

**Peraturan Menteri Pekerjaan Umum
No. 03/PRT/M/2011**

tentang

**Pedoman Tata Cara Pelaksanaan Penggunaan
Semen Tanah Sebagai Komponen Utama Bangunan Sabo**



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM

**PERATURAN MENTERI PEKERJAAN UMUM
Nomor : 03/PRT/M/2011**

**TENTANG
PEDOMAN TATA CARA PELAKSANAAN PENGGUNAAN
SEMEN TANAH SEBAGAI KOMPONEN UTAMA BANGUNAN SABO**

DENGAN RAHMAT TUHAN YANG MAHA ESA

MENTERI PEKERJAAN UMUM,

- Menimbang** :
- a. bahwa pembangunan Sabo sebagai salah satu upaya pengendalian daya rusak air yang diakibatkan gerakan massa debris ataupun lahar perlu dilakukan secara cepat, aman dan memenuhi persyaratan teknis;
 - b. bahwa bangunan Sabo pada umumnya dibangun dari bahan beton yang memerlukan perencanaan dan teknik pelaksanaan yang relatif rumit serta persyaratan teknis dan material yang kompleks, sehingga dalam pelaksanaan pembangunan memerlukan waktu yang lama dan biaya besar;
 - c. bahwa bangunan Sabo dengan menggunakan komponen utama dari dalam bahan semen tanah dalam perencanaan dan teknis pelaksanaannya cukup sederhana, sehingga waktu dan biaya yang diperlukan dalam pembangunan Sabo lebih cepat dan murah;
 - d. bahwa berdasarkan pertimbangan sebagaimana dimaksud pada huruf a, huruf b dan huruf c, perlu menetapkan Peraturan Menteri tentang Pedoman Tata Cara Pelaksanaan Penggunaan Semen Tanah Sebagai Komponen Utama;
- Mengingat**
- 1. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 42 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sumber Daya Air (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2008 Nomor 82, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4858);
 - 2. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 47 Tahun 2009 tentang Pembentukan dan Organisasi Kementerian Negara;
 - 3. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2010 tentang Kedudukan, Tugas, dan Fungsi Kementerian Negara serta Susunan Organisasi, Tugas dan Fungsi Eselon I Kementerian Negara;
 - 4. Keputusan Presiden Republik Indonesia No. 84/P Tahun 2009 tentang Pembentukan Kabinet Indonesia Bersatu - II;
 - 5. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 08/PRT/M/2010 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum;

MEMUTUSKAN :

Menetapkan : PERATURAN MENTERI PEKERJAAN UMUM TENTANG PEDOMAN TATA CARA PELAKSANAAN PENGGUNAAN SEMEN TANAH SEBAGAI KOMPONEN UTAMA BANGUNAN SABO.

Pasal 1

Dalam Peraturan Menteri ini yang dimaksud dengan :

1. Menteri adalah Menteri Pekerjaan Umum.
2. Bangunan sabo adalah jenis dan macam bangunan air yang dibangun dalam rangka pengendalian gerakan massa sedimen.
3. Aliran debris adalah suatu aliran dengan angkutan sedimen bersifat kolektif yang mempunyai konsentrasi sangat tinggi, meluncur ke bawah melalui lereng dan dasar alur sungai atau lembah curam dengan membawa batu-batu besar dan atau material lain seperti batang-batang pohon.
4. Semen tanah adalah jenis bahan konstruksi dari campuran semen, tanah, dan air dengan perbandingan tertentu.

Pasal 2

- (1) Maksud dari Peraturan Menteri ini untuk memberikan acuan dalam pelaksanaan dan pengendalian pembangunan bendungan Sabo yang menggunakan semen tanah sebagai komponen utama.
- (2) Tujuan ditetapkannya pedoman ini agar pembangunan bendungan Sabo yang menggunakan komponen utama semen tanah dapat dilaksanakan secara cepat, murah dan menghasilkan mutu konstruksi sesuai persyaratan teknis yang disyaratkan.

Pasal 3

- (1) Ruang lingkup peraturan ini meliputi ketentuan dan persyaratan serta cara pengerjaan pembangunan Sabo dengan komponen utama menggunakan semen tanah.
- (2) Materi muatan tentang Pedoman Tata Cara Pelaksanaan Penggunaan Semen Tanah Sebagai Komponen Utama Bangunan Sabo dimuat secara lengkap dalam Lampiran yang merupakan satu kesatuan dan bagian yang tidak terpisahkan dari Peraturan Menteri ini.

Pasal 4

Peraturan ini mulai berlaku pada tanggal diundangkan.

Agar setiap orang mengetahuinya, memerintahkan perundangan Peraturan Menteri ini dengan penempatannya dalam Berita Negara Republik Indonesia.

Ditetapkan di Jakarta
pada tanggal 15 Maret 2011



Diundangkan di Jakarta
pada tanggal

MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

PATRIALIS AKBAR

BERITA NEGARA REPUBLIK INDONESIA TAHUN

NOMOR

LAMPIRAN
PERATURAN MENTERI PEKERJAAN UMUM
NOMOR: 03/PRT/M/2011
TANGGAL: 15 Maret 2011

Daftar isi

Halaman

Daftar isi	i
Prakata	ii
Pendahuluan	iii
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi.....	2
4 Ketentuan dan persyaratan	2
4.1 Ketentuan	2
4.2 Persyaratan	3
5 Cara pengerjaan	8
5.1 Persiapan	8
5.2 Investigasi lapangan	8
5.3 Pengujian desain campuran	9
5.4 Perancangan detail.....	10
5.5 Pengujian pemadatan lapangan	10
5.6 Pelaksanaan pembangunan	11
Lampiran A_Bagan alir	13
Lampiran B_Tabel dan gambar.....	14
Lampiran C_Contoh perhitungan	22
Lampiran D_Daftar nama dan lembaga	35
Bibliografi.....	36

Prakata

Penyusunan Pedoman Penggunaan semen tanah sebagai komponen utama bangunan Sabo ini termasuk dalam Gugus Kerja Sabo, pada Sub Panitia Teknik Sumber Daya Air yang berada di bawah Panitia Teknik Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil, Kementerian Pekerjaan Umum.

Penulisan pedoman ini mengacu pada PSN 08:2007 tentang Penulisan Standar Nasional Indonesia.

