 - \overline{U}_h$), perubahan kecil \overline{U}_h hanya menyebabkan sedikit perubahan dalam biaya.
- 7) Sebagai referensi umum, dalam tahun 1986 biaya pemasangan PDVP mencapai \$0,75-\$1,00 per *feet* tanpa biaya selimut drain, matras lantai kerja, mobilisasi dan demobilisasi, prapengeboran, atau biaya tambahan lainnya, dan dengan anggapan bahwa panjang dan jumlah drain pada proyek yang cukup bersaing dalam penawaran. Biaya pemasangan PDVP untuk suatu proyek tertentu sangat berkaitan dengan faktor-faktor yang telah diuraikan di atas.

Lampiran A
(Normatif)
Persamaan desain

1 Persamaan desain umum untuk pita drain vertikal

Laju konsolidasi dalam keadaan prakompresi pada umumnya dianalisis dengan menggunakan teori konsolidasi untuk drain satu dimensi yang dikembangkan oleh *Terzaghi*. Persamaan yang dimaksud adalah

$$\rho_t / \rho_f = \overline{U}_v \dots\dots\dots (20)$$

dengan :

\overline{U}_v adalah derajat konsolidasi rata-rata dari pita drain vertikal (-);

ρ_t adalah penurunan konsolidasi pada waktu antara (m);

ρ_f adalah penurunan konsolidasi akhir (m).

Harga \overline{U}_v berkaitan dengan faktor waktu tanpa dimensi T_v , yaitu :

$$T_v = (c_v t) / (H_d)^2 \dots\dots\dots (21)$$

dengan keterangan :

c_v adalah koefisien konsolidasi untuk drain vertikal (m²/hari)

t adalah waktu (hari)

H_d adalah panjang drain vertikal (m).

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara T_v dan \overline{U}_v dan kondisi drain satu dimensi yang diasumsi. Teori *Terzaghi* hanya untuk mengaplikasikan konsolidasi primer (utama) dan berdasarkan pada beberapa asumsi berikut.

- 1) tanah jenuh dan homogen;
- 2) aliran dan kompresi adalah satu dimensi;
- 3) nilai c_v , m_v dan k tetap konstan selama konsolidasi;
- 4) regangan vertikal kecil;
- 5) beban dikerjakan dengan segera.

Teori konsolidasi untuk drain vertikal telah dikembangkan oleh *Barron* [2] untuk menganalisis kinerja drain pasir. Untuk keadaan drain radial saja, solusi *Barron* adalah:

$$\overline{U}_h = 1 - \exp^{(-8T_h^{(n)})} \dots\dots\dots (22)$$

$$\overline{U}_h = 1 - (u / u_o) \dots\dots\dots (23)$$

dengan :

u adalah tekanan air pori berlebih rata-rata melalui masa tanah pada waktu t (u_o pada waktu $t = 0$).

$F(n)$ adalah $(n^2 / (n^2 - 1)) \ln(n) - (3n^2 - 1) / (4n^2) \dots\dots\dots (24)$

n adalah $(r_e / r_w) = D / d_w =$ rasio jarak $\dots\dots\dots (25)$

T_h adalah $c_h t / D^2 =$ faktor waktu secara horizontal $\dots\dots\dots (26)$

c_h adalah koefisien konsolidasi untuk drain horizontal ($m^2/hari$) .
 D adalah diameter silinder pengaruh dari drain.

Barron menggunakan asumsi-asumsi dasar sebagai berikut.

- 1) Lempung bersifat jenuh dan homogen.
- 2) Semua regangan kompresif dalam masa tanah terjadi dalam arah vertikal.
- 3) Tidak ada aliran air pori.
- 4) Berlaku hukum *Darcy* untuk permeabilitas. Koefisien permeabilitas k tidak tergantung pada lokasi.
- 5) Air pori dan butiran mineral bersifat inkompresif bila dibandingkan dengan kerangka lempung.
- 6) Tambahan (*increment*) beban pada awalnya dipengaruhi oleh tekanan air pori berlebih u .
- 7) Tidak ada tekanan air pori berlebih dalam drain.
- 8) Zona pengaruh dari tiap-tiap drain berbentuk silinder.

Barron juga telah mengembangkan persamaan (22) dengan memperhitungkan pengaruh gangguan tanah sekeliling dan drain. Persamaan terperinci tidak disajikan di sini, tetapi hanya yang disederhanakan saja.

2 Modifikasi persamaan desain umum

Hansbo [9] telah memodifikasi persamaan yang dikembangkan oleh *Barron* untuk aplikasi drain PDVP. Dengan menggunakan pendekatan teoritis yang sama seperti *Barron*, modifikasi *Hansbo* memperlakukan asumsi-asumsi penyederhanaan akibat dimensi fisik dan karakteristik drain PDVP.

2.1 Jarak drain

Persamaan (24) dapat disederhanakan sebagai berikut.

$$F(n) = (n^2 / (n^2 - 1)) \ln(n) - (3n^2 - 1) / (4n^2) \dots\dots\dots (24)$$

$$F(n) = (n^2 / (n^2 - 1)) \ln(n) - 3/4 - (1 / 4n^2) \dots\dots\dots (27)$$

Dengan anggapan $1/n^2 = 0$, dan berhubung secara khusus n adalah 20 atau lebih, dan $(n^2 / (n^2 - 1)) = 1$, maka persamaan (27) disederhanakan menjadi.

$$F(n) = \ln(n) - 3/4 \dots\dots\dots (28)$$

2.2 Pengaruh tahanan terhadap drain

Karena drain PDVP mempunyai permeabilitas yang terbatas dalam arah memanjang (misal karena kapasitas aliran air drainase vertikal yang terbatas), *Hansbo* telah mengembangkan faktor pengaruh drain (F_r) dengan menganggap berlaku juga hukum *Darcy* pada aliran air sepanjang sumbu vertikal drain. Persamaan yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

$$F_r = \pi z (L - z) (k_h / q_w) \dots\dots\dots (29)$$

dengan :

- z adalah jarak dari ujung aliran air drainase ke drain.
- L adalah panjang drain bila drain hanya terjadi pada satu ujung saja; setengah panjang drain bila drainase terjadi pada kedua ujungnya.
- k_h adalah koefisien permeabilitas dalam arah horizontal untuk tanah tak terganggu.

q_w adalah kapasitas aliran air drainase ditentukan dengan menggunakan gradien hidraulik = 1.

Jika drain mempunyai permeabilitas terbatas (misal kapasitas aliran air vertikal terbatas), faktor pengaruh drain persamaan (29) merupakan fungsi kedalaman. Karena itu, U_h tidak konstan dengan faktor kedalaman.

2.3 Pengaruh gangguan tanah

Barron [2] telah mengembangkan persamaan penghitungan besarnya pengaruh dari gangguan tanah selama pemasangan dengan menyatakan zona gangguan dengan suatu pengurangan permeabilitas. Faktor pengaruh gangguan yang dihasilkan adalah F_s dan jika digabungkan dengan $F(n)$ dan F_r akan menjadi:

$$F(n)+F_r+F_s = (\ln(D/d_w)-3/4)+((k_h/k_s)-1) \ln(d_s/d_w)+ \pi z(L-z) (k_h/q_w) \dots \dots \dots (30)$$

dengan :

d_s adalah diameter zona tanah terganggu sekeliling drain (m).

d_w adalah diameter ekuivalen dari pita drain vertikal (m).

k_s adalah koefisien permeabilitas arah horizontal dalam tanah terganggu (m/hari) .

Lampiran B
(Normatif)
Pengaruh gangguan tanah

Evaluasi pengaruh gangguan pemasangan merupakan persoalan mekanika tanah yang sangat kompleks dan solusinya yang lengkap di luar lingkup pedoman desain ini. Demikian juga, persamaan desain [9] hanya memberikan pendekatan secara sederhana untuk menghitung pengaruh gangguan. Akan tetapi, pedoman ini dengan data tambahan dapat dikembangkan untuk membantu pendesain dalam mengevaluasi pengaruh gangguan. Persamaan desain telah memperhitungkan faktor pengaruh gangguan dalam rasio d_s/d_w dan k_H/k_s .

Pengetahuan tentang d_s dapat diperoleh dari penelitian tentang pengaruh penetrasi tiang dan alat penetrometer konus pada tanah sekelilingnya. Metode garis edar regangan (*Strain Path Method*) [1] dapat digunakan untuk memperluas rekomendasi tentang bentuk dan ukuran mandrel yang optimal. Berdasarkan pada penelitian ini, kisaran nilai d_s dapat dianjurkan untuk berbagai bentuk mandrel dan metode pemasangan.

