

Cara uji potensi pengembangan atau penurunan satu dimensi tanah kohesif

“ Copy standar ini dibuat oleh BSN untuk Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum dalam rangka Penyebarluasan, Pengenalan dan Pengaplikasian Standar, Pedoman, Manual (SPM) Bidang Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil ”

Daftar isi

Daftar isi	i
Prakata	ii
Pendahuluan.....	iii
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif.....	1
3 Istilah dan definisi	1
4 Ketentuan dan persyaratan	3
4.1 Umum	3
4.2 Peralatan dan bahan	4
4.2.1 Konsolidometer.....	4
4.2.2 Batu pori	5
4.2.3 Pembungkus benda uji	5
4.3 Contoh tanah	7
5 Penyiapan benda uji	8
6 Kalibrasi	8
7 Prosedur pengujian	8
7.1 Cara A	9
7.2 Cara B	10
7.3 Cara C	11
8 Perhitungan	12
8.1 Cara A	12
8.2 Cara B	13
8.3 Cara C	13
9 Pelaporan	15
Lampiran A Bagan alir (normatif)	16
Lampiran B Tabel dan gambar hasil pengujian laboratorium (informatif)	17
Lampiran C Tabel daftar deviasi teknis dan penjelasannya (informatif)	20
Bibliografi	21

Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) *Cara uji potensi pengembangan atau penurunan satu dimensi tanah kohesif* adalah revisi dari SNI 13-6424-2000, Metode pengujian potensi pengembangan atau penurunan satu dimensi tanah kohesif, dengan perubahan pada penambahan dan penyempurnaan gambar, penjelasan notasi, penambahan istilah dan devinisi, penambahan contoh pengisian formulir uji, contoh perhitungan pembuatan bagian air, penghapusan daftar istilah dan lain-lain.

Standar ini disusun oleh Panitia Teknis Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil pada Sub Panitia Teknis Bidang Sumber Daya Air melalui Gugus Kerja Pendayagunaan Sumber Daya Air Bidang Bahan dan Geoteknik.

Tata cara penulisan disusun mengikuti Pedoman BSN Nomor 8 Tahun 2000 dan dibahas pada forum rapat konsensus pada tanggal 2 Desember 2006 di Bandung dengan melibatkan para nara sumber, pakar dan lembaga terkait.

Pendahuluan

Pada umumnya, dalam mendesain suatu bangunan air diperlukan parameter-parameter tanah yang digunakan dalam perhitungan dan analisis; khusus untuk tanah ekspansif yang mempunyai sifat mudah mengembang dan menyusut diperlukan parameter-parameter persentase pengembangan dan tekanan pengembangan. Untuk itu, perlu dibuat standar pengujian di laboratorium mengenai potensi pengembangan atau penurunan satu dimensi. Standar yang telah dibuat pada tahun 2000 perlu direvisi, berdasarkan pengalaman-pengalaman dan tantangan-tantangan pembangunan konstruksi pada tanah ekspansif yang sering dihadapi.

Beberapa kasus bangunan/konstruksi sipil yang dibangun pada tanah ekspansif, antara lain saluran Dumpil, saluran irigasi Bapang di Jawa Tengah, ruas jalan Tol Cikampek dan pemukiman di Lippo Cikarang, ruas jalan raya antara Gresik-Tuban, dll, menunjukkan adanya sifat dan tekanan pengembangan yang cukup besar dan telah mengakibatkan kegagalan konstruksi.

Penggunaan cara uji potensi pengembangan atau penurunan satu dimensi tanah kohesif di laboratorium tanah ini dimaksudkan untuk memperoleh karakteristik dan parameter-parameter pengembangan dari suatu contoh tanah yang digunakan dalam melakukan perhitungan dan analisis serta antisipasi penanganan tanah ekspansif.

Standar ini menguraikan sistem peralatan uji pengembangan tanah beserta perlengkapannya, penyiapan benda uji, prosedur uji, perhitungan dan laporan pengujian, termasuk contoh-contoh hasil pengujiannya.

Standar ini bermanfaat bagi para laboran atau teknisi yang berhubungan dengan pekerjaan kegeoteknikan, para pendesain bangunan sipil dan pihak-pihak terkait lainnya, khususnya di lingkungan Departemen Pekerjaan Umum.

“ Copy standar ini dibuat oleh BSN untuk Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum dalam rangka Penyebarluasan, Penganalan dan Pengaplikasian Standar, Pedoman, Manual (SPM) Bidang Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil ”

Cara uji potensi pengembangan atau penurunan satu dimensi tanah kohesif

1 Ruang Lingkup

Standar ini menetapkan cara uji potensi pengembangan atau penurunan satu dimensi tanah kohesif untuk menentukan besarnya pengembangan atau penurunan tanah kohesif yang relatif tak terganggu atau yang dipadatkan. Cara uji dapat digunakan untuk memperoleh karakteristik dan parameter-parameter pengembangan dari suatu tanah, yang digunakan sebagai masukan dalam melakukan analisis dan antisipasi penanganan tanah ekspansif, sehingga struktur aman.

Cara uji ini digunakan untuk menentukan besarnya pengembangan atau penurunan pada tekanan vertikal (aksial) yang telah ditentukan, atau menentukan besarnya tekanan vertikal yang diperlukan supaya tidak terjadi perubahan volume dari benda uji yang dibebani secara aksial dan tidak bergerak ke arah *lateral* (ke samping).

2 Acuan normatif

SNI 03-1964-1990, *Cara pengujian berat jenis tanah.*

SNI 03-2812-1992, *Cara pengujian konsolidasi tanah satu dimensi.*

SNI 03-3423-1994, *Cara pengujian analisis ukuran butiran tanah dengan alat hidrometer.*

SNI 03-1742-1989, *Cara pengujian kepadatan ringan untuk tanah.*

SNI 03-1743-1989, *Cara pengujian kepadatan berat untuk tanah.*

SNI 03-4148-1996, *Spesifikasi tabung dinding tipis untuk pengambilan contoh tanah berkohesi tidak terganggu.*

SNI 03-1965-1990, *Cara pengujian laboratorium untuk penentuan kadar air tanah.*

SNI 03-1966-1990, *Cara pengujian batas plastis.*

SNI 03-1967-1990, *Cara pengujian batas cair dengan alat Casagrande.*

SNI 03-4153-1996, *Cara uji penetrasi dengan alat SPT*

3 Istilah dan definisi

Istilah dan definisi yang berkaitan dengan standar ini adalah sebagai berikut.

3.1

pengangkatan (*heave*)

pertambahan tinggi, Δh dari suatu kolom tanah di tempat asalnya setinggi h akibat penyerapan air

3.2

persentase pengangkatan atau penurunan (%)

rasio penambahan atau pengurangan tinggi Δh terhadap tinggi semula (h) dari suatu kolom tanah di tempat asalnya

3.3

penurunan (*settlement*)

berkurangnya tinggi Δh dari suatu kolom tanah setinggi (h) di tempat asalnya

3.4

pengembangan (*swell*)

bertambahnya elevasi atau dilasi (*dilation*: pembesaran ke semua arah) dari suatu kolom tanah akibat penyerapan air

3.5

pengembangan bebas (%)

persentase pengangkatan, $\Delta h/h \times 100$, akibat penyerapan air pada tekanan penyeimbang σ_{se}

3.6

pengembangan primer

pengembangan yang terjadi pada jangka pendek yang berakhir pada titik potong antara garis singgung kurva yang mulai berbalik arah dengan garis singgung atau bagian garis lurus dari grafik semi log antara waktu dan pembacaan arloji ukur (*dial*), (lihat Gambar 2)

3.7

pengembangan sekunder

pengembangan yang terjadi dalam jangka panjang yang ditunjukkan oleh garis lurus dari grafik pengembangan - log waktu setelah pengembangan (*swelling*) primer selesai (Gambar 2)

3.8

indeks pengembangan

kemiringan kurva pengurangan beban dari grafik semi log hubungan antara tekanan balik (*rebound*) terhadap angka pori (Gambar 3)

3.9

tekanan pengembangan

suatu tekanan yang diperlukan untuk mencegah agar benda uji tidak mengalami pengembangan seperti yang diperoleh pada cara C, atau suatu tekanan yang diperlukan untuk mengembalikan benda uji pada keadaan seperti semula (angka pori dan tinggi awal) setelah mengalami pengembangan, seperti pada cara A dan B

3.10

tekanan penyeimbang (*seating pressure*)

besarnya tekanan atau beban yang diberikan agar sistem yang menekan pada permukaan benda uji betul-betul duduk pada tempatnya; biasanya sekitar 1-2 kPa.