Perumusan pedoman ini dilakukan melalui proses pembahasan pada Gugus Kerja, Rapat Teknis tanggal 18 Februari 2010 dan 31 Agustus 2010, Rapat Konsensus tanggal 8 Desember 2010 di Pusat Litbang Sumber Daya Air Bandung serta Rapat Penetapan pada tanggal 20 Desember 2010 di Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum yang kesemuanya melibatkan para narasumber dan pakar dari berbagai instansi terkait.

Pedoman ini mengacu pada hasil penelitian, hasil pengamatan penerapan di lapangan, berdasarkan sumber pustaka dan literatur bidang Sabo, serta teori dan praktek lapangan pada teknologi Sabo di Indonesia maupun di dunia. Pedoman ini dibuat sebagai acuan dalam pelaksanaan serta pengendalian penggunaan semen tanah sebagai komponen bangunan Sabo di Indonesia. Pedoman ini juga berisi tentang prosedur pelaksanaan dan pengendalian pekerjaan.

Pendahuluan

Paska terjadinya gerakan massa debris ataupun lahar, pembangunan bangunan Sabo harus dapat dilaksanakan secara cepat, aman, dan memenuhi persyaratan teknis. Hal tersebut selaras dengan amanat yang terkandung dalam UU No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air dan UU No. 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana.

Bangunan Sabo yang dibuat dari bahan beton memerlukan perencanaan dan teknik pelaksanaan yang relatif lebih rumit serta persyaratan teknis dan material yang kompleks, sehingga membutuhkan waktu lama dan biaya yang lebih besar. Sedangkan bangunan Sabo dengan bahan semen tanah merupakan salah satu cara pemanfaatan material tanah sebagai komponen tubuh bangunan Sabo sehingga waktu pelaksanaan pembangunan bangunan Sabo menjadi lebih cepat dan murah, tetapi masih dalam koridor aman dan tetap ramah lingkungan.

Tata cara pelaksanaan penggunaan semen tanah sebagai komponen utama bangunan Sabo

1 Ruang lingkup

Pedoman ini menetapkan cara pelaksanaan penggunaan semen tanah sebagai komponen utama bangunan Sabo. Bangunan Sabo semen tanah dibuat dengan mencampur material tanah dengan semen sebagai upaya stabilisasi dan perkuatan tanah.

2 Acuan normatif

Dokumen referensi di bawah ini harus digunakan untuk melaksanakan pedoman ini.

Undang-Undang No.18 tahun 1999 tentang *Jasa Konstruksi*

Undang-Undang No.13 tahun 2003 tentang *Ketenagakerjaan*

Undang-Undang No.32 tahun 2009 tentang *Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*

Peraturan Pemerintah No. 4 tahun 2010 tentang *Perubahan PP 28 tahun 2000 tentang Usaha dan Peran Masyarakat Jasa Konstruksi*

Peraturan Presiden No. 54 tahun 2010 tentang *Pengadaan Barang/ Jasa Pemerintah*

Peraturan Menteri PU No.04/PRT/2009 tentang *Sistem Manajemen Mutu (SMM Dept.PU)*

Peraturan Menteri PU No.10/PRT/M/2008 tentang *Penetapan Jenis Rencana Usaha dan/ atau Kegiatan Bidang Pekerjaan Umum yang Wajib Dilengkapi dengan Upaya Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Upaya Pemantauan Lingkungan Hidup.*

Peraturan Menteri PU No.09/PER/M/2008 tentang *Pedoman Sistem Menejemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum*

Peraturan Menteri Menakertrans No. PER-01/MEN/1980 tentang *Keselamatan dan Kesehatan Tenaga Kerja*

Keputusan Bersama Menteri Pekerjaan Umum dan Menteri Tenaga Kerja No.KeP.174/MEN/1986-104/KPTS/1986 tentang *Pedoman Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Tempat Kegiatan Konstruksi*

Keputusan Menteri Kimpraswil No.384/KPTS/M/2004 tentang *Pedoman Teknis Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Tempat Kegiatan Konstruksi Bendungan*

Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No.KEP.69/MEN/5/2004 tentang *Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia Pelaksana Bendungan*

SNI ISO 9001, *Sistem manajemen mutu - Persyaratan*

SNI 19001, *Panduan audit sistem manajemen mutu dan/atau lingkungan*

SNI ISO 9000, *Sistem manajemen mutu – Dasar - Dasar dan kosakata*

SNI 1724, *Pedoman dan perencanaan hidrologi dan hidraulik untuk bangunan di sungai.*

SNI 1964, *Cara uji berat jenis tanah.*

SNI 1965, *Cara uji penentuan kadar air untuk tanah dan batuan di laboratorium.*

SNI 1965.1, *Metode pengujian kadar air tanah dengan Alat Speedy.*

SNI 1968, *Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar.*

SNI 1975, *Metode mempersiapkan contoh tanah dan tanah mengandung agregat.*

SNI 2492, *Metode pengambilan dan pengujian beton inti.*

SNI 2828, *Metode pengujian kepadatan lapangan dengan alat konus pasir.*

SNI 2832, *Metode pengujian untuk mendapatkan kepadatan tanah maksimum dengan kadar air optimum.*

SNI 2851, *Tata cara perencanaan teknis bendung penahan sedimen.*

SNI 6791, *Metode pengujian kadar semen pada campuran semen tanah.*

SNI 6798, *Tata cara pembuatan dan perawatan benda uji kuat tekan dan lentur tanah semen di laboratorium.*

SNI 7064, *Semen Portland Komposit*

3 Istilah dan definisi

Istilah dan definisi yang berkaitan dengan pedoman ini adalah sebagai berikut:

3.1

aliran debris

suatu aliran dengan angkutan sedimen bersifat kolektif yang mempunyai konsentrasi sangat tinggi, meluncur ke bawah melalui lereng dan dasar alur sungai atau lembah curam dengan membawa batu-batu besar dan atau material lain seperti batang-batang pohon

3.2

bangunan Sabo

jenis dan macam bangunan air yang dibangun dalam rangka pengendalian gerakan massa sedimen

3.3

bendung pengelak

bendung yang berfungsi sebagai pengelak aliran sungai agar pekerjaan dapat dilaksanakan dengan aman pada debit tertentu

3.4

penyedia jasa konstruksi

Orang perseorangan atau perusahaan jasa konstruksi yang memiliki Sertifikat Badan Usaha Bidang Sipil, Subidang Bendung atau Bendungan

3.5

semen

hasil industri dari paduan bahan baku: batu kapur sebagai bahan utama, lempung, dan gipsum atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berbentuk bubuk, tanpa memandang proses pembuatannya, yang mengeras atau membatu pada pencampuran dengan air

3.6

semen tanah

jenis bahan konstruksi dari campuran semen, tanah, dan air, dengan perbandingan tertentu

3.7

tanah

material yang terdiri dari butiran kasar maupun halus serta mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu sama lain, zat cair, dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara butiran mineral-mineral padat tersebut

4 Ketentuan dan persyaratan

4.1 Ketentuan

4.1.1 Ketentuan penggunaan

- a) Penggunaan semen tanah sebagai komponen utama bangunan Sabo harus mempertimbangkan ketersediaan material yang memenuhi syarat di lokasi, keselamatan pekerja terhadap kemungkinan jatuhnya bebatuan akibat getaran, dan kelayakan pembiayaan pelaksanaan pekerjaan.