Tujuan utama penelitian tentang pengaruh gangguan tanah adalah untuk memberikan pendekatan yang lebih rasional pada evaluasi pengaruh gangguan secara keseluruhan. Untuk mencapai tujuan ini, Dr. Mohsen M. Baligh, profesor teknik sipil pada Institut Teknologi Massachusetts, telah diminta sebagai konsultan khusus. Dr. Baligh telah mengembangkan metode garis edar regangan untuk menentukan pengaruh gangguan tanah akibat pemasangan tiang.

Salinan lengkap dari laporan Dr. Baligh yang mengikhtisarkan hasil studi tentang pokok penelitian, termasuk drain vertikal prefabrikasi disajikan dalam: Vol. 2 Ikhtisar Karya Penelitian (*FHWA/RD-86/169*)[8]. Secara khusus laporan-laporan ini membahas aspek-aspek penting dari pemasangan drain PDVP sebagai berikut.

- 1) Pengaruh penetrasi mandrel
Jari-jari zona tanah sekeliling drain yang dipengaruhi oleh penetrasi mandrel dan distribusi tekanan air pori berlebih tergantung pada karakteristik tanah, geometri mandrel, dan kondisi penetrasi. Baik jari-jari dan distribusi tekanan air pori berlebih maupun karakteristik drainase tanah (permeabilitas dan sifat konsolidasi) akan mempengaruhi laju konsolidasi selanjutnya.
- 2) Pengaruh penarikan kembali mandrel
Penarikan kembali mandrel akan mengakibatkan perubahan tambahan pada kondisi tanah dan tekanan air pori sekeliling drain.
- 3) Laju konsolidasi tanah
Setelah perkiraan laju konsolidasi tanah akibat penarikan kembali mandrel diperhitungkan, baik terhadap pengaruh gangguan pemasangan (peregangan dan tekanan air pori berlebih) maupun beban tambahan, hasil perhitungan itu akan diperlukan untuk menentukan besarnya pengaruh pemasangan pada efektivitas drain.

Kesimpulan umum berkenaan dengan pengaruh gangguan tanah [8] adalah sebagai berikut :

- 1) Pemasangan drain menyebabkan gangguan tanah yang dapat mengurangi efektivitas drain.
- 2) Perlambatan laju konsolidasi tanah akibat gangguan pemasangan pada dasarnya disebabkan oleh regangan tanah tak terdrainase (atau distorsi pada volume yang konstan) karena penetrasi mandrel.

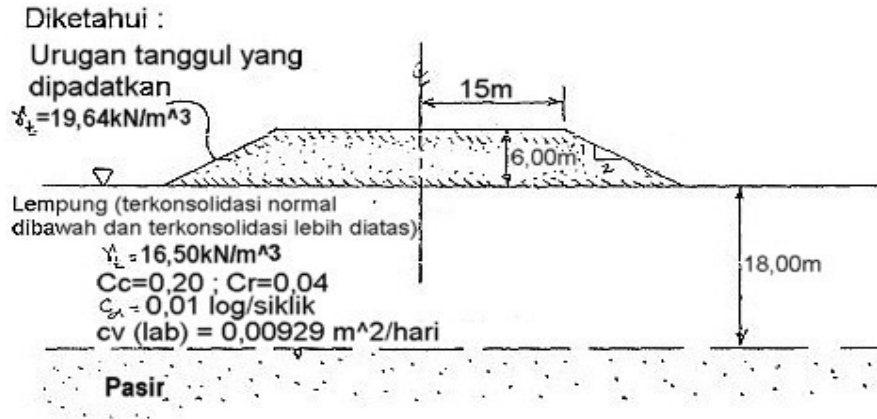
- 3) Geseran lempung takterdrainase yang mengalami overkonsolidasi kecil akan menyebabkan pengurangan tegangan keliling efektif (atau *octahedral*), σ'_c , dan peningkatan kompresibilitas yang dinyatakan dengan m_v . Kedua faktor ini cenderung mengurangi koefisien konsolidasi sehingga memperlambat disipasi tekanan air pori berlebih dan mengurangi efektivitas drain.
- 4) Kelemahan tanah karena gangguan pemasangan dapat diestimasi dari pengurangan σ'_c dan peningkatan m_v yang dialami karena terjadinya geseran takterdrainase.
- 5) Berdasarkan hal tersebut di atas, terlihat bahwa kepekaan lempung, S_t , menunjukkan adanya kelemahan akibat gangguan pemasangan. Terjadinya geseran tanah tak terdrainase yang peka akan menyebabkan pengurangan σ'_c dan peningkatan m_v yang signifikan. Batas cair (LI) merupakan ukuran yang tepat yang menunjukkan sifat kepekaan lempung.

Lampiran C (Informatif) Contoh dan bagan alir desain

1 Contoh desain

Diketahui :

Tanggul di atas tanah lunak dengan parameter seperti pada Gambar C.1



Gambar C.1 Urugan tanggul di atas tanah lunak

Ditanyakan :

Desain drain awal untuk mencapai konsolidasi primer dengan 1 siklus log dari kompresi sekunder yang diakibatkan oleh pembebanan tanggul dalam waktu 24 bulan untuk penyelesaian urugan.

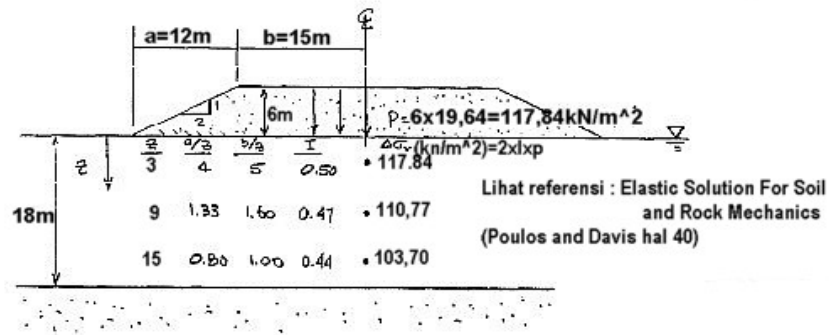
Asumsi desain

- 1) Tanggul dan beban tambahan terjadi dengan segera untuk keperluan penghitungan penurunan.
- 2) Stabilitas tanggul (misal pembebanan bertahap, berm kaki, dan lain-lain) yang dihitung secara terpisah tidak disajikan disini.

Metodologi desain

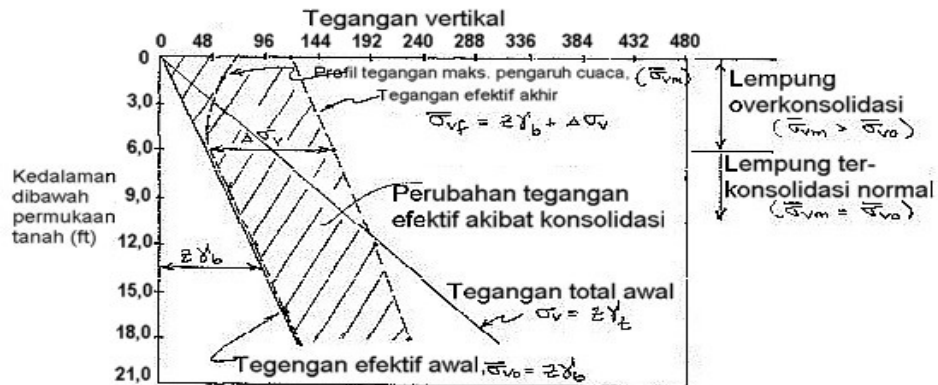
- 1) Evaluasi pengaruh dari tanggul yang diusulkan adalah yang berikut.
 - a) Hitung peningkatan tegangan efektif yang terjadi di bawah sumbu akibat beban tanggul.
 - b) Kembangkan hubungan antara riwayat tegangan dan profil perubahan tegangan.
 - c) Prediksi penurunan total akibat beban tanggul.
 - d) Perhitungkan laju waktu penurunan.
- 2) Perhitungan beban tambahan.
- 3) Evaluasi beban tambahan yang diperlukan, yaitu :
 - a) estimasi tinggi beban tambahan yang diperlukan;
 - b) prediksi konsolidasi utama akibat tanggul dan beban tambahan;

- c) hitung \bar{U}_h yang diperlukan;
- d) periksa kasus sederhana untuk perkiraan jarak drain.
- 4) Uraian aspek-aspek desain lainnya adalah
- pengaruh gangguan tanah;
 - pengaruh drain;
 - selimut drain.
- Penyelesaian :
- 1) Evaluasi pengaruh dari tanggul yang diusulkan
- Hitung peningkatan tegangan efektif yang terjadi di bawah sumbu akibat beban tanggul.



Gambar C.2 Penghitungan peningkatan tegangan efektif

- b) Kembangkan hubungan antara riwayat tegangan dan profil perubahan tegangan.