3.11

laju pengembangan/pengangkatan

Besarnya pengembangan/pengangkatan per satuan waktu

4 Ketentuan dan persyaratan

4.1 Umum

Cara uji ini mencakup 3 (tiga) alternatif cara uji laboratorium, yaitu cara A, cara B dan cara C. Parameter-parameter pengembangan yang diperoleh dari cara uji ini (untuk memperkirakan pengangkatan fondasi dan tanah yang dipadatkan) mungkin tidak mewakili kondisi-kondisi lapangan, karena hal-hal sebagai berikut :

- a) Pengembangan dan tekanan lateral yang terkekang tidak dapat disimulasi.
- b) Pengembangan di lapangan, biasanya terjadi pada tekanan lapangan yang konstan, tergantung dari adanya air. Pengembangan di laboratorium dilakukan dengan mengamati perubahan volume akibat perubahan tekanan yang diberikan selama benda uji digenangi air. Cara B telah di desain sedemikian rupa untuk menghindari hal keterbatasan tersebut di atas.
- c) Laju pengembangan dari hasil pengujian tidak selalu dapat digunakan sebagai petunjuk dari laju pengangkatan di lapangan akibat retakan-retakan yang ada di dalam massa tanah yang terjadi di lapangan serta simulasi yang tidak memadai sehubungan dengan adanya air di dalam tanah. Pada kenyataannya, air yang ada pada fondasi, mungkin berfluktuasi secara siklik, terputus-putus atau tergantung dari situasi setempat, misalnya timbunan kembali yang pervius (*pervious soil-filled*) dari saluran/parit dan pipa-pipa air yang bocor di dalam lapisan fondasi.
- d) Pengembangan sekunder atau pengembangan jangka panjang mungkin cukup signifikan pada beberapa jenis tanah. Besar pengembangan sekunder ini harus ditambahkan pada pengembangan primer.
- e) Kandungan kimia dari air yang tergenang dapat mempengaruhi perubahan volume dan tekanan pengembangan. Air yang ada di lapangan yang mempunyai konsentrasi ion kalsium yang besar akan menghasilkan pengembangan yang lebih kecil dibandingkan air yang banyak mengandung konsentrasi ion sodium atau air hujan.

Kegunaan dan aplikasi dari hasil pengujian ini, diantaranya adalah sebagai berikut :

- a) Potensi pengembangan atau penurunan relatif dari tanah yang diperoleh dari cara uji ini dapat digunakan untuk memperkirakan pengangkatan atau penurunan pada kondisi di mana kadar air dan pembebanan akhir telah ditentukan terlebih dahulu. Kadar air dan angka pori awal harus mencerminkan kondisi tanah sebelum konstruksi. Pemilihan cara uji serta tahapan-tahapan pembebanan dan penggenangan air sedapat mungkin juga disesuaikan dengan pengaruh pembasahan dan pengeringan, baik selama konstruksi maupun pasca konstruksi, serta kondisi perubahan pembebanan.
- b) Tanah yang mengandung monmorilonit cenderung mempunyai potensi mengembang yang signifikan dan biasanya diuji dengan menggunakan cara ini. Pengembangan K-monmorilonit (kation bervalensi dua), biasanya lebih kecil dibandingkan dengan Na-montmorilonit (kation bervalensi satu). Untuk itu jenis kapasitas tukar kation dari jenis monmorilonit tersebut perlu dipelajari.
- c) Penyiapan benda uji di laboratorium harus dibuat sedemikian rupa, sehingga mendekati kondisi-kondisi tanah di tempat asalnya atau tanah yang dipadatkan di lapangan, karena perubahan yang relatif kecil dari berat isi dan kadar air dapat mengubah secara signifikan besar pengangkatan (*heave*) dan tekanan pengembangan yang diukur. Perbedaan dari struktur butir tanah benda uji yang dipadatkan, misalnya dengan cara ditumbuk atau dipadatkan secara statis, dapat mempengaruhi secara signifikan perilaku pengembangan/ penurunan tanah kohesif.
- d) Cara uji ini dapat digunakan untuk benda uji dari contoh tanah yang tak terganggu atau yang dibentuk ulang. Cara pengujian ini terdiri dari 3 cara, yaitu :

1) Cara A ; cara uji ini dilakukan untuk mengukur :

- (a) pengembangan bebas,
- (b) persentase pengangkatan untuk tekanan vertikal terkekang sampai pada tekanan pengembangan,
- (c) tekanan pengembangan.

2) Cara B ; cara ini dilakukan untuk mengukur :

- (a) persentase pengangkatan atau penurunan pada tekanan vertikal yang biasanya diambil sama dengan tekanan lapangan atau tekanan vertikal lain yang sama dengan tekanan pengembangan,
- (b) tekanan pengembangan

3) Cara C ; cara uji dilakukan untuk mengukur :

- (a) tekanan pengembangan,
- (b) tekanan prakonsolidasi,
- (c) persentase pengangkatan atau penurunan dalam rentang tekanan vertikal yang digunakan.

Cara A dan cara C menghasilkan perkiraan besar pengangkatan yang konsisten dengan besar pengangkatan yang diamati. Cara B cenderung menghasilkan perkiraan pengangkatan yang lebih kecil dari hasil pengamatan. Cara A tidak direkomendasikan untuk mengevaluasi tekanan pengembangan dan parameter konsolidasi lainnya yang digunakan untuk memperkirakan penurunan, karena penyerapan air yang tidak terkendali selama pengujian dapat mengganggu struktur tanah. Akibat terganggunya benda uji, besar tekanan pengembangan dari cara C yang dikoreksi adalah sama atau sedikit lebih besar dan tekanan pengembangan yang diperoleh dari cara A

4.2 Peralatan dan bahan

4.2.1 Konsolidometer

Alat ini harus memenuhi persyaratan seperti pada cara uji konsolidasi, SNI 03-2812-1992, yang harus mampu memberikan tekanan pada benda uji, sebagai berikut :

- a) Mempunyai kapasitas tekanan yang besarnya paling sedikit 200% dari tekanan desain yang diantisipasi.
- b) Mampu menjaga tekanan yang diperlukan supaya tinggi benda uji tetap pada tinggi semula (tidak berubah/mengembang), bila benda uji digenangi air menggunakan cara C, pilih diantara butir a) atau b) mana yang paling besar.
- c) Kecuali beban-beban yang bervariasi dari 25 kPa hingga 800 kPa seperti uji konsolidasi, siapkan beban-beban ringan dari timah atau dari bahan logam lain yang beratnya tidak mudah berubah, yang dapat memberikan tekanan sebesar 1 kPa, 2 kPa, 5 kPa, 10 kPa dan 25 kPa.

Kekakuan dari alat konsolidometer dapat mempengaruhi besarnya pengembangan yang diamati, terutama pada cara C. Pengujian harus menggunakan alat konsolidometer yang kaku (Gambar 1), sesuai SNI 03-2812-1992.