- b) Semen tanah pada bangunan Sabo pada dasarnya diterapkan pada bagian tubuh bangunan yang tidak secara langsung dan terus menerus menerima gaya impak dari aliran lahar atau aliran debris.
- c) Sisi luar bangunan Sabo harus dilapisi dengan material pelindung (seperti beton, beton bertulang, dsb.) untuk mencegah abrasi dan pukulan aliran debris.
- d) Dalam mendesain konstruksi bangunan Sabo harus memperhatikan SNI 2851 dan SNI 1724.

4.1.2 Ketentuan pengendalian

- a) Proses pengendalian pelaksanaan
Pelaksanaan pembangunan bangunan Sabo dengan menggunakan bahan semen tanah harus dilakukan dengan seksama di bawah koordinasi konsultan pengawas.
- b) Pengendalian bahan utama
Jumlah dan karakteristik bahan yang digunakan dalam campuran semen tanah di lapangan harus sesuai dengan spesifikasi.
- c) Pengendalian kualitas
Kualitas bangunan yang dibuat dari semen tanah minimal harus sama dengan spesifikasi.
- d) Pengendalian kemajuan pekerjaan
Harus diplot kemajuan pekerjaan yang berorientasi pada sumber daya yang digunakan.

4.1.3 Ketentuan dokumentasi dan laporan

Kondisi pelaksanaan pekerjaan di lapangan harus didokumentasikan secara periodik dan disimpan dengan baik.

Kegiatan yang harus didokumentasikan antara lain kegiatan manajemen keselamatan, penggunaan material, metode pelaksanaan, kejadian-kejadian khusus yang terjadi saat pelaksanaan, kegiatan pengendalian mutu, pengendalian dampak lingkungan, dan pemeliharaan bangunan.

Pelaksanaan pembangunan bangunan Sabo secara lebih detail harus dapat dikontrol dengan adanya laporan harian, mingguan, bulanan, dan laporan kendali kualitas.

4.2 Persyaratan

4.2.1 Persyaratan lokasi

Lokasi bangunan Sabo semen tanah harus pada lokasi yang banyak tersedia material tanah yang memenuhi syarat untuk mendapat perlakuan sebagai semen tanah.

4.2.2 Persyaratan bahan

4.2.2.1 Tanah

- a) Tanah yang dapat digunakan adalah tanah bergradasi kasar dengan gradasi $D_5 > 0,075$ mm.
- b) Diameter maksimum partikel adalah setengah dari ketebalan tiap lapisan penghamparan.

4.2.2.2 Semen

Secara umum digunakan semen portland dengan tipe sesuai persyaratan penggunaan pada SNI 7064.

4.2.2.3 Air

Air diambil dari sekitar area kerja dan harus dipastikan bahwa air yang digunakan tidak menghalangi reaksi pengerasan semen, yang dibuktikan dengan pengujian laboratorium.

4.2.3 Persyaratan pelaksanaan

4.2.3.1 Unsur pelaksana

Pelaksana/ pengawas pekerjaan bangunan Sabo semen tanah harus dilaksanakan oleh penyedia jasa yang ahli dan berpengalaman sesuai dengan UU No.18 tahun 1999, PP No.4 tahun 2010, dan Perpres No. 54 tahun 2010.

4.2.3.2 Aspek lingkungan

Pelaksanaan pembangunan bangunan Sabo dengan bahan semen tanah tidak boleh bertentangan dengan UU No. 32 tahun 2009, Peraturan Menteri PU No.10/PRT/M/2008, dan harus memperhatikan hal-hal berikut:

- a) Pemanfaatan material tanah setempat semaksimal mungkin sesuai kebutuhan.
- b) Transportasi material harus meminimalkan timbulnya dampak negatif terhadap lingkungan (debu diatasi dengan ditutup terpal, dsb.) dan tidak melebihi persyaratan kelas beban jalan yang ada..
- c) Pengambilan material tidak boleh merusak lingkungan dan mengubah arah aliran sungai.
- d) Bangunan Sabo tidak boleh memutus rantai kehidupan hulu dan hilir biota sungai
- e) Aspek abiotik seperti keseimbangan transpor sedimen bisa terjaga, sehingga material tidak tertahan di hulu tetapi sebagian bisa tersalur ke hilir.

4.2.3.3 Lokasi dengan kondisi air tanah tinggi

Pada lokasi dengan permukaan air tanah cukup tinggi, harus disediakan terlebih dahulu lantai kerja yang dapat dibuat dari beton *cyclop* setebal kurang lebih 30 cm yang dilengkapi dengan sistem dewatering.

4.2.3.4 Keamanan pengerjaan

Pelaksanaan pembangunan bangunan Sabo dengan bahan semen tanah tidak boleh bertentangan dengan UU No.13 tahun 2003, Permen Menakertrans No. PER-01/MEN/1980, Surat Keputusan Bersama Men PU dan Menakertrans No. Kep. 174/MEN/1986-104/KPTS/1986, Permen PU No.09/PER/M/2008, dan Kepmen Kimpraswil No. 384/KPTS/M/2004, serta harus memperhatikan hal-hal berikut:

- a) Pembangunan bangunan Sabo dengan bahan semen tanah harus dilaksanakan dan diamankan dengan bendung pengelak.
- b) Keselamatan pekerja diamankan dengan sistem peringatan dini yang memadai (contoh: radio komunikasi, pemantau, dsb.).
- c) Pada lokasi disediakan tangga darurat untuk menyelamatkan diri (jalur evakuasi) yang harus disesuaikan dengan karakteristik masing-masing lokasi.