Gambar C.3 Hubungan antara riwayat tegangan dan perubahan tegangan

- c) Prediksi penurunan total akibat beban tanggul
- Penurunan awal tanpa drain: tidak mempengaruhi PDVP; anggap $\rho_i = 0$.
 - Konsolidasi primer

$$\rho_c = C_r \times H \log [\sigma'_{vm}/\sigma'_{v0}] + C_c \times H \log [\sigma'_{vf}/\sigma'_{vm}]$$

Tabel C.1 Tegangan pada kedalaman antara (di tengah) dan hasil penghitungan penurunan konsolidasi primer

Interval kedalaman (m)	σ'_{v0} (kN/m ²)	σ'_{vm} (kN/m ²)	σ'_{vf} (kN/m ²)	H _i (m)	C _r	C _c	ρ_{ci} (m)
0,00-6,00	19,50	48,00	137,34	6,00	0,20	0,04	0,648
6,00-12,00	58,50	61,44	169,27	6,00	0,20	0,04	0,533
12,00-18,00	97,50	102,24	201,20	6,00	0,20	0,04	0,358
							$\rho_c = 1,539$ m

iii) Penurunan sekunder

$$\rho_s = H C_\alpha \log(t_f/t_p) = (18)(0,01) \log(10t_p/t_p) = 0,18 \text{ m}$$

iv) Penurunan total (penurunan primer ditambah 1 siklus dari penurunan sekunder).

$$\rho_t = \rho_p + \rho_s = 1,539 + 0,18 = 1,719 \text{ m}$$

d) Penghitungan laju waktu penurunan

i) Periksa kemungkinan terjadinya hanya drainase vertikal dua arah.

$$\bar{U} = 1 - (1 - \bar{U}_v)(1 - \bar{U}_h) \quad ; \quad \bar{U}_h = 0 \text{ jadi } \bar{U} = \bar{U}_v$$

Hitung keadaan $\bar{U}_v = 90\%$ ($T = 0,848$);

$$T = \frac{TH^2}{c_v} = \frac{(0,848)(18/2)^2}{0,00929 \text{ m}^2/\text{hari}} = 7632 \text{ hari} \gg 730 \text{ hari. Jadi perlu}$$

mempertimbangkan perbaikan dengan cara lain.

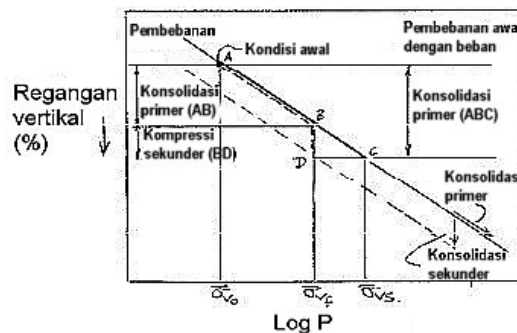
ii) Hitung \bar{U}_v yang akan terjadi dalam periode desain 2 tahun.

$t = 2$ tahun = 730 hari;

$$T = \frac{tc_v}{H^2} = \frac{(730 \text{ hari})(0,00929 \text{ m}^2/\text{hari})}{(18/2)^2} = 0,08 \text{ ; jadi } \bar{U}_v = 32\%$$

Ternyata diperlukan beban tambahan karena persyaratan desain adalah untuk mencapai konsolidasi primer ditambah dengan 1 siklus dari kompresif sekunder dalam waktu $t < 10 t_p$.

2) Penghitungan beban tambahan



ABD = pembebanan awal (urugan saja tanpa drain vertikal), dibutuhkan waktu 10 thn dari A ke B. Satu siklus logaritma dari B ke D

ABCD = Pembebanan tambahan (urugan + beban tambahan), 2 tahun dari A ke C, pemuatan pembebanan tambahan (C ke D)

Gambar C.4 Beban tambahan dengan regangan

3) Evaluasi beban tambahan yang diperlukan

a) Estimasi tinggi beban tambahan yang diperlukan, yaitu :

$$\bar{U} = 1 - (1 - \bar{U}_v)(1 - \bar{U}_h) \quad ; \quad \bar{U}_v = 0,32, \text{ anggap } \bar{U}_h = 0,85 ;$$

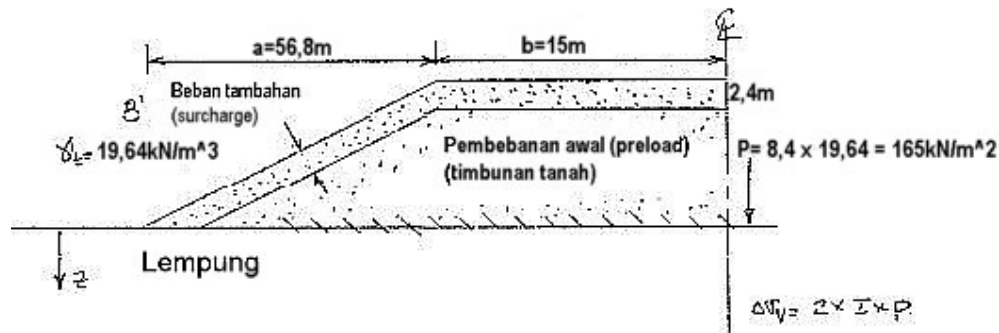
$$= 1 - (1 - 0,32)(1 - 0,85) = 0,90 \text{ (nilai yang layak untuk desain).}$$

Jadi dalam 24 bulan jika $\bar{U} = \rho_c / \rho_{cf} = 0,90$ dan $\rho_c = 1,719$ m, maka $\rho_{cf} = 1,91$ m .

$\rho_{cf} = C_r \times H \log [\sigma'_{vm} / \sigma'_{v0}] + C_c \times H \log [\sigma'_{vf} / \sigma'_{vm}] + C_c \times H \log [\sigma'_{vs} / \sigma'_{vm}] = 1,91$ m ; dari dua unsur pertama adalah = 1,534 m. Oleh karena itu : $C_r H \log [\sigma'_{vs} / \sigma'_{vm}] = 1,91 - 1,534 = 0,376$ m ; yang merupakan tambahan penurunan akibat tegangan vertikal efektif beban tambahan.

$\log [\sigma'_{vs} / \sigma'_{vm}] = 0,376 / (0,2 \times 18) = 0,104$ maka $[\sigma'_{vs} / \sigma'_{vm}] = 1,27$ untuk rata-rata melalui ketebalan 18 m .

Nilai minimum tinggi beban tambahan menjadi $(1,27 - 1) \times 6 = 1,62$ m. Dengan anggapan bahwa tujuannya adalah mengizinkan potongan tanggul seluruhnya dapat mengalami penurunan dan tidak mengubah bentuk kemiringan lereng, dan lain-lain setelah terjadi penurunan, cobalah menggunakan beban tambahan setinggi 2,40 m (Gambar C.4)



Gambar C.5 Peningkatan tegangan akibat beban tambahan

b) Prediksi konsolidasi utama akibat tanggul dan beban tambahan

$$\rho_{cf} = C_r \times H \log [\sigma'_{vm} / \sigma'_{v0}] + C_c \times H \log [\sigma'_{vf} / \sigma'_{vm}]$$

Interval kedalaman(ft)	σ'_{v0} (kN/m ²)	σ'_{vm} (kN/m ²)	$\sigma'_{vs} = \sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v$ (kN/m ²)	H_i (m)	C_r	C_c	ρ_{ci} (m)
0,00-6,00	19,50	48,00	184,50	6,00	0,20	0,04	0,80
6,00-12,00	58,50	61,44	213,60	6,00	0,20	0,04	0,65
12,00-18,00	97,50	102,24	242,70	6,00	0,20	0,04	0,46
						$\rho_{cf} =$	1,91

Periksa $\bar{U} = \rho_c / \rho_{cf} = 1,719 / 1,91 = 0,89$ (sesuai).

c) Hitung \bar{U}_h yang diperlukan sebagai berikut.

$$\bar{U} = 1 - (1 - \bar{U}_v)(1 - \bar{U}_h)$$

$$\bar{U}_h = 1 - (1 - \bar{U}) / (1 - \bar{U}_v) = 1 - (1 - 0,89) / (1 - 0,32) = 0,84$$

d) Periksa kasus sederhana untuk perkiraan jarak drain sebagai berikut.

$$t = \frac{D^2}{8c_h} \left[\ln \left(\frac{D}{d_w} \right) - \frac{3}{4} \right] \ln \left(\frac{1}{1 - \bar{U}_h} \right)$$

Anggap : $d_w = 0,05 \text{ m} = 0,16 \text{ ft}$ dan $c_h = c_{\text{vlab}} = 0,00929 \text{ m}^2/\text{hari}$.