Penambahan volume tanah, meskipun sedikit, akan mempengaruhi secara signifikan besarnya tekanan pengembangan. Oleh karena itu, pergerakan (pembacaan dial) yang bervariasi selama pengujian dengan cara C harus dijaga sekecil mungkin untuk mengurangi besarnya koreksi yang diperlukan. Tekanan pengembangan harus dikoreksikan seperti diuraikan pada Bab 10 cara perhitungan

4.2.2 Batu pori

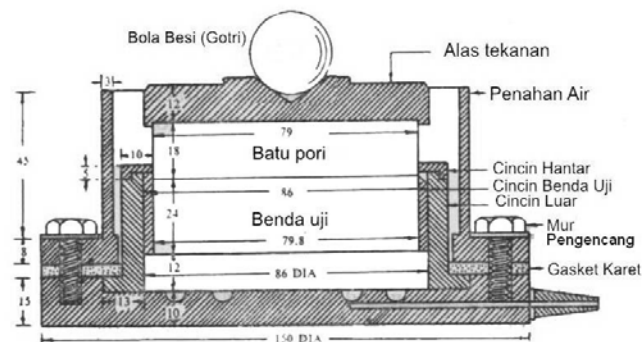
Permukaan batu pori (*porous stone*) harus cukup rata dan halus untuk mencegah masuknya butiran tanah ke dalam batu pori. Apabila tidak menggunakan kertas filter, posisi benda uji harus sedemikian rupa, sehingga dapat mengurangi penyimpangan yang disebabkan olehuduknya benda uji pada permukaan batu pori. Pergerakan tersebut mungkin cukup signifikan, terutama apabila pergerakan dan tekanan vertikalnya cukup kecil. Untuk itu, hal-hal yang perlu dipertimbangkan, adalah :

- Batu pori harus kering udara.
- Batu pori, harus pas masuk ke dalam cincin konsolidometer untuk mencegah desakan atau gerakan yang mendadak akibat tekanan vertikal yang besar. Dimensi (ukuran) batu pori adalah sama seperti pada cara uji konsolidasi, sesuai SNI 03-2812-1992.

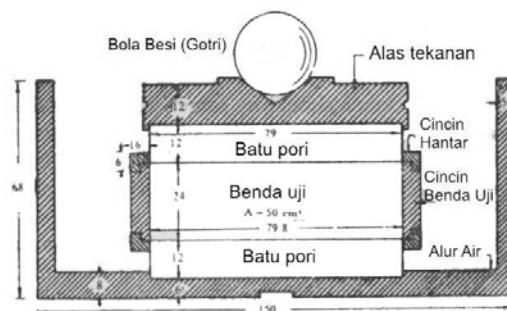
Ukuran pori yang memadai adalah $10\ \mu\text{m}$, bila tidak menggunakan kertas filter. Untuk jenis tanah yang teguh dengan menggunakan cara C, kertas filter tidak direkomendasikan karena mempunyai sifat kompresibilitas yang tinggi.

4.2.3 Pembungkus benda uji

Untuk mengurangi penguapan sebelum digenangi air, bagian atas benda uji termasuk cincin dan batu pori harus ditutup dengan kantong plastik, kertas aluminium, atau kertas tisu lembab, yang nantinya mudah dilepas.



(a) Cincin Konsolidasi Tidak Tetap

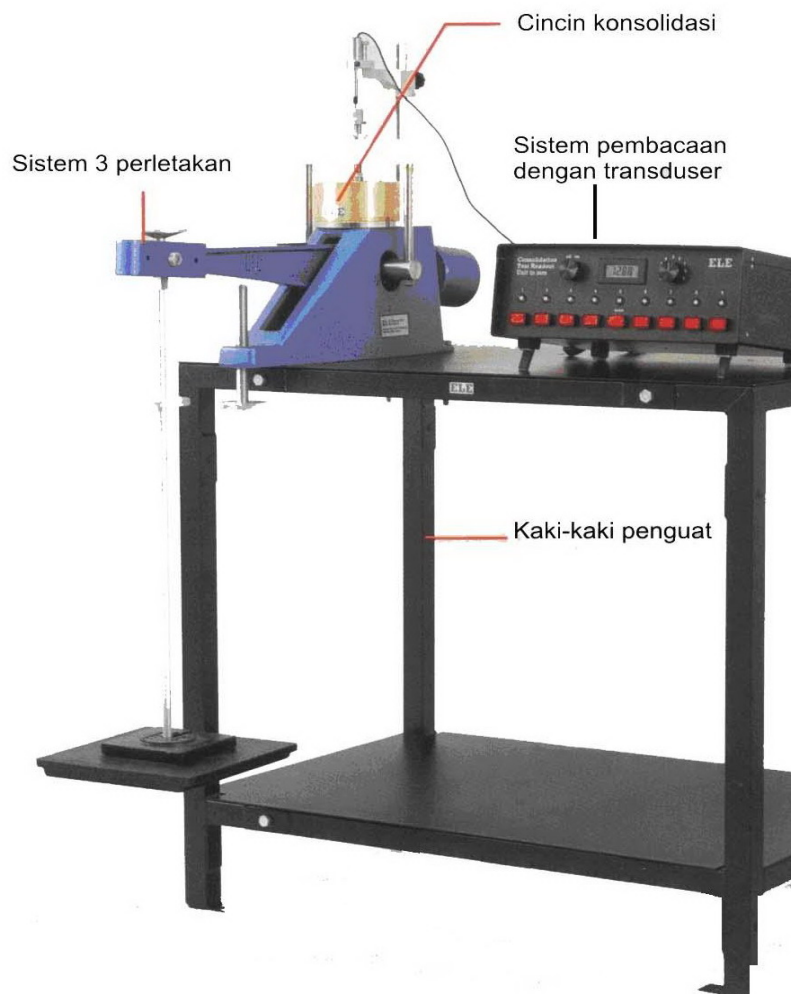


(b) Cincin Konsolidasi Tetap

Gambar 1(a) dan (b) Cincin konsolidasi dan bak perendamnya



Gambar 1 (c) Cincin konsolidasi dan pencetaknya



Gambar 1 (d) Unit konsolidasi dengan rangka pembebanan dan alat bacanya

4.3 Contoh tanah

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan pengambilan contoh tanah yang mudah mengembang (ekspansif) adalah sebagai berikut :

- a) Gangguan pada contoh tanah saat diambil adalah sangat mengurangi mutu hasil pengujian, hal tersebut harus diminimalkan. Prosedur pengambilan contoh menggunakan tabung tipis sesuai SNI 03-4153-1996 dan pengambilan contoh menggunakan tabung khusus sesuai ASTM D-3550 dapat digunakan sebagai acuan untuk memperoleh contoh tanah tak terganggu yang memenuhi syarat.
- b) Meskipun pelepasan tegangan telah diminimalkan, namun untuk tanah ekspansif, contoh tanah tidak direkomendasikan disimpan di dalam tabung besi. Pengaruh karat dan penetrasi air pemboran atau air bebas (dari luar selain air pemboran) ke dalam contoh tanah dapat mempengaruhi hasil pengujian laboratorium. Air dan oksigen dari contoh dapat menyebabkan berkaratnya bagian dalam tabung yang mengakibatkan contoh melekat pada dinding dalam tabung. Oleh karena itu, dinding tabung contoh harus terbuat dari kuningan, baja tahan karat atau dilapisi cat anti karat, sesuai SNI 03-4153-1996.
- c) Apabila contoh tanah perlu disimpan sebelum diuji, contoh harus dikeluarkan dari tabungnya secepat mungkin setelah pengambilan contoh di lapangan dan di bungkus seluruhnya dengan kertas alumunium atau pembungkus lain yang kedap air/udara, untuk mengurangi pengaruh pelepasan tegangan dan kehilangan kadar air. Contoh tanah harus dikeluarkan pada arah seperti saat diambil di lapangan, untuk mengurangi gangguan. Apabila contoh tanah tidak dapat dikeluarkan dari tabungnya dengan segera, contoh tanah tersebut harus ditangani mengikuti prosedur ASTM D 4220 / group D.
- d) Tempat penyimpanan dari contoh-contoh tanah yang telah dikeluarkan dari tabungnya terbuat dari papan kayu atau logam, tebal sekitar 25 mm lebih besar dari diameter contoh dan 40 mm - 50 mm lebih panjang dari contoh yang akan disimpan.
- e) Contoh-contoh tanah yang disimpan dalam tempat penyimpanan harus benar-benar seluruhnya dibungkus dengan lilin. Saat dituangkan ke dalam contoh, lilin harus mempunyai temperatur sekitar 8°C sampai dengan 14°C di atas titik leleh lilin. Lilin yang terlalu panas akan masuk ke dalam pori-pori dan retakan-retakan yang terdapat pada contoh tanah yang mengakibatkan contoh menjadi kering.
- f) Contoh tanah harus dibungkus dengan kertas alumunium, kain yang lembut atau plastik untuk mencegah penetrasi dari lilin yang meleleh atau mencair melalui retakan-retakan.
- g) Bagian bawah dari tempat penyimpanan diberi lilin secukupnya (setebal sekitar 113 mm) dan dibiarkan supaya lilin meleleh atau mengental sebagian. Kemudian, tempatkan contoh tanah ke dalam tempat penyimpanan dan tuangkan cairan lilin, sehingga contoh tanah terbungkus seluruhnya dengan lilin dan biarkan lilin menjadi dingin sebelum contoh diangkat. Lilin yang baik untuk membungkus tanah ekspansif adalah campuran parafin dan lilin mikrokristal dengan perbandingan 1: 1, atau dengan lilin lebah murni.
- h) Periksa dan lakukan pengujian dengan segera terhadap contoh tanah yang telah diterima di laboratorium. Contoh-contoh tanah yang belum sempat diuji harus disimpan di dalam ruangan yang lembab dan dibungkus dengan lilin serta diberi label sebelum disimpan. Contoh-contoh tanah yang terbungkus lilin atau di dalam tabung contoh dapat dipotong menggunakan gergaji besi. Benda uji harus dikeluarkan dari tabung contoh dengan panjang secukupnya dan dipotong sekaligus diratakan untuk mengurangi gangguan.