4.2.3.5 Persyaratan uji campuran

Persamaan berikut harus digunakan dalam menentukan kuat tekan campuran semen tanah yang akan digunakan.

a) Kuat tekan maksimum

Kuat tekan maksimum dihitung dengan rumus berikut.

$$\sigma_{\max} = (1+n^2) \times \sigma_2 \quad (1)$$

Keterangan:

σ_{\max} adalah kuat tekan maksimum stabilitas bangunan (N/mm^2)

n adalah komponen horisontal kemiringan dam sisi hilir bangunan Sabo ($n=0,2$),
 $1(v):n(h)$

σ_2 adalah tegangan normal kaki bangunan Sabo dari hasil analisis stabilitas (N/mm^2)

b) Kuat tekan yang diperlukan (berubah menjadi a) bila judul diganti trial mix)

Kuat tekan yang dibutuhkan didapat dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma_d \geq \sigma_{\max} \times SF \quad (2)$$

Keterangan:

σ_d adalah kuat tekan yang dibutuhkan (N/mm^2)

σ_{\max} adalah kuat tekan maksimum stabilitas bangunan (N/mm^2)

SF adalah faktor keamanan

Persyaratan kuat tekan rencana campuran semen tanah pada setiap bagian struktur bangunan Sabo, harus memenuhi persyaratan Tabel B.2. Faktor keamanan dalam penghitungan kuat tekan yang dibutuhkan minimal 4 (empat).

c) Kuat tekan campuran semen tanah

Kuat tekan campuran diperoleh dari persamaan berikut:

$$\sigma_{\text{mix}} \geq \sigma_d \times k_e \quad (3)$$

Keterangan:

σ_{mix} adalah kuat tekan campuran semen tanah (N/mm^2)

σ_d adalah kuat tekan yang dibutuhkan (N/mm^2)

k_e adalah koefisien ekstra

Koefisien ekstra dalam penghitungan kuat tekan campuran semen tanah minimum 1,5.

d) Volume semen dalam campuran (trial mix)

Penggunaan semen dalam campuran semen tanah harus ditentukan berdasarkan hasil pengujian di laboratorium maupun pengujian pelaksanaan di lapangan untuk mencapai spesifikasi karakteristik yang disyaratkan.

Persamaan berikut harus digunakan dalam menghitung volume semen dalam campuran adalah:

- i. Berdasarkan hasil dari uji tekan dari minimal tiga benda uji campuran semen tanah dengan variasi kadar semen tertentu, diperoleh persamaan:

$$f(\sigma_m) = a.C + b \quad (4)$$

Keterangan:

$f(\sigma_m)$ adalah fungsi dari kuat tekan (N/mm^2)

C adalah berat semen dalam campuran (N tiap m^3 campuran)

a adalah kemiringan grafik jumlah semen versus kuat tekan campuran

b adalah kuat tekan campuran dengan jumlah semen nol (N/mm^2)

Penentuan koefisien a dan b harus didasarkan pada hasil uji tekan yang dianalisis regresi (lihat contoh Gambar C.4, Gambar C.5, Gambar C.6).

- ii. Volume semen yang dibutuhkan untuk menghasilkan campuran dengan kuat tekan sesuai persamaan (3), dihitung dengan persamaan berikut:

$$C_{mix} = \frac{(\sigma_{mix} - b)}{a} \quad (5)$$

Keterangan:

C_{mix} adalah berat semen dalam campuran (N tiap m^3 campuran)

σ_{mix} adalah kuat tekan campuran (persamaan 3) (N/mm^2)

4.2.3.6 Persyaratan pencampuran semen tanah

Pencampuran semen tanah harus dilakukan dengan ekskavator pada bak pencampur dari baja dengan tebal yang cukup kuat (minimal 8 mm) dan ukuran bak yang memperhatikan jangkauan ekskavator (secara empiris diambil 1,85 m x 4 m).

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam mencampur semen tanah antara lain:

Lakukan pencampuran dengan sistem kering. Setiap proses pengangkutan campuran, penghamparan, dan pemadatan semen tanah harus sudah diselesaikan dalam waktu 1 jam sampai 1,5 jam setelah pencampuran.

4.2.3.7 Persyaratan penghamparan campuran

- Penghamparan dan pemadatan semen tanah terhadap lapisan semen tanah berikutnya lebih dari 36 jam.
- Antar lapisan semen tanah satu dengan lapisan berikutnya diberikan sambungan vertikal (penaburan semen dengan sedikit air).
- Jika terjadi hujan pada saat penghamparan, maka pekerjaan harus dihentikan, hamparan harus ditutup menggunakan pelindung kedap air.
- Ketebalan dan volume penghamparan mengacu pada spesifikasi alat pemadat yang digunakan atau aturan pada Gambar B.2.
- Untuk mendapatkan pemadatan yang cukup pada bagian tepi atau bagian lereng tanggul, maka tambah dimensi hamparan ke arah lereng sebesar 1 horisontal : 1,5 vertikal penampang melintang rencana.

4.2.3.8 Persyaratan pemadatan campuran

- Alat pemadat yang digunakan adalah *vibro roller* 6 ton - 10 ton dan dipilih berdasarkan nilai perancangan rapat massa yang ingin dicapai.
- Jumlah lintasan pemadatan harus diperoleh berdasarkan hasil percobaan dari alat yang akan digunakan.
- Untuk memadatkan pada bagian dengan lebar area kurang dari 1 m harus diunakan *stamper rammer* (secara empiris dengan berat 80 kg) atau alat pemadat lain yang setara.

4.2.3.9 Persyaratan perawatan campuran

- a) Setelah pemadatan harus dilakukan perawatan semen tanah sesuai SNI 6798.
- b) Untuk mengurangi kembang susut akibat hujan dan panas matahari, campuran yang telah dipadatkan harus dijaga kelembapannya, misal dengan ditutup karung goni basah sekurang-kurangnya selama 36 jam.