Dengan : $t = 730 \text{ hari}$ (maksimum) dan $\bar{U}_h = 0,84$;

$$t = \frac{D^2}{8 \times 0,00929 \text{ m}^2 / \text{hari}} \left[\ln \left(\frac{D}{0,05 \text{ m}} \right) - \frac{3}{4} \right] \ln \left(\frac{1}{1 - 0,84} \right) = \frac{24,658 D^2}{\text{m}^2 / \text{hari}} \left[\ln \left(\frac{D}{0,05 \text{ m}} \right) - \frac{3}{4} \right]$$

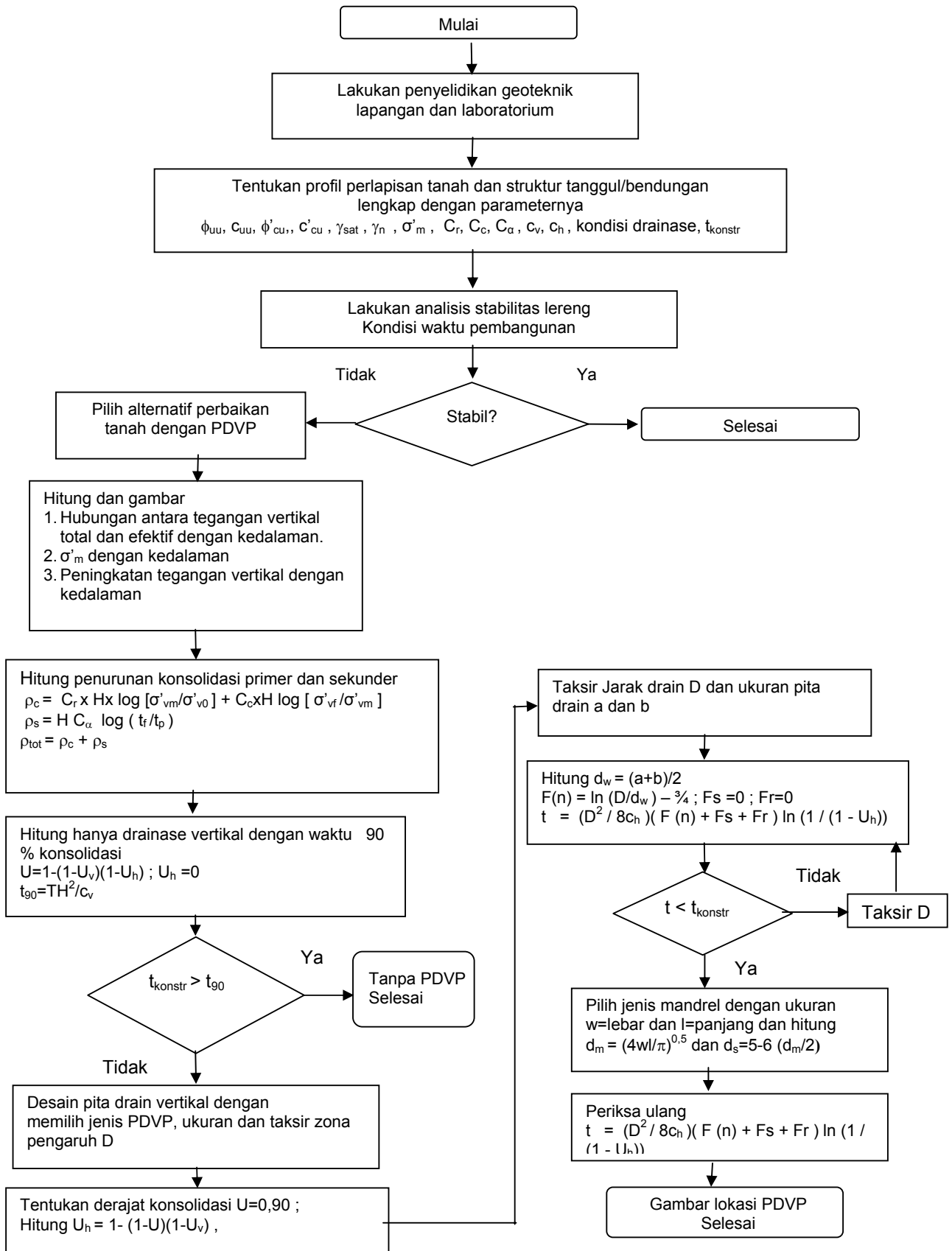
D (m)	t (hari)	
3,00	905 > 730	diabaikan
2,70	714 < 730	dapat digunakan

Untuk keadaan sederhana (pengaruh gangguan tanah atau drain), PDVP dengan $D = 2,70$ memadai berdasarkan penghitungan desain pendahuluan.

4) Uraian aspek-aspek desain lainnya meliputi yang berikut.

- Pengaruh gangguan tanah khususnya diimbangi dengan penggunaan $c_h = c_{\text{vlab}}$ dalam desain pendahuluan. Analisis yang lebih rinci harus dilakukan dalam desain akhir untuk evaluasi c_h dan pengaruh gangguan tanah.
- Pengaruh tahanan drain tidak diperhitungkan karena panjang drain yang relatif pendek (18 m) dan aliran air drainase dalam dua arah.
- Karena adanya lempung di permukaan tanah dan lebar tanggul, desain akhir harus meliputi selimut drain. Selimut drain ditempatkan sebagai bagian dari urugan tanggul yang akan berfungsi sebagai matras lantai kerja pada waktu pemasangan drain. Setelah pemasangan drain, selimut berfungsi sebagai sistem pengumpul bagi rembesan air yang keluar dari drain.

2 Bagan alir desain



Lampiran D (Normatif) Spesifikasi

Spesifikasi PDVP dalam pedoman ini merupakan uraian maupun spesifikasi terperinci, yang mungkin tidak berlaku secara umum untuk semua proyek tetapi tergantung pada kondisi bangunan proyek. Pendesain dianjurkan menggunakan spesifikasi pedoman ini sebagai alat bantu dalam mengembangkan material drain dan spesifikasi uji mutu pelaksanaan untuk proyek tertentu. Spesifikasi yang biasanya dipilih atau digunakan dengan kebijaksanaan dari pendesain sebaiknya dilampirkan.

1 Deskripsi

Kontraktor harus menyediakan semua keperluan bangunan, tenaga kerja, peralatan dan material serta melaksanakan semua kegiatan pemasangan PDVP sehubungan dengan perincian yang ditunjukkan dalam desain dan persyaratan spesifikasi ini. Drain ini harus terdiri dari pita drain inti plastik yang tertutup dengan selimut drain yang cocok dan harus dipasang dan diatur seperti yang ditunjukkan dalam desain atau pola yang diarahkan oleh pendesain.

Persyaratan untuk material selimut drain yang cocok tidak termasuk pita drain vertikal *Desol* yang berlaku sekarang ini.

2 Definisi

Pendesain harus memasukkan setiap definisi dan istilah butir-butir yang khusus yang mungkin diperlukan untuk klarifikasi terhadap spesifikasi. Definisi (istilah) yang diperlukan mungkin terdiri dari: selimut (*jacket*), inti, kapasitas aliran air, permitivitas, diameter ekuivalen, dan volume bebas.

3 Material

3.1 Umum

Hal umum tentang material PDVP dijelaskan sebagai berikut.

- 1) PDVP harus berupa pita drain vertikal yang dibuat di pabrik dan terdiri dari sebuah inti termasuk selimut drain. Selimut drain harus memberi peluang bebas mengalirnya air pori ke bagian inti tanpa terjadi kehilangan material tanah atau erosi buluh (*piping*). Inti harus memberi kesempatan aliran air drainase vertikal yang menerus.
- 2) PDVP harus berbentuk pita drain dengan rasio aspek (lebar dibagi dengan tebal) tidak melebihi 50.

3.2 Selimut drain

Hal-hal yang perlu dipertimbangkan berkaitan dengan material selimut drain adalah yang berikut.

- 1) Selimut drain harus berupa geotekstil non-woven sintetis yang mampu melawan (menahan) semua pelendutan, pemukulan (hantaman) dan gaya-gaya tarik yang diakibatkan selama pemasangan dan selama umur desain dari drain.
- 2) Material selimut tidak boleh menimbulkan kerusakan setempat (misal hantaman melalui filter oleh butiran pasir atau kerikil).