5 Penyiapan benda uji

Lakukan penyiapan benda uji sebagai berikut :

- a) Cetak benda uji dari contoh tanah tak terganggu atau dari contoh tanah yang dipadatkan di laboratorium. Pencetakan benda uji dari contoh tanah yang dipadatkan di laboratorium harus sedemikian rupa, sehingga mendekati kondisi tanah yang dipadatkan di lapangan. Cara pemadatan yang dilakukan dengan tumbukan atau pemadatan statis dapat mempengaruhi perubahan volume, bila dipadatkan pada sisi basah (*wet side*) dari kadar air optimum. Pemadatan benda uji di laboratorium harus mengikuti SNI 03-1742-1989 dan SNI 03-1743-1989. Benda uji tanah ekspansif yang dicampur dengan kapur harus mengikuti ASTM D 3877.
- b) Potong dan bentuk benda uji sesuai dengan SNI 03-2812-1992. Cincin pengembang sesuai ASTM D 3877 dapat ditambahkan pada konsolidometer untuk mengakomodir pengembangan benda uji. Sebagai alternatif, suatu piringan tipis dapat diselipkan di bawah benda uji selama benda uji tersebut dipadatkan di dalam cincin.
- c) Balikkan cincin ke bawah dan ambil piringan tersebut supaya terdapat ruangan yang cukup bagi benda uji untuk mengembang. Perlu perhatian terhadap bertambahnya kadar air dan berat isi selama pengangkutan dan penyiapan benda uji. Gangguan getaran, distorsi dan kompresi harus dihindari.

6 Kalibrasi

Lakukan kalibrasi sebagai berikut :

- a) Lakukan kalibrasi mesin konsolidasi sesuai dengan SNI 03-2812-1992.
- b) Ukur kompresibilitas alat dengan menggunakan tembaga, kuningan atau piringan baja yang permukaannya halus dan rata sebagai pengganti dari benda uji. Piringan harus mempunyai tinggi yang sama dengan benda uji dan 1 mm lebih kecil dari diameter cincin. Bila kertas filter digunakan dalam pengujian, letakkan kertas filter basah di antara batu pori dan piringan logam.
- c) Biarkan beberapa waktu, supaya kandungan air yang ada pada filter terperas ke luar selama tahapan penambahan atau pengurangan beban. Penyimpangan yang diperoleh dari hasil kalibrasi ini harus dikoreksikan terhadap deformasi benda uji saat dilakukan penambahan atau pengurangan beban.
- d) Untuk pengujian tanpa kertas filter, kalibrasi cukup dilakukan secara berkala.

7 Prosedur pengujian

Prosedur pengujian pengembangan terdiri dari 3 cara yang prinsipnya adalah sebagai berikut :

1) Cara A

Benda uji digenangi air dan dibiarkan mengembang secara vertikal pada tekanan penyeimbang σ_{se} antara 1-2 kPa sampai pengembangan primer selesai. Benda uji kemudian dibebani secara bertahap sampai kembali ke kondisi semula (kembali ke angka pori/tinggi awal atau pembacaan awal).

2) Cara B

Benda uji diberi tekanan vertikal, σ_1 yang lebih besar dari tekanan penyeimbang, σ_{se} sebelum air dimasukkan ke dalam konsolidometer. Besarnya tekanan vertikal biasanya sama dengan besarnya tekanan lapangan (*overburden pressure*) atau sebesar beban

struktural atau kedua-duanya, atau bervariasi, tergantung dan aplikasinya. Benda uji kemudian digenangi air yang mengakibatkan benda uji mengembang, atau mengalami kontraksi. Besarnya pengembangan atau penurunan pada tekanan tertentu, harus dibaca setelah arloji pembacaan menunjukkan deformasi yang relative kecil atau telah hampir konstan.

3) Cara C

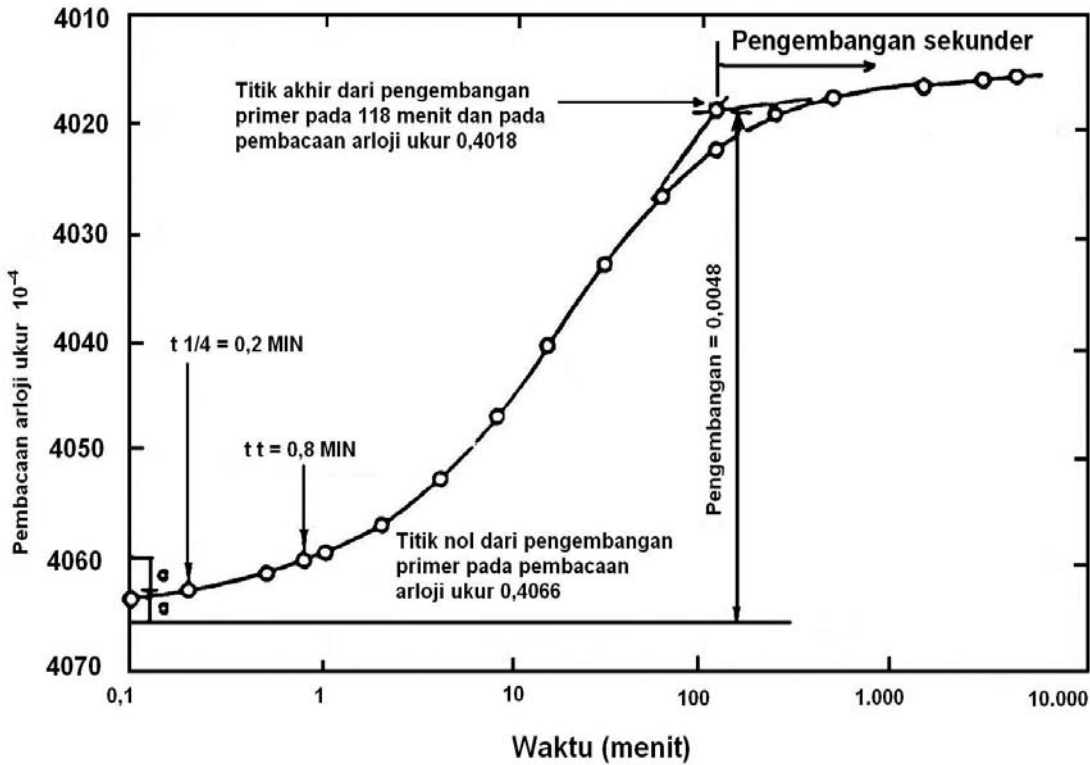
Setelah benda uji digenangi air pada tekanan lapangan, tinggi benda uji dijaga supaya tidak berubah/mengembang dengan cara mengatur besarnya tekanan (beban) vertikal untuk memperoleh tekanan pengembangan. Setelah itu, pembebanan dilanjutkan seperti halnya pengujian konsolidasi sesuai SNI 03-2812-1992. Data dari beban yang dikurangi secara bertahap digunakan untuk memperkirakan potensi pengangkatan (*heave*).