4.2.3.10 Persyaratan pengendalian mutu

- a) Pengendalian mutu pemadatan material semen tanah harus mengacu pada Permen PU No.04/PRT/2009, SNI 19-19001-2001, SNI 19-19001-2003, SNI 19-9000-2005, Kepmen Menakertrans No.KEP.69/MEN/5/2004, serta harus dilaksanakan dengan memperhatikan hal – hal sebagai berikut:
 - i. Jumlah benda uji
Setiap pengujian kepadatan lapangan menggunakan benda uji sekurang – kurangnya tiga buah.
 - ii. Kepadatan
Pengujian kepadatan lapangan untuk mengetahui berat isi kering dan kadar air lapangan setelah pemadatan tanah, harus dilaksanakan satu kali untuk tiap 100 m³ dan dilakukan tiap lapis jika volume semen tanah tiap lapis kurang dari 100 m³. Digunakan SNI 2828 dan SNI 2832 sebagai acuan dalam pengujian pemadatan semen tanah.
 - iii. Kuat tekan
Pengujian kuat tekan semen tanah harus dilaksanakan minimal satu kali setiap 100 m³ dan lakukan tiap lapis jika volume semen tanah tiap lapis kurang dari 100 m³. Kuat tekan minimum campuran semen tanah dari masing-masing benda uji di lapangan harus tetap lebih besar dari kuat tekan yang dibutuhkan (σ_d).
 - iv. Homogenitas campuran
Pengujian homogenitas campuran setelah dipadatkan harus dilakukan sekurang – kurangnya dua kali sehari dengan menggunakan cairan *phenolphthalein*, berdasarkan SNI 6791.
 - v. Kadar air dan berat isi campuran semen tanah
Kadar air dan berat isi campuran semen tanah di lapangan harus sesuai dengan hasil pengujian laboratorium yang diuji menggunakan SNI 1965 dan SNI 1964.
- b) Persyaratan kualitas mutu konstruksi

Evaluasi hasil pengujian harus dilakukan dengan pertimbangan bahwa nilai-nilai yang dihasilkan dari pengujian/pengetesan hasil pelaksanaan di lapangan tidak boleh lebih kecil dari yang telah ditentukan pada rancangan, dan mengacu pada Permen PU No.04/PRT/2009.

4.2.4 Tahapan kegiatan pelaksanaan

Tahapan kegiatan pelaksanaan penggunaan semen tanah sebagai komponen utama bangunan Sabo meliputi:

- a) Persiapan
- b) Pengecekan kondisi lapangan
- c) Pengujian desain campuran

- d) Perancangan uji campuran
- e) Pengujian pemadatan lapangan
- f) Pelaksanaan pembangunan

5 Cara pengerjaan

Cara pengerjaan penggunaan semen tanah sebagai komponen utama bangunan Sabo dilaksanakan dengan tahapan pelaksanaan yang meliputi : persiapan, pengecekan kondisi lapangan, pengujian desain campuran, perancangan uji campuran, pengujian pemadatan lapangan dan pelaksanaan pembangunan.

5.1 Persiapan

5.1.1 Pelaksanaan perancangan awal

Lakukan perancangan awal bangunan Sabo sesuai persyaratan subpasal 4.1.1.d).

5.1.2 Perkiraan ketersediaan material tanah di lokasi

- a) Lakukan penghitungan ketersediaan material tanah yang akan digunakan untuk campuran semen tanah dalam satuan volume (m^3).
- b) Persiapkan lokasi yang akan dijadikan sumber material tambahan apabila volume tanah pada butir a) tidak tercukupi.

5.1.3 Penentuan bagian bangunan Sabo yang sesuai untuk penggunaan semen tanah

Lakukan pemeriksaan terhadap bagian dari bangunan Sabo yang akan dibangun dengan bahan semen tanah sesuai dengan subpasal 4.1.1.

5.1.4 Penentuan kuat tekan campuran semen tanah

- a) Hitung kuat tekan maksimum dengan rumus (1) pada subpasal 4.2.3.5.a).
- b) Tentukan kuat tekan yang diperlukan berdasarkan rumus (2) pada subpasal 4.2.3.5.b) dan kuat tekan rencana yang ditunjukkan dalam Tabel B.2.
- c) Tentukan kuat tekan campuran semen tanah dengan rumus (3) pada subpasal 4.2.3.5.c).

5.2 Pengecekan kondisi lapangan

- a) Lakukan pengecekan kondisi lapangan untuk mengetahui kondisi lapangan, kemampuan kerja, dan kemampuan transportasi guna menentukan metode pelaksanaan pekerjaan, macam dan tipe peralatan yang harus digunakan, sesuai subpasal 4.2.1, subpasal 4.2.3.1, subpasal 4.2.3.2, serta Tabel B.1.
- b) Lakukan penyelidikan secara visual terhadap karakteristik material tanah di lokasi sesuai subpasal 4.2.2.1.

5.3 Pengujian desain campuran

5.3.1 Pengujian material tanah

Lakukan tahapan berikut untuk pemeriksaan karakteristik material tanah berikut:

- a) Persiapkan benda uji sesuai SNI 1975.
- b) Lakukan pengujian gradasi terhadap material tanah sesuai SNI 1968.
- c) Timbang berat material yang akan dijadikan bahan material semen tanah untuk mendapatkan nilai berat isi material semen tanah sesuai dengan SNI 1964.
- d) Lakukan pengujian kadar air terhadap material tanah untuk menentukan kandungan air dalam tanah sesuai SNI 1965.1.
- e) Lakukan pengujian faktor pemadatan untuk menentukan kandungan air optimum dalam tanah guna mencapai pemadatan maksimum sesuai dengan SNI 2828 dan SNI 2832.

5.3.2 Pengujian campuran semen tanah

5.3.2.1 Perencanaan dan pelaksanaan pengujian campuran semen tanah

- a) Tentukan kadar air pada campuran semen tanah berdasarkan hasil pengujian kadar air material tanah sesuai SNI 1965.
- b) Pilih kondisi material semen tanah dengan kadar air yang memungkinkan dicapainya kualitas pemadatan maksimum.
- c) Buat benda pengujian dengan variasi pada jumlah semen dalam campuran semen tanah. Minimal dipersiapkan tiga variabel uji yang memiliki kadar semen berbeda, yaitu 100 kg/m^3 , 150 kg/m^3 , dan 200 kg/m^3 .
- d) Cek karakteristik gradasi material yang digunakan sebagai bahan campuran semen tanah uji, sesuaikan dengan kuat tekan yang direncanakan. Jika kurang memenuhi kuat tekan yang direncanakan, maka jumlah benda uji kuat tekan harus ditambah satu benda uji dengan kadar semen 250 kg/m^3 .
- e) Lakukan pengujian pemadatan untuk menentukan kadar air optimum setiap campuran semen tanah sesuai SNI 2828.
- f) Lakukan pengujian kuat tekan campuran pada butir c) untuk mengetahui jumlah semen yang diharuskan dalam mencapai kuat tekan campuran semen tanah sesuai SNI 6798.
- g) Buat grafik kuat tekan versus jumlah semen sebagai bahan pertimbangan untuk menentukan jumlah semen dalam campuran semen tanah yang memenuhi persyaratan kuat tekan (lihat contoh Gambar C.4, Gambar C.5, Gambar C.6).