- 3) Material selimut harus cukup kaku untuk menahan tekanan tanah lateral akibat beban tertanam dan beban tambahan sehingga kapasitas aliran air vertikal melalui inti tidak akan berpengaruh yang merugikan.
- 4) Material selimut harus cukup fleksibel terhadap lendutan yang terjadi secara perlahan selama pemasangan dan terhadap pengaruh penurunan konsolidasi tanpa mengalami kerusakan.
- 5) Material selimut tidak boleh mengalami retakan dan pengupasan selama pemasangan drain.
- 6) Material selimut harus memenuhi ketentuan spesifikasi berikut ini :

Tabel D.1 Persyaratan uji dan nilai minimum

Jenis uji	Standar yang diperlukan	Nilai minimum per gulung*
Tarikan grab (<i>Grab tensile</i> , 1975)	ASTM D 1682-64	80 lbs
Sobekan trapesoidal (<i>Trapezoidal tear</i>)	ASTM D 2263-68	25 lbs
Kekuatan tusukan (<i>Puncture strength</i>)	ASTM D 751-73	50 lbs
Kekuatan bukaan keras (<i>Burst strength</i>)	ASTM D 774-46	130 psi
* Material selimut harus diuji dalam kondisi jenuh dan kering. Persyaratan penentu adalah yang terendah dari dua kondisi uji yang dilakukan .		

Persyaratan minimum yang memadai telah ditentukan dengan mengkaji spesifikasi dalam penggunaan pada waktu persiapan pedoman ini. Pendesain harus mengkaji ulang perihal tersebut, penentuan uji, dan nilai minimum yang diperlukan untuk tiap-tiap proyek. Lihat referensi pedoman dari *Christopher dan Holtz* (1984).

Keperluan data uji sifat-sifat mekanik selimut yang disebutkan di atas dapat diperoleh dari tenaga ahli desain PDVP yang digabung dengan bangunan (misal inti dan selimut drain yang merupakan gabungan yang tidak dapat diuji secara terpisah).

- 7) Selimut drain harus mempunyai permitivitas minimum ($\text{gal}/\text{min}/\text{ft}^2$) sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan bila diuji berdasarkan *ASTM (Suggested test method for permeability and permittivity of geotextiles)*.

Peran permitivitas pada kinerja PDVP secara tepat belum diketahui sepenuhnya. Yang penting selimut drain harus mempunyai permeabilitas minimum sama atau lebih besar daripada permeabilitas tanah di sekitarnya agar dapat berfungsi dengan baik. Pendesain harus menentukan permitivitas minimum yang dapat diterima untuk proyek tertentu. (Lihat Subbab 7.2 dari bab Pemilihan dan desain drain).

3.3 Inti

Inti harus berupa material plastik fabrikasi yang menerus untuk memungkinkan aliran air drainase sepanjang sumbu pita drain vertikal.

Tenaga ahli desain dapat membatasi material inti yang diizinkan dan geometri saluran drain tergantung pada kondisi pekerjaan tertentu. Tenaga ahli juga dapat menentukan sifat fisik material inti yang khusus jika diperlukan.

3.4 Drain yang dipasang

Konstruksi drain yang dipasang harus memperhatikan hal-hal berikut.

- 1) Sifat-sifat mekanik (kekuatan dan modulus) dari drain PDVP yang dipasang harus sama atau melebihi yang ditentukan untuk komponen selimut dan inti.
- 2) Drain yang dipasang harus tahan terhadap material membusuk yang basah, lumut, kegiatan bakteri, serangga, larutan garam dalam air tanah, asam, alkali, pelarut, dan setiap bahan (unsur) lain yang signifikan dalam air tanah di lapangan.
- 3) Salah satu jenis drain tunggal yang dipasang pada suatu proyek dapat ditentukan lain jika dapat dibuktikan oleh tenaga ahli desain.
- 4) Drain yang dipasang harus mempunyai kapasitas aliran air minimum 3500 ft³/tahun bila diukur dengan gradien pada tegangan efektif maksimum.

Kapasitas aliran air merupakan suatu fungsi dari jenis drain, tekanan keliling, dan gradien hidraulik serta tergantung pada peralatan uji, prosedur uji, dan media keliling. Tenaga ahli desain harus menentukan apakah diperlukan nilai minimum dan berapa minimumnya (Lihat Subbab 6.3 dari Bab 6 Evaluasi parameter desain). Jika kapasitas aliran air minimum ditentukan, pendesain juga harus menentukan metode uji umum yang akan digunakan (tekanan keliling, media keliling, panjang contoh, dan lain-lain).

- 5) Pita drain vertikal yang dipasang harus mempunyai diameter ekuivalen minimum sesuai dengan ketentuan diameter ekuivalen: $d_w = (a+b) / 2$

dengan :

d_w adalah diameter ekuivalen dari pita drain vertikal;

a adalah lebar pita drain vertikal;

b adalah tebal pita drain vertikal.

Pendesign harus menentukan diameter pita drain vertikal ekuivalen minimum untuk sebuah proyek khusus. Secara alternatif persyaratan diameter ekuivalen dapat dinyatakan dengan menentukan lebar dan tebal minimum untuk pita drain vertikal. (lihat Subbab 6.3 dari Bab 6 Evaluasi parameter desain).

- 6) Material PDVP harus diberi label nama atau etiket (tanda) pengenalan sehingga informasi tentang identifikasi contoh serta maksud dan tujuan pengawasan mutu lainnya dapat dibaca dari label tersebut. Tiap-tiap gulungan minimal harus diidentifikasi oleh pabrik pembuat dengan penjelasan sebagai tumpukan atau nomor kontrol, nomor gulungan tersendiri, tanggal pembuatan, pabrik pembuat, dan identifikasi produk dari selimut dan inti.
- 7) Pada waktu pengangkutan dan penyimpanan PDVP harus dibungkus dengan kertas tebal, kain goni, atau lapisan pelindung tebal yang serupa. PDVP harus dilindungi terhadap sinar matahari, lumpur, kotoran, debu, batang pohon, dan bahan perusak lainnya selama pengangkutan dan di tempat penyimpanan.

Tabel D.2 Daftar alamat beberapa produsen PDVP

Alidrain Alidrain S Hitek Flodrain	Drainage & Ground Improvement, Inc. P.O.Box 13222 Pittsburgh, PA 15243 (412) 257-2750 Geosystems, Inc. P.O.Box 168 Sterling, VA 22170 (703) 430-5444
Amerdrain 307, 407	International Construction Equipment, Inc. 301 Warehouse Drive Mathews, NC 28105 (800) 438-9281
Bando	Fukuzawa & Associates, Inc. 6129 Queenridge Drive Rancho Palos Verdes, CA 90274 (213) 377-4735
Castle Drain Board	Harquim International Corp. 3112 Los Feliz Boulevard Los Angeles, CA 90039 (213) 669-8332
Colbond CX-1000	BASF Corporation, Fibers Division Geomatrix Systems Enka, NC 28728 (704) 667-7713
Mebradrain MD 7007	L.B.Foster Company 415 Holiday Drive Pittsburgh, PA 15220 (412) 262-3900
Vinylex	Vinylex Corporation P.O.Box 7187 Knoxville, TN 37921 (615) 690-2211

- 8) Semua PDVP yang mengalami kerusakan pada waktu pengangkutan, pembongkaran, penyimpanan, atau perawatan dan/atau yang tidak memenuhi persyaratan minimum material drain harus ditolak oleh tenaga ahli desain.
- 9) PDVP (Tabel D.2) yang disetujui untuk digunakan pada proyek adalah sebagai berikut.
- Pendesain akan menggunakan PDVP yang telah disetujui untuk memperlancar proses persiapan penawaran dan membuat daftar untuk pita drain vertikal yang telah dipertimbangkan dapat diterima pada suatu proyek khusus, tanpa pengaruh pihak tertentu. Dua produk drain yang berlaku sekarang (*sol compact* dan *desol*) tidak termasuk dalam daftar sebab baik data uji laboratoriumnya yang tidak layak (*sol compact*) maupun sifat-sifat kritis yang diamati dan ditentukan berada di bawah standar (*Desol*, tidak mempunyai selimut apapun).

3.5 Uji mutu (*quality control*)

Dalam melaksanakan uji mutu PDVP harus memperhatikan hal-hal berikut.

- 1) Jenis PDVP yang akan dipilih kontraktor sesuai dengan usulan dari tenaga ahli desain.
- 2) Jika kontraktor akan menggunakan PDVP sesuai dengan usulan dari pendesain, kontraktor sebaiknya menyampaikan dan menyerahkan catatan tertulis kepada pendesain sesuai dengan ketentuan dalam dokumen kontrak, sebelum pelaksanaan pemasangan drain. Selain itu, juga melakukan pengujian sebanyak 3 contoh sambungan sesuai dengan ketentuan dalam dokumen kontrak sebelum pemasangan drain. Contoh-contoh dari drain sambungan harus cukup panjang termasuk tambahan sambungan drain sebesar 2 feet (0,6 m) tanpa sambungan pada kedua sisinya.