Secara rinci, prosedur pengujian adalah sebagai berikut :

- 1) Pasang cincin konsolidometer yang di dalamnya telah berisi benda uji bersama-sama dengan kertas filter (bila digunakan) dan batu pori yang kering udara pada unit alat pembebanan. Tutup benda uji, cincin, kertas filter dan batu pori sesegera mungkin dengan plastik, kertas tisu lembab atau kertas aluminium untuk mengurangi perubahan kadar air dan volume benda uji akibat penguapan. Penutup tersebut harus dilepas saat benda uji digenangi air.
- 2) Berikan tekanan penyeimbang, σ_{se} sekitar 1 kPa - 2 kPa. Dalam waktu 5 menit sejak pemberian tekanan penyeimbang tersebut, atur arloji ukur deformasi sebagai pembacaan awal atau pembacaan nol.
- 3) Hasil pengujian dari 3 alternatif cara pengujian, secara grafis ditunjukkan seperti pada Gambar 3, termasuk koreksi terhadap kompresibilitas konsolidometer. Cara pengujian tersebut dilakukan sesuai dengan cara pengujian konsolidasi, sesuai SNI 03-2812-1992.

7.1 Cara A :

- a) Setelah pembacaan deformasi awal dicatat, genangi benda uji dengan air dan catat deformasi pada interval waktu yang telah ditentukan, yaitu 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 15,0 dan 30 menit dan kemudian diteruskan pada 1; 2; 4; 8; 24; 48 dan 72 jam. Lanjutkan pembacaan sampai pengembangan primer selesai, seperti pada Gambar 2.
- b) Setelah pengembangan primer selesai, berikan tekanan vertikal σ_1 secara bertahap sebesar 5; 10; 20; 40; 80 kPa dan seterusnya; besar tekanan setiap tahap harus dijaga konstan sesuai SNI 03-2812-1992. Penambahan tekanan tersebut dihentikan, setelah pembacaan kembali pada kondisi ke angka pori semula atau tinggi awal. Durasi dari setiap penambahan beban harus sama dengan durasi yang diperlukan untuk mencapai 100% konsolidasi primer.



Gambar 2 Kurva waktu - pengembangan

c) Teruskan proses pengembangan sekunder dan catat deformasi untuk menentukan akhir dari pengembangan primer secara grafis. Durasi dari setiap penambahan beban adalah 1 hari. Pemberian tekanan vertikal diteruskan untuk mengembalikan benda uji pada posisi dimana angka pori lebih kecil dari angka pori awal (titik 6, Gambar 3, Cara A), sebab besaran yang pasti dari tekanan vertikal yang diperlukan untuk menekan benda uji kembali ke angka pori awal tersebut tidak diketahui dengan pasti. Unit pembebanan yang dilengkapi alat pengatur pneumatik sangat ideal digunakan pada pengujian ini.

Cara A ini dapat dimodifikasi sebagai berikut :

- i. Setelah 5 menit pemberian tekanan penyeimbang σ_{se} , beri tekanan vertikal awal σ_1 , sama dengan estimasi tekanan lapangan.
- ii. Catat deformasi dalam waktu 5 menit setelah pemberian tekanan σ_1 , kemudian lepas tekanan σ_1 dan genangi benda uji dengan air;
- iii. Teruskan penambahan beban seperti pada butir a) di atas.

Modifikasi ini mencakup koreksi terhadap pembacaan deformasi awal pada σ_{se} , untuk menyesuaikan sedekat mungkin dengan angka pori tanah di tempat asalnya.

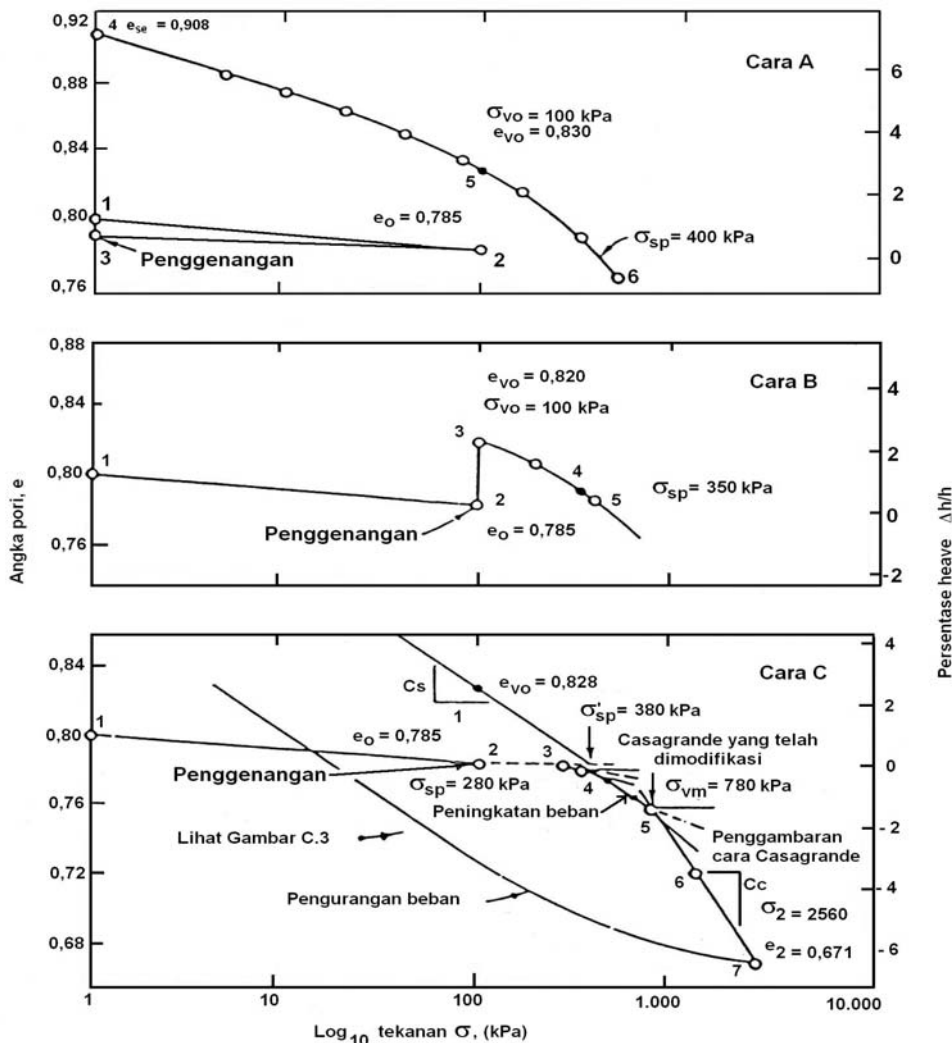
7.2 Cara B

- a) Setelah pemberian tekanan penyeimbang σ_{se} berlangsung 5 menit, berikan tekanan vertikal σ_1 yang lebih besar dari tekanan penyeimbang σ_{se} .
- b) Setelah 5 menit pemberian tekanan vertikal (σ_1), lakukan pembacaan.
- c) Genangi benda uji segera dengan air dalam waktu yang sama seperti cara A sampai pengembangan primer selesai.
- d) Teruskan pengujian seperti cara A.

" Copy standar ini dibuat oleh BSN untuk Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum dalam rangka Penyebarluasan, Pengenalan dan Pengaplikasian Standar, Pedoman, Manual (SPM) Bidang Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil "

7.3 Cara C

- a) Setelah 5 menit pemberian tekanan penyeimbang σ_{se} , berikan tekanan σ_1 sama dengan perkiraan tekanan lapangan atau tekanan pengembangan yang diperkirakan akan terjadi.
- b) Setelah 5 menit pemberian tekanan σ_1 , lakukan pembacaan dan genangi benda uji dengan air sesegera mungkin.
- c) Berikan penambahan beban yang diperlukan secara hati-hati dan jaga supaya tidak terjadi pengembangan. Beban tambahan yang ringan, seperti timah penimbang, dapat digunakan. Ketelitian pembacaan deformasi pada waktu benda uji digenangi pada tekanan σ_1 adalah sebesar 0,005 mm dan tidak boleh lebih dari 0,010 mm.
- d) Teruskan pembebanan benda uji seperti cara A setelah benda uji tidak mengalami kecenderungan untuk mengembang (biasanya semalam). Penambahan beban seperti pengujian konsolidasi dilakukan sedemikian rupa, sehingga titik maksimum kurva konsolidasi dan kurva kemiringan kompresi asli (Cc) dapat ditentukan. Kurva pengurangan beban secara bertahap (*rebound curve*) juga harus ditentukan seperti pada Gambar 3, Cara C). Lama waktu pengurangan beban tersebut harus sesuai SNI 03-2812-1992.