5.3.2.2 Penentuan rancangan campuran semen tanah

- a) Tentukan berat isi campuran dengan menggunakan prosedur SNI 1964. Nilai berat isi campuran berpengaruh terhadap perhitungan stabilitas bangunan Sabo.
- b) Tentukan kadar air optimum desain untuk mencapai kepadatan maksimum pada pelaksanaan pencampuran semen tanah di lapangan nantinya.
- c) Analisis hubungan antara kadar semen dan kuat tekan dengan mengacu grafik hubungan antara kadar semen dalam campuran dan kuat tekan campuran.
- d) Tentukan kadar semen dalam campuran dari grafik pada butir c) agar mencapai kuat tekan campuran semen tanah untuk bangunan Sabo.

5.4 Perancangan uji campuran

5.4.1 Pemeriksaan stabilitas konstruksi

- a) Periksa kembali stabilitas bangunan Sabo menurut SNI 2851 dengan mempertimbangkan nilai berat isi hasil uji campuran di lapangan. Lakukan penyesuaian desain campuran berdasarkan pemeriksaan tersebut.
- b) Bentuk bangunan Sabo harus mempertimbangkan kondisi lapisan semen tanah sebelum dan sesudah dipadatkan (lihat Gambar B.2).

5.4.2 Pemeriksaan bentuk bangunan

Lakukan desain ulang bentuk bangunan Sabo jika struktur bangunan tidak stabil sesuai SNI 2851 dan SNI 1724.

5.4.3 Penyelesaian rancangan kerja secara mendetail

Selesaikan rancangan kerja secara mendetail kemudian dirangkum secara sistematis. Buat hasil resume tersebut dalam bentuk laporan dan gunakan sebagai pegangan dalam melaksanakan tahap selanjutnya.

5.5 Pengujian pemadatan lapangan

5.5.1 Perencanaan pengujian pemadatan di lapangan

Lakukan perencanaan pengujian pemadatan di lapangan sebelum tahap pelaksanaan pembangunan bangunan Sabo. Kondisi saat dilaksanakan pengujian pemadatan harus dapat mewakili kondisi sebenarnya sesuai SNI 2851.

5.5.2 Pelaksanaan pengambilan sampel bahan dan pengujian lapangan

- a) **Penyiapan bahan uji**
Ambil bahan uji dari lapangan untuk kontrol kualitas. Jumlah dan frekuensi pengambilan sampel di lapangan disesuaikan dengan Tabel B.3.
- b) **Analisis saringan pada lokasi**
Lakukan pengujian analisis saringan bahan lapangan sesuai dengan SNI 1968.
- c) **Lakukan tes laboratorium dan analisis**
Lakukan uji berat isi material tanah (sesuai SNI 1964), berat permukaan kering (*Saturated Surface Dry*), ukuran butiran, kadar air, dan faktor pemadatan (sesuai SNI 2828 dan SNI 2832).

5.5.3 Penentuan kondisi awal konstruksi

Tentukan kondisi awal konstruksi yang meliputi tahapan berikut ini:

- a) Gunakan mesin/ peralatan berat sebagaimana Tabel B.1.
- b) Tentukan ukuran besarnya butiran material tanah berdasarkan spesifikasi alat pemadat yang digunakan dengan mempertimbangkan contoh pada Tabel C.4.
- c) Tentukan area konstruksi.
- d) Tentukan parameter-parameter proses konstruksi seperti: waktu untuk pencampuran, ketebalan lapisan yang akan dipadatkan, intensitas pemadatan, pengukuran volume bahan dan lokasi.

5.5.4 Pelaksanaan uji coba pemadatan di lapangan

- a) Laksanakan pengujian pemadatan di lapangan sesuai kesepakatan oleh pelaksana

- setelah disetujui pengawas pekerjaan.
- b) Periksa kondisi material utama dalam hal kadar air dan ukuran butiran. Gunakan *sand cone* atau metode kerucut pasir. Ukur kadar air di lapangan dengan alat *speedy moisture tester* yang menggunakan bubuk karbit sesuai SNI 1965.1.
 - c) Laksanakan konstruksi percobaan dalam skala tertentu yang dapat mewakili konstruksi kenyataan di lapangan nantinya.
 - d) Laksanakan pengukuran pemadatan lapangan untuk mengetahui banyaknya lintasan alat pemadat yang diharuskan untuk mencapai nilai kepadatan, kuat tekan, dan permeabilitas lapisan semen tanah yang disyaratkan, pada kondisi tebal lapisan semen tanah rencana dan jenis alat pemadat yang akan digunakan.
 - e) Lakukan pengukuran terhadap tebal lapisan setelah pemadatan, intensitas pemadatan, ketebalan lapisan setelah dipadatkan, kepadatan di lapangan dan kadar air dari lapisan – lapisan semen tanah (sesuai SNI 1965.1) yang dibangun.
 - f) Lakukan pengambilan sampel inti setelah seluruh lapisan semen tanah selesai dikerjakan untuk diuji kesesuaian pengerjaan dengan spesifikasi teknik sesuai SNI 2492.

5.5.5 Pengujian laboratorium untuk benda uji konstruksi percobaan

Lakukan tes laboratorium kembali terhadap benda uji konstruksi percobaan yang kemudian hasilnya dibandingkan dengan rancangan pada subpasal 5.4.3.

5.6 Pelaksanaan pembangunan

5.6.1 Perencanaan pelaksanaan pekerjaan

Lakukan tahapan pelaksanaan pekerjaan sebagai berikut:

- a) Periksa dan rekap hasil percobaan konstruksi.
- b) Periksa karakteristik campuran apakah sesuai yang direncanakan.
- c) Rencanakan proses pelaksanaan dan tahapan-tahapan yang akan dilakukan pada saat pelaksanaan pembangunan (waktu pencampuran, kepadatan dan tebal lapisan semen tanah, jumlah dan karakteristik pemadatan, ketebalan lapisan pasca pemadatan, pengukuran bahan dan lokasi pelaksanaan pembangunan).

5.6.2 Pengumpulan material

Lakukan Pengumpulan material dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a) Bersihkan lahan.
- b) Pilih batuan besar (*cobbles*) dengan menggunakan saringan (*grizzly bar*) berdasarkan hasil analisis saringan butiran.
- c) Angkut dan timbun di lokasi yang sedekat mungkin dengan tempat pencampuran, dan ratakan menjadi lapis demi lapis, material yang tersaring diangkut dan ditimbun.