- 3) Jika kontraktor menggunakan drain yang tidak ada pada daftar usulan semula dari pendesain, kontraktor harus melakukan hal-hal berikut.
 - a) Menyampaikan kepada tenaga ahli desain sebuah contoh pengujian dari PDVP tanpa sambungan yang akan digunakan, dan 3 buah contoh sambungan yang diajukan, sesuai dengan ketentuan dokumen kontrak sebelum pemasangan drain. Panjang contoh drain tanpa sambungan minimal harus 10 feet (3 m). Contoh-contoh sambungan PDVP harus cukup panjang, termasuk tambahan sambungan drain sebesar 2 feet (0,6 m) tanpa sambungan pada kedua sisinya.
 - b) Menyampaikan kepada pendesain literatur pabrik pembuat yang mempunyai dokumen sifat-sifat fisik dan mekanik drain (yang minimum diperlukan dalam spesifikasi) dan proyek-proyek serupa lainnya, di tempat PDVP yang sama telah dipasang termasuk rincian mengenai kinerja semula pada proyek tersebut, sesuai dengan ketentuan dalam dokumen kontak sebelum pemasangan.
 - c) Memasang salah satu jenis PDVP yang telah diajukan semula jika jenis drain vertikal yang diusulkan ditolak oleh pendesain.
- 4) Kontraktor harus menunjukkan sumber material yang diusulkan sebelum pengiriman ke lapangan. Kontraktor juga harus menyimpan sertifikat pembelian dari pemasok untuk memeriksa jenis dan karakteristik fisik dari drain yang akan digunakan.
- 5) Selama pelaksanaan konstruksi, contoh uji harus dipotong minimal dari satu gulungan yang dipilih yang lebih kecil secara random untuk mewakili setiap pengangkutan atau 200.000 feet (60.000 m) panjang. Contoh tidak boleh lebih kecil daripada 10 ft (3 m) panjang dan harus selebar penuh. Contoh yang diterima untuk pengujian harus menunjukkan panjang drain yang ditunjukkan dengan contoh. Panjang total yang ditunjukkan dari contoh tidak boleh digunakan sampai saat pendesain menerima contoh (memeriksa dimensi fisik, pabrik pembuat, penunjukan drain, dan sertifikat pabrik pembuat mengenai sifat-sifat fisik dan kimiawi).
- 6) Oleh karena setiap contoh harus dipilih secara random untuk mengetahui apakah memenuhi persyaratan spesifikasi, gulungan itu dapat ditolak atau dapat diambil dua contoh tambahan yang lebih kecil secara random dari dua gulungan lain yang mewakili dari pengangkutan atau sepanjang 200.000 feet (60.000 m). Jika dari dua contoh tambahan ini ternyata tidak memenuhi spesifikasi, seluruh jumlah pita drain vertikal yang ditunjukkan oleh contoh harus ditolak.

4 Peralatan pemasangan

Hal umum yang perlu diperhatikan dalam penggunaan peralatan pemasangan drain adalah yang berikut:

- 1) PDVP harus dipasang dengan menggunakan alat modern yang diharapkan tidak akan menimbulkan gangguan kecil pada bagian tanah selama kegiatan pemasangan dan pemeliharaan mandrel dalam posisi vertikal.
- 2) PDVP harus dipasang dengan menggunakan sebuah *mandrel* atau berlengan (*sleeve*) yang harus dimasukkan (misal didorong atau digetar) ke dalam tanah. *Mandrel* atau *sleeve* harus dapat melindungi PDVP terhadap sobekan, potongan, dan abrasi selama pemasangan, dan harus ditarik kembali setelah pita drain vertikal dipasang.
- 3) Untuk mengurangi gangguan tanah, *mandrel* atau *sleeve* harus mempunyai luas potongan melintang maksimum sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. *Mandrel* atau *sleeve* harus cukup kaku untuk mencegah goyangan atau defleksi selama pelaksanaan pemasangan.

- 4) Pendesain harus memilih luas maksimum drain berdasarkan evaluasi pengaruh gangguan, dan khususnya diameter d_s dari zona yang terganggu. Luas ini merupakan luas tipikal potongan melintang maksimum sebesar 10 in^2 (65 cm^2).
- 5) *Mandrel* atau *sleeve* harus dilengkapi dengan pelat angker atau pengaturan serupa pada dasar untuk mencegah masuknya tanah ke dasar mandrel selama pemasangan PDVP dan untuk mengangker tip pita drain vertikal pada kedalaman yang diperlukan pada waktu penarikan kembali mandrel. Dimensi angker sedapat mungkin harus sesuai dengan dimensi mandrel agar dapat mengurangi pengaruh gangguan tanah. Pendesain harus menentukan kemantapan sistem dan prosedur pengangkeran.

5 Prosedur pelaksanaan pemasangan

5.1 Umum

Hal umum yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan prosedur pemasangan PDVP adalah sebagai berikut.

- 1) Dalam waktu yang ditentukan sebelum memulai pemasangan PDVP percobaan, kontraktor harus menyampaikan rincian lengkap tentang material, peralatan, urutan dan metode yang diusulkan untuk pemasangan PDVP kepada pendesain untuk mengkaji ulang dan mendapat persetujuan. Persetujuan dari pendesain untuk urutan dan metode pemasangan tidak boleh menghilangkan tanggung jawab kontraktor untuk memasang PDVP sesuai dengan desain dan spesifikasi yang ditentukan.
- 2) Sebelum pemasangan PDVP, kontraktor harus menunjukkan bahwa peralatan, metode, dan material akan menghasilkan pemasangan yang memadai sesuai dengan desain dan spesifikasi yang ditentukan. Karena itu, kontraktor perlu memasang beberapa drain percobaan sehingga dapat diketahui panjang total pita drain vertikal untuk lokasi yang ditentukan oleh pendesain.
- 3) Persetujuan dari pendesain atas metode atau peralatan yang akan digunakan untuk memasang drain percobaan tidak boleh menjadi pengganti metode lain dari proyek. Jika pada suatu waktu pendesain mempertimbangkan bahwa metode pemasangan tidak menghasilkan PDVP yang memadai, kontraktor harus mengubah metode dan/atau peralatan seperlunya agar memenuhi spesifikasi yang ditentukan.

5.2 Pelaksanaan pemasangan

Dalam melaksanakan pemasangan PDVP harus diperhatikan hal-hal berikut.

- 1) PDVP harus ditempatkan dengan diberi nomor dan dipancang oleh kontraktor dengan menggunakan garis dasar dan *benchmark* yang disediakan oleh pendesain. Kontraktor harus mengambil langkah pencegahan untuk melindungi tiang pancang dan bertanggung jawab atas setiap pemancangan ulang yang diperlukan. Lokasi pemasangan PDVP tidak boleh berjarak lebih dari 6 inci (15 cm) dari lokasi rencana yang ditentukan pada gambar desain.
- 2) PDVP yang terletak lebih dari 6 inci (15 cm) dari lokasi rencana atau rusak atau terpasang tidak semestinya, akan ditolak dan ditinggalkan di tempat.
- 3) PDVP harus dipasang dari permukaan lantai kerja hingga kedalaman yang diperlihatkan pada gambar desain kontrak, atau hingga kedalaman yang diarahkan oleh pendesain. Pendesain dapat mengubah kedalaman, jarak, atau jumlah pita drain vertikal yang akan dipasang, dan dapat memperbaiki batas-batas rencana pekerjaan ini seperlunya.
- 4) Selama pemasangan PDVP, kontraktor harus menyediakan tenaga ahli dengan alat-alat yang sesuai untuk menentukan kedalaman dari kemajuan drain pada waktu pemasangan dan panjang drain tertentu di setiap lokasi.

- 5) Kontraktor harus menyediakan tenaga pengawas atau inspektor yang memahami pekerjaan ini setiap hari kerja dari sebuah ikhtisar pemasangan PDVP pada hari itu. Ikhtisar ini harus terdiri dari jenis drain, lokasi, dan jumlah panjang (sampai mendekati 0,1 ft (0,03 m)) PDVP yang dipasang di setiap lokasi.
- 6) Peralatan pemasangan PDVP harus diduga dengan pengukur garis alinyemen vertikal sebelum pemasangan drain dilakukan dan tidak boleh menyimpang dari posisi vertikal lebih dari 0,2 feet (0,06 m) dalam panjang 10 feet (3 m) selama pemasangan drain.
- 7) PDVP harus dipasang menggunakan gaya dorong menerus dengan beban statik atau getaran.
- 8) Cara pemasangan dengan alat penggerak tidak diperbolehkan. Cara pancaran (*jetting*) hanya akan diperbolehkan setelah mendapat persetujuan tertulis dari tenaga ahli.
- 9) Pemasangan harus dilakukan tanpa menimbulkan kerusakan pada drain selama kemajuan penaikan atau penarikan kembali mandrel. Bila tidak ada pilihan, peningkatan atau penurunan mandrel selama kemajuan penaikan akan diperbolehkan. Peningkatan mandrel hanya diperbolehkan setelah pemasangan drain selesai.
- 10) Laju penetrasi mandrel harus berada antara ½ dan 2 feet (0,15 m dan 0,6 m) per detik.
- 11) Pada PDVP yang menyeluruh harus dibuat jalan pintas (*cutoff*) dengan rapi 1 ft (0,3 m) di atas tahap kerja, atau sesuai dengan gambar kontrak.
- 12) Kontraktor harus mengamati tindakan pencegahan yang perlu untuk perlindungan alat instrumentasi lapangan apapun. Kontraktor harus memindahkan, dengan biaya sendiri, alat instrumentasi apapun yang telah rusak atau tidak dapat berfungsi lagi sebelum meneruskan pemasangan drain atau kegiatan pelaksanaan lainnya.