Gambar 3 Contoh kurva angka tekanan pori – log vertikal hasil pengujian

Pengukuran harus meliputi waktu pembacaan, pemberian tekanan, deformasi yang diamati dan koreksi-koreksi yang diperlukan.

8 Perhitungan

Lakukan perhitungan dengan prosedur sebagai berikut :

- a) Hitung angka pori awal atau tinggi awal, kadar air, berat isi basah dan berat isi kering serta derajat kejenuhan sesuai SNI 03-2812-1992. Perhitungan angka pori atau persentase pengangkatan berdasarkan pada pembacaan akhir dari arloji ukur untuk setiap peningkatan pengembangan dan penambahan pembebanan atau sebaliknya (pengurangan beban).
- b) Buat grafik (*plotting*) angka pori atau persentase pengangkatan terhadap logaritma dari tekanan vertikal (log σ), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Persentase pengangkatan harus dibandingkan relatif terhadap tinggi awal benda uji, h_0 yang diamati, sesuai pada tekanan vertikal σ_1 . Penggambaran hubungan persentase pengangkatan atau angka pori vs tekanan vertikal pada skala aritmatik (bukan log) dapat membantu dalam analisis.
- c) Gunakan titik-titik data dari kurva e vs $\log \sigma$ (Gambar 3) untuk melakukan evaluasi terhadap parameter-parameter pengembangan dan penurunan dari tanah yang diuji.

8.1 Cara A

- a) Pengembangan bebas pada tekanan penyeimbang σ_{se} terhadap angka pori awal, e_0 (Gambar 3), dihitung sebagai berikut :

$$\text{Pengembangan bebas} = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100 = \frac{e_{sc} - e_0}{1 + e_0} \times 100 = \left(\frac{\gamma_{do}}{\gamma_{dsc}} - 1 \right) 100 \% \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

- Δh adalah perubahan tinggi contoh uji,
- h_0 adalah tinggi awal contoh uji,
- e_{se} adalah angka pori setelah terjadi pengembangan pada tekanan penyeimbang σ_{sc} ,
- e_0 adalah angka pan awal,
- γ_{do} adalah berat isi kering pada e_0 ,
- γ_{dse} adalah berat isi kering pada e_{se} ,

Sebagai contoh pada Gambar 3 (Cara A), pengembangan bebas pada tekanan penyeimbang σ_{se} 1 kPa, adalah :

$$\text{Pengembangan bebas} = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100 = \frac{0,908 - 0,785}{1,00 + 0,785} \times 100 = 6,9\%$$

Nilai sebesar 6,9% tersebut juga dapat dibaca langsung pada ordinat sebelah kanan Gambar 3 (Cara A), untuk $e_{se} = 0,908$ (titik 4 pada kurva, Lampiran Gambar 3).

- b) Persentase pengangkatan pada tekanan vertikal σ sampai dengan tekanan pengembangan σ_{sp} , terhadap e_0 atau tekanan awal σ_{vo} (Lampiran Gambar 3, Cara A) adalah sebagai berikut:

$$\% \text{-pengangkatan (heave)} = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100 = \frac{e - e_0}{1 + e_0} \times 100 = \left(\frac{\gamma_{do}}{\gamma_d} - 1 \right) 100 \% \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

e adalah angka pori pada tekanan vertikal
 γ_d adalah berat isi kering pada angka pori

Sebagai contoh pada Gambar 2 (Cara A), persentase pengangkatan sebagai berikut :

$$\% \text{-pengangkatan} = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100 = \frac{0,830 - 0,785}{1,00 + 0,785} \times 100 = 2,5\%$$

Dengan $e = e_{v_0} = 0,83$ dan $\sigma = \sigma_{v_0} = 100$ kPa

Tekanan pengembangan σ_{sp} adalah 400 kPa terhadap $e_0 = 0,785$.

- c) Bila berat spesifik G_s tidak ditentukan, hasil pengujian dapat diplotkan ke dalam hubungan antara berat isi kering γ_d vs log tekanan σ (Gambar C.2).

8.2 Cara B

- a) Persentase pengangkatan pada tekanan vertikal σ_{v_0} , yang diberikan setelah pemberian tekanan penyeimbang σ_{se} terhadap e_0 adalah seperti berikut (Gambar 3, **Cara B**) :

$$\% \text{-pengangkatan} = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100 = \frac{e_{v_0} - e_0}{1 + e_0} \times 100 = \left(\frac{\gamma_{do}}{\gamma_{dvo}} - 1 \right) 100 \% \quad (3)$$

dengan :

e_{v_0} adalah angka pori setelah pengembangan mencapai keseimbangan pada tekanan vertikal σ_{v_0} ,
 γ_{do} adalah berat isi kering pada angka pori e_{v_0} .

Sebagai contoh pada Gambar 2 (Cara B), persentase pengangkatan sebagai berikut :

$$\% \text{-pengangkatan} = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100 = \frac{0,820 - 0,785}{1,000 + 0,785} \times 100 = 2,0\%$$

dengan :

$\sigma = \sigma_{v_0} = 100$ kPa

σ_{sp} adalah tekanan pengembangan = 350 kPa untuk $e_0 = 0,785$

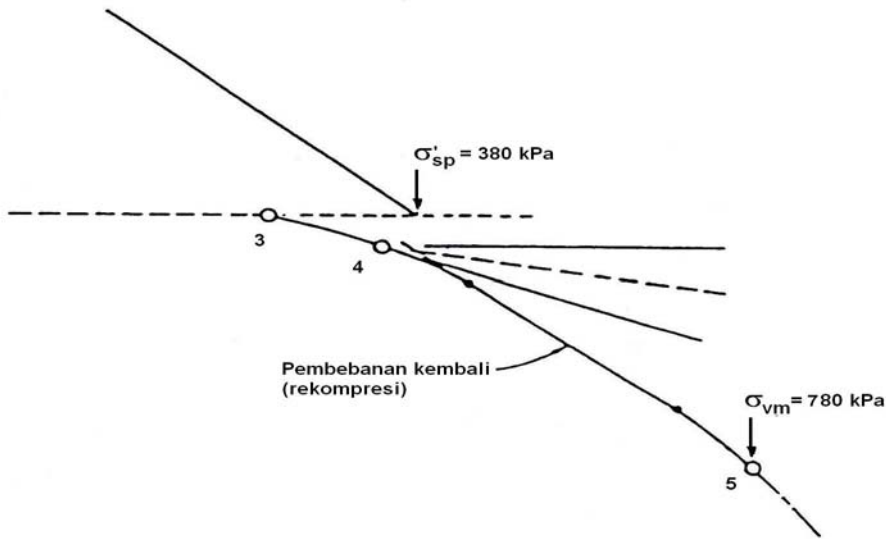
- b) Perhitungan penurunan adalah sama dengan apabila benda uji mengalami kontraksi pada tekanan vertikal yang diberikan setelah digenangi.

8.3 Cara C

- a) Tekanan pengembangan σ_{sp} (titik 3, Gambar 3, cara C) harus dikoreksikan dengan prosedur yang sesuai. Gangguan contoh tanah dan proses penyetulan tekanan vertikal dapat mempengaruhi volume pengembangan sehingga mengurangi tekanan pengembangan maksimum yang diamati (diuji).