5.6.3 Pencampuran

- a) Lakukan pencampuran material tanah dengan semen pada bak pencampur menggunakan ekskavator hingga homogen.
- b) Material tanah dan semen dituang dalam bak pencampur secara bertahap, sambil diaduk menggunakan ekskavator.
- c) Setelah campuran homogen, tambahkan air secara bertahap sesuai dengan jumlah air yang diperlukan, sambil aduk menggunakan ekskavator.

5.6.4 Pengangkutan campuran semen tanah

Angkut campuran semen tanah ke lokasi penghamparan sesuai dengan persyaratan pada subpasal 4.1.1.a) dan aspek lingkungan subpasal 4.2.3.2.b).

5.6.5 Penghamparan

- a) Lakukan penghamparan semen tanah menggunakan bulldoser atau grader dan/ atau tenaga manusia.
- b) Lakukan penanganan sambungan vertikal antar lapisan semen tanah sesuai dengan subpasal 4.2.3.7.
- c) Hamparkan lapis semen tanah berikutnya menggunakan bulldoser atau ekskavator dan/ atau tenaga manusia.

5.6.6 Pemasatan

Laksanakan pemasatan material semen tanah sesuai dengan persyaratan subpasal 4.2.3.8.

5.6.7 Perawatan

Laksanakan perawatan terhadap campuran semen tanah sesuai persyaratan pada subpasal 4.2.3.9.

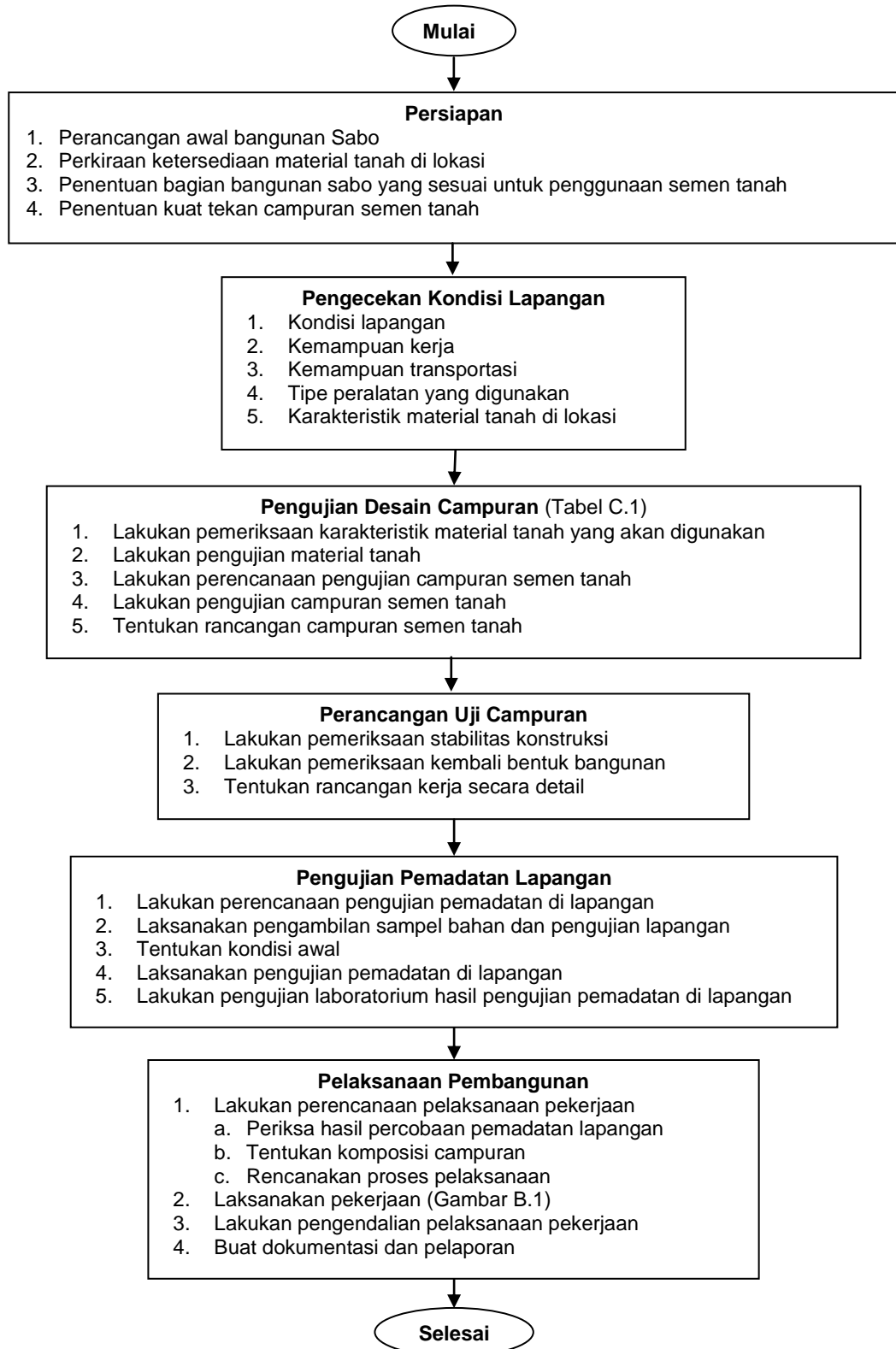
5.6.8 Pengendalian pelaksanaan pekerjaan

- a) Lakukan evaluasi terhadap hasil pengujian.
- b) Lakukan proses pengendalian pelaksanaan pekerjaan yang meliputi pengawasan proses konstruksi, pengendalian bahan utama, kualitas pekerjaan, dan kemajuan pelaksanaan pekerjaan, sesuai ketentuan pada subpasal 4.1.2.

5.6.9 Dokumentasi dan laporan

Susun dokumentasi dan sistem laporan pelaksanaan pekerjaan penggunaan semen tanah sebagai komponen bangunan Sabo sesuai ketentuan subpasal 4.1.3.