5.3 Prapengeboran tangan (gangguan)

Jika pendesain mengantisipasi setiap pengaruh gangguan (tanah padat, puing bangunan, kerikil atau batu, dan lain-lain) berdasarkan pada hasil-hasil dari eksplorasi bawah permukaan atau informasi lain, dokumen kontrak harus meliputi ketentuan untuk menerima cara pemindahan gangguan dan pembayaran untuk pembersihan gangguan.

Jika pendesain tidak mengantisipasi pengaruh gangguan apapun, maka spesifikasi berikut harus digunakan sebagai pedoman dan dimodifikasi bila perlu.

- 1) Kontraktor harus bertanggung jawab atas penetrasi lapisan material apapun yang diperlukan untuk memasang drain.
- 2) Jika pengaruh gangguan yang dialami di bawah permukaan lantai kerja tidak dapat dipenetrasi oleh alat pemasang drain, kontraktor harus melengkapi drain dari elevasi permukaan lantai kerja sampai pada tempat pengaruh gangguan dan memberitahukan kepada tenaga ahli sebelum pemasangan drain lainnya. Dengan pengarahan tenaga ahli dan hasil pengkajiannya, kontraktor harus mencoba untuk memasang drain baru sedalam 2 ft (0,6 m) secara horizontal dari drain yang terganggu. Maksimum dua buah drain percobaan harus dilakukan dengan arahan dari tenaga ahli. Jika drain masih tidak dapat dipasang pada elevasi tip sesuai dengan desain, lokasi drain harus ditinggalkan dan alat pemasangan harus dipindahkan ke lokasi berikutnya, atau kegiatan lain yang diambil dengan arahan dari tenaga ahli.
- 3) Jika diizinkan oleh tenaga ahli, kontraktor dapat menggunakan pengeboran tangan, *spudding*, atau metode lain untuk membebaskan tanah dan gangguan kebersihan, persediaan pengeboran tangan tidak dapat untuk penetrasi lebih dari 2 feet (0,6 m) ke dalam lapisan tanah kompresif.

- 4) Jika pendesain mengantisipasi gangguan yang dapat dibersihkan dengan menggunakan pengeboran tangan dan *spudding*, spesifikasi berikut harus digunakan sebagai pedoman dan dimodifikasi bila perlu.
- 5) Kontraktor harus bertanggung jawab atas penetrasi lapisan material urugan seperlunya untuk memasang PDVP dengan memadai. Pemasangan yang baik memerlukan pembersihan gangguan yang disebabkan oleh kegiatan manusia atau alami atau perlapisan sehingga dapat menjaga penempatan mandrel yang tepat dan pemasangan PDVP.
- 6) Kontraktor dapat menggunakan pengeboran tangan, *spudding*, atau metode yang disetujui lainnya untuk membebaskan tanah dan material gangguan apapun sebelum pemasangan PDVP. Prosedur pembersihan gangguan diajukan untuk mendapat persetujuan tenaga ahli. Akan tetapi, tidak boleh mengabaikan tanggung jawab kontraktor untuk membersihkan gangguan sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan.
- 7) Jika metode yang dipilih adalah pengeboran tangan, maka alat pengeboran harus mempunyai diameter luar minimum sama dengan dimensi horizontal terbesar dari mandrel, sepatu atau angker. Diameter luar maksimum alat bor tidak boleh lebih besar dari 3 in (7,5 cm) dari diameter luar minimum.
- 8) Prosedur pembersihan untuk gangguan harus dijaga seminimum mungkin. Pengeboran tangan atau cara pemindahan gangguan lainnya tidak dapat membuat penetrasi lebih dari dua feet ke dalam lapisan tanah kompresif.
- 9) Bila terjadi gangguan, prosedur yang harus dilakukan disajikan berurutan sebagai berikut.
 - a) Kontraktor harus segera memberitahu tenaga ahli sebelum pemasangan drain selesai dan sebelum pemasangan drain lainnya.
 - b) Kontraktor harus mencoba untuk memasang drain berdekatan dengan lokasi yang terganggu. Berdasarkan hasil-hasil pemasangan ini dan dengan arahan tenaga ahli dan hasil kajiannya, maka kontraktor harus
 - i) mencoba memasang sebuah drain penyeimbang atau pengganti dalam dua feet secara horizontal pada drain terganggu atau;
 - ii) melakukan prosedur pembersihan gangguan dan memasang drain di lokasi desain. Prosedur pembersihan gangguan harus dilakukan hanya dengan arahan tenaga ahli.

5.4 Penyambungan

Dalam melaksanakan penyambungan drain PDVP harus diperhatikan hal-hal sebagai berikut.

- 1) Penyambungan material PDVP harus dilakukan dengan merapikan secara cermat sehingga dapat memastikan kontinuitas drain secara hidraulik dan struktural.
- 2) Maksimum satu sambungan dari setiap PDVP yang dipasang akan diperbolehkan tanpa izin khusus dari tenaga ahli.
- 3) Selimut drain dan inti harus saling menutup (*overlapping*) sebesar minimum 6 in (15 cm) pada setiap sambungan.

6 Pengukuran jumlah

6.1 Mobilisasi dan demobilisasi

Hal-hal yang menyangkut mobilisasi dan demobilisasi terdiri dari perlengkapan dari semua pengawasan, peralatan, tenaga kerja, alat-alat, surat izin yang diperlukan, survei pengawasan lokasi drain, asuransi khusus, serta peralatan, dan material lain seperlunya untuk melaksanakan pekerjaan secara memadai.

6.2 Material PDVP

Hal-hal yang perlu dipertimbangkan berkaitan dengan PDVP :

- 1) Material PDVP harus diukur hingga seluruh panjang yang terdekat. Panjang PDVP yang akan dibayar harus merupakan jarak penetrasi tip mandrel pemasangan di bawah lantai kerja ditambah panjang *cutoff* pemisah yang diperlukan di atas lantai kerja. Pembayaran tidak akan dilakukan untuk drain yang tidak diangker pada kedalaman yang diperlukan.
- 2) PDVP yang ditempatkan pada sisa panjang yang telah didesain pada gambar desain kontrak tidak harus dibayar kecuali jika tambahan panjang disahkan secara tertulis oleh tenaga ahli sebelum atau pada waktu pemasangan drain.

6.3 Pengaruh gangguan

Dalam melakukan pembersihan gangguan harus memperhatikan hal-hal berikut.

- 3) Pembersihan gangguan dengan metode pengeboran tangan atau *spudding* harus diukur menurut panjang. Panjang pembersihan gangguan yang akan dibayar harus merupakan panjang dari permukaan lantai kerja pada waktu pemasangan sampai kedalaman yang lebih kecil dari penetrasi alat bor atau *spud*, atau sampai kedalaman dua ft (0,6 m) ke dalam perlapisan tanah kompresif. Kedalaman pembersihan gangguan diajukan untuk pemeriksaan oleh tenaga ahli.
- 4) Pembersihan gangguan dengan metode lain harus diukur berdasarkan waktu dan material, yang diajukan sebelum persetujuan oleh tenaga ahli.
- 5) Pembersihan gangguan tidak harus dibayar kecuali jika penggunaan alat yang diperlukan disahkan oleh tenaga ahli sebelum penggunaannya dan tenaga ahli telah memeriksa dengan teliti panjang penetrasinya.

7 Dasar pembayaran

7.1 Mobilisasi dan demobilisasi

Pembayaran pekerjaan berdasarkan ketentuan ini akan dilakukan mengikuti harga kontrak untuk Mobilisasi dan demobilisasi. Pembayaran untuk mobilisasi dan demobilisasi akan merupakan penggantian pembayaran sepenuhnya untuk pengeluaran kinerja tersebut, meskipun akan meningkatkan atau mengurangi banyaknya ketentuan kontrak lainnya.