- 1) Prosedur cara koreksi berdasarkan pada tekanan prakonsolidasi σ_{vm} , yaitu untuk tanah yang kurva kompresi aslinya tidak jelas (yaitu bila kurva rekompresi tidak tergambar dengan baik) adalah sebagai berikut :

- i. Beri tanda titik maksimum dari kurva (titik 5, Gambar 3, Cara C).
 - ii. Tarik garis horizontal, garis singgung dan garis bagi melalui titik 5 tersebut.
 - iii. Perpanjang bagian kurva kompresi asli sampai memotong garis bagi pada tekanan pra konsolidasi σ_{vm} atau sebesar 780 kPa pada Gambar 3. Tekanan pengembangan adalah sama dengan tekanan prakonsolidasi. Garis kemiringan dari kurva pengurangan beban (*rebound*) biasanya jauh lebih kecil dari kurva kompresi (kurva pembebanan).
- 2) Prosedur cara koreksi yang telah dimodifikasi untuk tanah yang kurva rekompresinya jelas, (Gambar 3, Cara C), adalah sebagai berikut :
- i. Tandai titik maksimum dari kurva (titik 4, Gambar 3, Cara C).
 - ii. Tarik garis horizontal, garis singgung dan garis bagi melalui titik maksimum tersebut.
 - iii. Perpanjang garis rekompresi melalui garis bagi. Garis potong antara garis rekompresi dengan garis bagi adalah tekanan pengembangan yang dikoreksi σ'_{sp} , yaitu sebesar 380 kPa pada contoh Gambar 3, Cara C.
- 3) Cara penggambaran secara rinci ditunjukkan pada Gambar 4. Tekanan pengembangan σ'_{sp} dalam hal ini adalah lebih kecil dari σ_{vm} . Bila garis rekompresi tidak dapat digambarkan dengan baik, tarik garis sejajar dengan kurva pengurangan beban (untuk angka pori yang lebih besar dari e_o) melalui garis bagi. Penambahan pembebanan yang bertahap diperlukan untuk menentukan sembarang kurva rekompresi.



Gambar 4 Contoh koreksi untuk cara C

- b) Tarik garis sejajar dengan kurva pengurangan beban atau kurva rekompresi (untuk angka pori lebih kecil dari e_o) melalui tekanan pengembangan yang dikoreksi σ'_{sp} pada angka pori awal e_o , yaitu titik 3, Gambar 3, Cara C, untuk memperoleh persentase pengangkatan untuk tiap tekanan vertikal relatif terhadap σ'_{sp} dan e_o yang berada dalam rentang hasil uji.

Sebagai contoh pada Gambar 3, persentase pengangkatan yang dihitung dengan Cara C untuk $\sigma_{vo} = 100 \text{ kPa}$ adalah sebagai berikut :

$$\% \text{-pengangkatan} = \frac{\Delta h}{h_o} \times 100 = \frac{e_{vo} - e_o}{1 + e_o} \times 100 = \frac{0,828 - 0,785}{1,000 + 0,785} \times 100 = 2,4\%$$

- c) Persentase penurunan (persentase pengangkatan negatif) dapat dievaluasi dari angka pori e_2 yang lebih besar dari tekanan pengembangan yang dikoreksi, sebagai berikut :

$$\% \text{-penurunan} = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100 = \frac{e_2 - e_0}{1 + e_0} \times 100\%$$

Sebagai contoh pada Gambar 3, Cara C, persentase penurunan adalah sebagai berikut :

$$\% \text{-penurunan} = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100 = \frac{0,671 - 0,785}{1,000 + 0,785} \times 100 = -6,4\%$$

Dengan $e_2 = 0,671$ dan $\sigma_2 = 2,560$ kPa

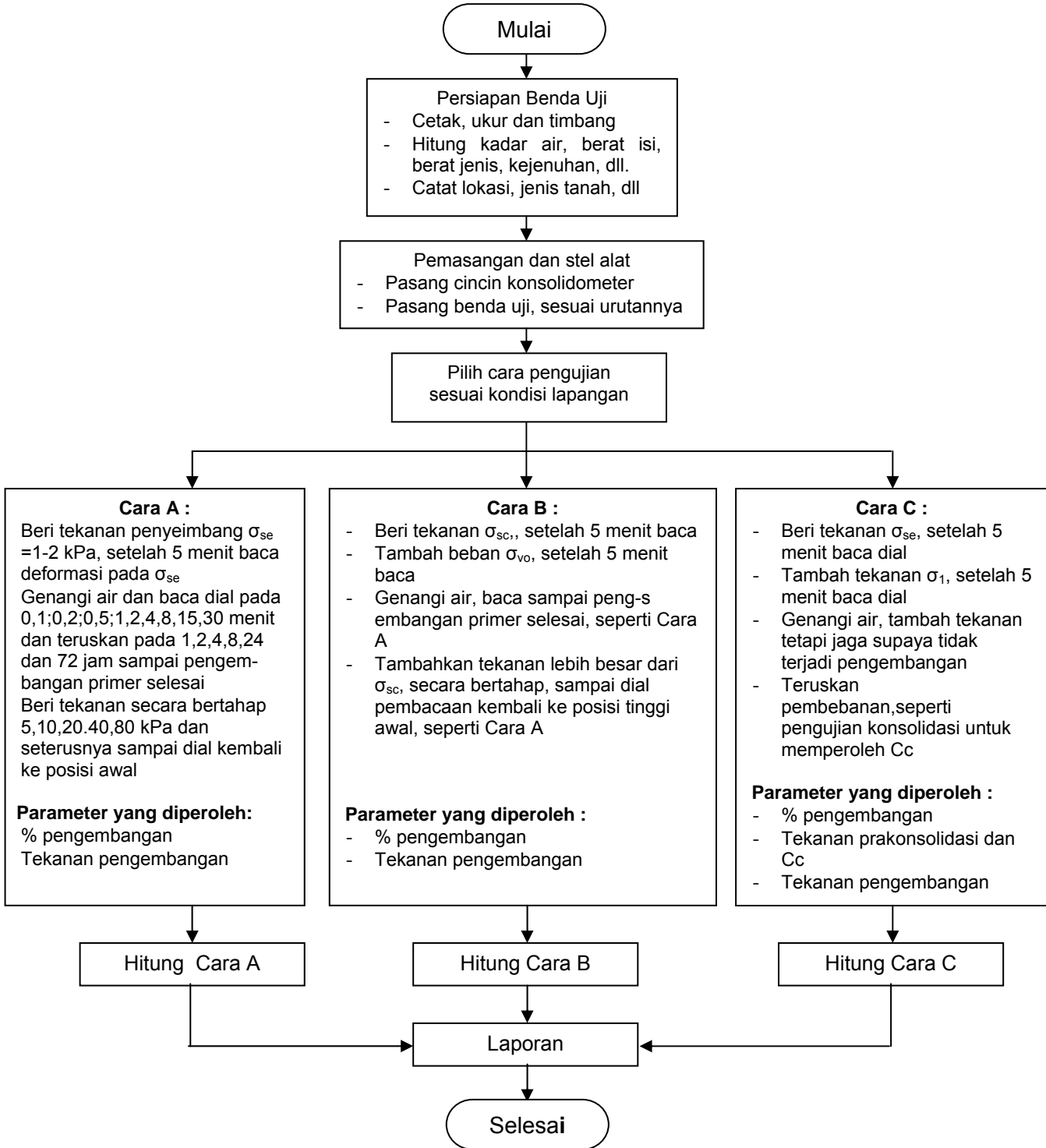
9 Pelaporan

Pelaporan harus mencakup informasi yang diperlukan seperti pada cara uji konsolidasi, sesuai SNI 03-2812-1992, antara lain meliputi beberapa hal penting sebagai berikut :

- a) Cara uji yang digunakan (cara A, cara B atau cara C) termasuk urutan-urutan perubahan pembebanan.
- b) Parameter-parameter pengembangan, antara lain :
 - 1) Persentase pengangkatan atau penurunan pada tekanan vertikal yang telah ditentukan.
 - 2) Tekanan pengembangan σ_{sp} atau tekanan pengembangan yang telah dikoreksi σ'_{sp} .
 - 3) Indeks kompresi C_c .
 - 4) Indeks pengembangan C_s juga harus dilaporkan apabila digunakan dalam evaluasi.
- c) Semua prosedur yang diuraikan untuk menghitung parameter-parameter serta koreksi yang digunakan untuk menentukan persentase pengangkatan, penurunan dan σ'_{sp} harus diuraikan dengan jelas.
- d) Jenis air yang digunakan untuk menggenangi benda uji.
- e) Lokasi, nomor bor, jenis dan warna contoh tanah, tanggal, nama penguji dan pemeriksa, penanggung jawab, dan lain lain.