7.2 Drain PDVP

Hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam melakukan pembayaran drain PDVP :

- 1) Pembayaran drain PDVP harus dilakukan pada harga satuan kontrak per panjang untuk pita drain vertikal yang diterima, yang biayanya akan merupakan pengganti pembayaran biaya perlengkapan untuk seluruh panjang material drain PDVP, pemasangan drain PDVP, penggantian alat dan metode pemasangan untuk memperoleh hasil akhir yang diperlukan sesuai dengan gambar desain kontrak dan spesifikasi, dan juga harus terdiri dari biaya perlengkapan semua alat, material, tenaga kerja, peralatan, dan biaya lainnya yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan yang diperlukan.

- 2) Tidak ada pembayaran langsung yang harus dilakukan untuk drain PDVP, atau untuk keterlambatan atau pengeluaran apapun yang diakibatkan perubahan oleh material atau alat yang tidak tepat. Biaya tersebut harus termasuk dalam harga satuan penawaran untuk pekerjaan ini.
- 3) Pembayaran untuk drain percobaan harus tercantum dalam harga penawaran per meter panjang PDVP.
- 4) Tidak ada pembayaran langsung yang akan dilakukan untuk pelaksanaan program pekerjaan apa pun selain yang diperlihatkan pada gambar kontrak. Biaya tersebut harus termasuk dalam harga satuan penawaran untuk PDVP atau *lump sum* untuk mobilisasi dan demobilisasi.

7.3 Pengaruh gangguan

Dalam melakukan pembayaran untuk pengaruh gangguan pada PDVP harus mempertimbangkan hal-hal berikut.

- 1) Pembayaran untuk pembersihan gangguan yang menggunakan pengeboran tangan atau *spudding* harus dilakukan dengan harga satuan kontrak per meter panjang, yang merupakan pengganti pembayaran sepenuhnya untuk biaya prapengeboran tangan, *spudding*, atau pelaksanaan metode lain yang disetujui untuk menangani gangguan dan memasang PDVP dengan memadai, termasuk biaya pembuangan dari setiap material berlebih dari hasil prapengeboran tangan atau pembersihan gangguan. Harga satuan kontrak juga harus terdiri dari biaya perlengkapan semua alat, material, tenaga kerja, peralatan, surat izin jika diperlukan, dan biaya lainnya yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan.
- 2) Pembayaran untuk pemindahan gangguan dengan menggunakan metode lainnya selain pengeboran atau *spudding* harus berdasarkan pada waktu dan material yang digunakan.

7.4 Perihal pembayaran

Pembayaran akan dilakukan dengan ketentuan butir-butir berikut (Tabel D.3)

Tabel D.3 Butir-butir pembayaran

No. butir pembayaran	Perihal	Harga satuan
1	mobilisasi dan demobilisasi	Lump sum
2	jumlah PDVP	per meter panjang
3	jarak ruang gangguan (pengeboran tangan atau <i>spudding</i>)	per meter panjang
4	jarak ruang gangguan (alat lain)	per jam ditambah

Lampiran E
(Informatif)
Daftar nama dan lembaga

1) Pemrakarsa

Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Badan Penelitian dan Pengembangan, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

2) Penyusun

N a m a	L e m b a g a
Ir. Carlina Soetjiono, Dipl. HE.	Pusat Litbang Sumber Daya Air
Ir. Theo F. Najoran, M.Eng.	Pusat Litbang Sumber Daya Air

Bibliografi

1. Baligh, M.M., 1985, "*Strain Path Method*", JGE, ASCE, Vol. III, No. 9, September, pp. 1108-1136.
2. Barron, R.A., 1948, "*Consolidation of Fine-Grained Soils by Drain Wells*", ASCE Trans. Paper 2346, V. 113, pp. 718-724.
3. Casagrande, L. and Poulos, S., 1969, "*On the Effectiveness of Sand Drains*", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 6, No. 3, pp. 287-326.
4. Cedergren, H.R., 1977, *Seepage, Drainage, and Flow Nets, Second Edition*, John Wiley and sons. New York, New York, 534 p.
5. Chan, H.T. and Kenney, T.C., 1973, "*Laboratory Investigation of Permeability Ratio of New Liskeard Varved Soil*", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 10, No. 3, pp. 453-472.
6. Christopher, B.R., and Holtz, R.D., 1984, *Geotextile Engineering Manual, prepared for Federal Highway Administration*, National Highway Institute, Washington, D.C., DTFH61-80-C-00094.
7. FHWA/ RD-86/168 , *Prefabricated vertical drains, Engineering guidelines (Vol I), Federal Highway Administration, Final Report August 1986.*
8. Foott, R. and Ladd, C.C., 1981, "*Undrained Settlement of Plastic and Organic Clays*", JGED ASCE FT8, pp. 1079-1094.
9. Haley & Aldrich, Inc., 1986, "*Prefabricated Vertical Drains: Vol. 2, Summary of Research Effort*", (FHWA/RD-86/169).
10. Hansbo, S., 1979, "*Consolidation of Clay by Band-Shaped Prefabricated Drains*", Ground Engineering, Vol. 12, No. 5, pp. 21-25.
10. Jamiolkowski, M. and Lancellotta, R., 1981, "*Consolidation by Vertical Drains - Uncertainties Involved in the Prediction of Settlement Rates*", Panel Discussion, Proc. X ICSMFE, Stockholm.
11. Jamiolkowski, M., Lancellotta, R. and Wolski, W., 1983, "*Precompression and Speeding Up Consolidation*", Proc. VIII ECSMFE, Helsinki.
12. Jamiolkowski, M. et al., 1985, "*New Developments in Field and Laboratory Testing of Soils*," Proc. XI ICSMFE, San Francisco, Vol. 1, pp. 57-154.
13. Ladd, C.C., 1986, "*Stability Evaluation During Staged Construction*", Terzaghi Lecture, ASCE Boston Convention, October.
14. Ladd, C.C. and Foott, R., 1977, *Foundation Design of Embankments on Varved Clays*, U.S. Department of Transportation, FHWA-TS-77-214.
15. Ladd, C.C., Rixner, J.J. and Gifford, D.G. (1972), "*Performance of Embankments with Sand Drains on Sensitive Clay*", Proc. ASCE Spec. Conf. on Performance of Earth and Earth-Supported Structures, V 1, Part 1, Purdue University, pp. 211-242.

16. Ladd, C.C. and Wissa, A.E.Z., 1970, "*Geology and Engineering Properties of Connecticut Valley Varved Clays with Special Reference to Embankment Construction*", Dept. of Civil Engr. Research Report R70-56, Soils Publ. No. 264, M.I.T.
17. McKinley, D.G., 1961, "*A Laboratory Study of Rates of Consolidation in Clays with Particular Reference to Conditions of Radial Porewater Drainage*," Proc., V ICSMFE, Paris, pp. 225-228.
18. Mesri, G., and Choi, A.M., 1985, "*Settlement Analysis of Embankments on Soft Clays*", JGED ASCE GT4, pp. 441-464.
19. Mitchnell, J.K. and Gardner, M.S., 1975, "*In Situ Measurement of Volume Change Characteristics*", State-of-the-Art Report, Proc. ASCE Spec. Conf. on In Situ Measurements of Soil Properties, North Carolina State Univ., Raleigh.
20. Poulos, H.G., and Davis, E.H., 1974, *Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 411 pp.
21. Rowe, P.M., 1959. "*Measurement of the Coefficient of Consolidation of Lacustrine Clay*, Geotechnique, V9, No. 3, pp. 107-118.
22. Rowe, P.M. and Barber, L., 1966, "*A New Consolidation Cell*," Geotechnique. VI6, No. 2, p. 162.
23. Runesson, K., Hansbo, S., and Wiberg, N.E., 1985, "*The Efficiency of Partially Penetrating Vertical Drains*", Geotechnique 35, No. 4, pp. 511-516.
24. Saxena, S.K., Hedberg, J. and Ladd, C.C., 1974, "*Results of Special Laboratory Testing Program on Hackensack Valley Varved Clay*", Dept. of Civil Engr. Research Report R74-66, Soils Publ. No. 31, M.I.T.
25. Shields, D.H. and Rowe, P.M., 1965, "*A Simple Shear Test for Saturated Cohesive Soils*", Symposium on Vane Shear and Cone Penetration Resistance Testing of In-Situ Soils, ASTM, STP No. 339, pp. 39-47.
26. van de Grlend, A.A., 1984, "*Research Into the Influence of Relative Compression of a Soil Layer and the Drain Deformation on the Discharge Capacity of a Number of Vertical Plastic Drains*", thesis for the Delft Technical University Specialist Group for Geotechnology.
27. Van del Elzen, L.W.A., and Atkinson, M.S., 1980, "*Accelerated Consolidation of Compressible Low Permeability Subsoils by Means of Col bond Drains*", Arnheim, Col bond b. v.
28. Vreeken, C., van den Berg, F., and Loxham, M., 1983, "*The Effect of Clay-Drain Interface Erosion on the Performance of Band-Shaped Vertical Drains*", 8th ECSMFE, Helsinki, pp. 713-716.