Lampiran A
(normatif)

Bagan alir



Catatan :

- Cara A dan C menghasilkan besar pengembangan konsisten dengan yang diamati.
- Cara A tidak direkomendasikan untuk mengevaluasi tekanan pengembangan dan parameter konsolidasi lainnya.
- Cara B cenderung menghasilkan besar pengangkatan lebih kecil dari hasil pengamatan.

Tabel dan gambar hasil pengujian laboratorium

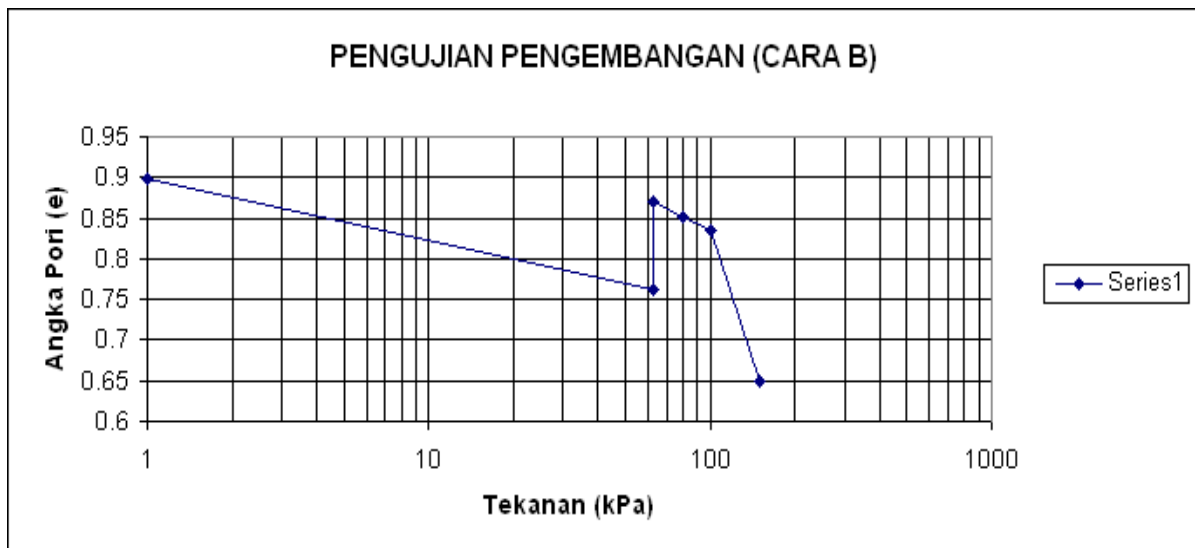
PENGUJIAN PENGEMBANGAN

Proyek :	Tinggi contoh : 1,9300 cm
Lokasi : Cikalong, Cilamaya	Diameter : 5,00 cm
Bor no : BH.1	Kadar air : 29,57 %
Kedalaman : 5,50 -6,00 m	Berat isi : 18,7 kN/m ³
Jinis tanah : Lempung lanauan, abu-abu	Berat jenis : 2,6432
Laboran : Mujiono	Tanggal: 20-4-'98
Pemeriksa : Ir. Lucyawati	Cara : B

Tekanan (kPa)	Pembebanan akhir (cm)	Perubahan (cm)	H (cm)	2H (cm)	e	Heave (%)	Tekanan Pengembangan (kPa)
1	6.832			1,9300	0,898859		
		0.138					
62.5	6.694			1,7920	0,763085		
		-0.109					
62.5	6.803			1,9010	0,870327	6,08	47,5
		0.019					
80	6.784			1,8820	0,851633		
		0.016					
100	6.768			1,8660	0,835891		
		0.19					
150	6.578			1,6760	0,648957		

$Heave = (e_{vo} - e_o)100/(1 + e_o) = 6,08 \%$

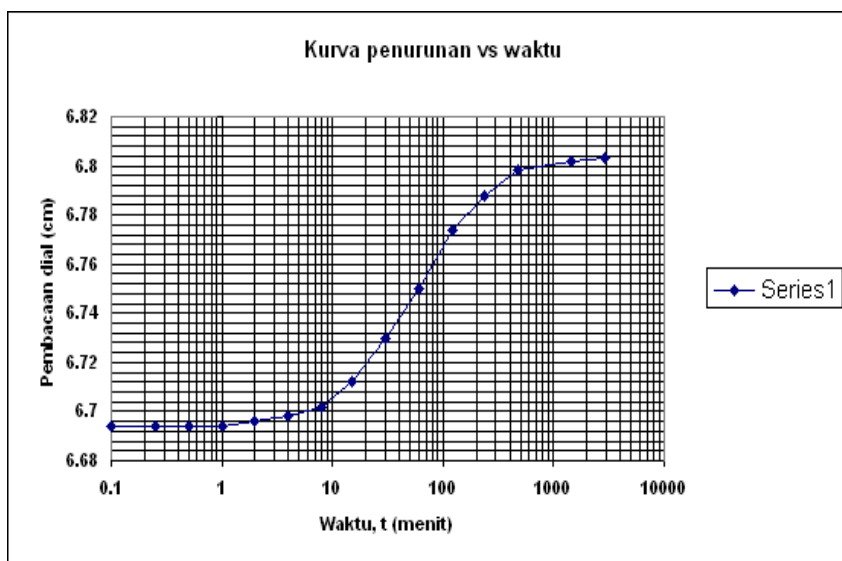
Tekanan pengembangan = 110 - 62.5 = 47.5 kPa



" Copy standar ini dibuat oleh BSN untuk Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum dalam rangka Penyebarluasan, Pengenalan dan Pengaplikasian Standar, Pedoman, Manual (SPM) Bidang Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil "

**PEMBACAAN PENURUNAN VS WAKTU
PENGUJIAN PENGEMBANGAN**

Waktu (Menit)	Tekanan (kPa)				
	1	62.5	80	100	150
0	6.829	6.694			
0.1		6.694	6.799	6.778	6.76
0.25		6.694			
0.5		6.694			
1		6.694			
2		6.696			
4		6.698			
8		6.702			
15		6.712			
30		6.73			
60		6.75			
120		6.774			
240		6.788			
480		6.798			
1440		6.802			
2880		6.803	6.784	6.768	6.578



Lampiran C
(informatif)

Tabel daftar deviasi teknis beserta penjelasannya

No.	Materi	Sebelum	Revisi
1	Judul	Metode pengujian potensi pengembangan atau penurunan satu dimensi tanah kohesif	Cara uji potensi pengembangan atau penurunan satu dimensi tanah kohesif
2	Format	Tanpa format acuan	Perubahan format dan layout SNI sesuai BSN No. 8 Tahun 2000
3	Ketentuan dan persyaratan	Kurang jelas	Diperbaiki redaksionalnya
4	Rumus	Penjelasan rumus masih kurang	Adanya penyempurnaan rumus
5	Bagan alir	Tidak ada	Pembuatan bagan alir (Lampiran A)
6	Gambar	Beberapa gambar kurang jelas	Perbaikan dan penyempurnaan gambar
7	Contoh Formulir	Sudah ada, tapi belum sempurna	Penyempurnaan contoh formulir pengisian dan perhitungan serta penambahan blanko kosong (Lampiran B)
8	Contoh perhitungan	Belum ada	Penambahan contoh perhitungan (Lampiran B)

Bibliografi

- ASTM D 4546-90, *One dimensions swell or settlement potential of cohesive soil.*
- ASTM D 3877, *Test methods for one-dimensional expansion shrinkage, and uplift pressure of soil-line mixtures.*
- ASTM D 4220, *Practice for preserving and transporting soil sample.*
- SNI 13-6424-2000, *Metode pengujian potensi pengembangan atau penurunan satu dimensi tanah kohesif.*