Lampiran A Bagan alir (normatif)



Gambar A.1 Bagan Alir penggunaan semen tanah sebagai komponen utama bangunan Sabo

Lampiran B
Tabel dan gambar
(normatif)

Tabel B.1 Kebutuhan alat dalam pelaksanaan penggunaan semen tanah sebagai komponen utama bangunan Sabo

Uraian Pekerjaan		Alat yang Digunakan	
(1)	Pengumpulan tanah dan pembuangan batuan besar	a. b. c.	Ekskavator Ekskavator dengan <i>Skeleton bucket</i> <i>Grizzly bar</i>
(2)	Pemindahan tanah dari sumber material ke depo material	a. b. c.	<i>Dump truck</i> <i>Crawler dump truck</i> Ekskavator
(3)	Penghamparan tanah lapis demi lapis di depo material	a. b.	<i>Batcher plant</i> <i>Grider</i> atau Buldoser
(4)	Pengiriman tanah dari tempat penghamparan ke tempat pencampuran	a. b. c.	<i>Dump truck</i> <i>Crawler dump truck</i> Ekskavator
(5)	Pencampuran semen, tanah, dan air		Ekskavator
(6)	Pemindahan campuran semen tanah dari tempat pencampuran ke lokasi pembangunan	a. b. c.	<i>Dump truck</i> <i>Crawler dump truck</i> Ekskavator
(7)	Penanganan sambungan konstruksi (vertikal) antar lapisan semen tanah	a. b.	Penabur semen kering Selang penyemprot air
	Pembongkaran (<i>unloading</i>) semen tanah dan penghamparan	a. b.	Buldoser Ekskavator
	Pemadatan	a. b. c.	<i>Vibrating roller</i> <i>Hand-guide type vibrating roller</i> <i>Vibrating tamper</i>
(8)	Pelaksanaan lapisan perawatan (<i>curing</i>) semen tanah	a. b. c.	Lapisan <i>Curing</i> + Alas <i>Curing</i> , Selang penyemprot air Peralatan curing seperti pada beton

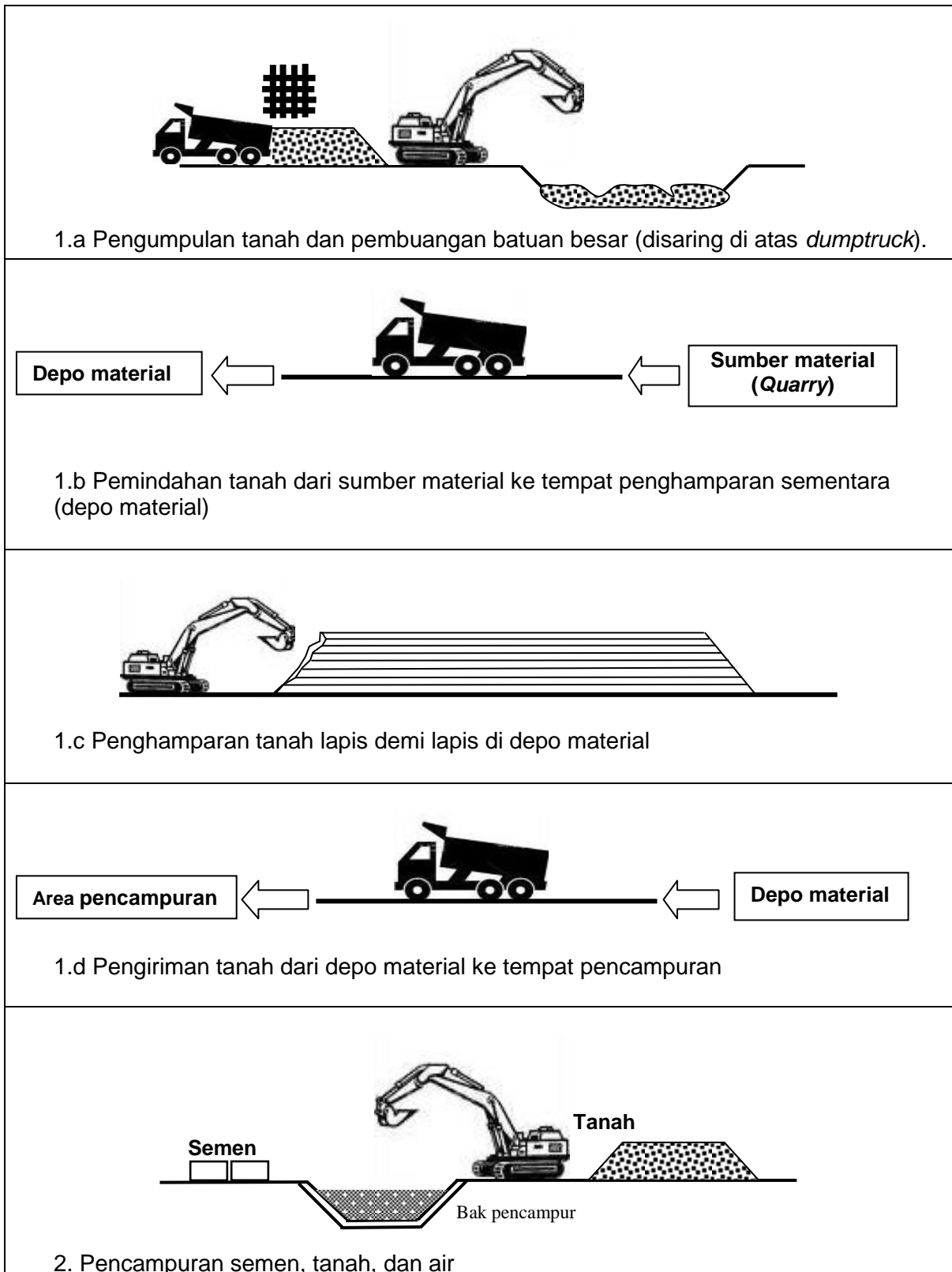
Tabel B.2 Kuat tekan rencana masing-masing bagian struktur Bangunan Sabo

Level	Kuat Tekan Rencana	Bangunan Sabo	Penggunaan
I	0,5 - 1,5 N/mm ² (5-15 kg/cm ²)	Bantalan	
		Pekerjaan lereng bukit Pekerjaan perkuatan tanah tebing Material pengisi	
		Pekerjaan pengisi pada kanalisasi	Pekerjaan pengisian
II	1,5 - 3 N/mm ² (15-30 kg/cm ²)	Bangunan Sabo dan lantai lindung	Bagian dalam, sebagai material pengisi
		Fasilitas tambahan (jalan inspeksi, dan lain-lain)	
		Pekerjaan pengisi untuk dam	
		Pekerjaan pencegahan rembesan	
		Pekerjaan fondasi	Struktur fondasi dengan kapasitas tahanan yang diizinkan: ≥ 500 kN/m ²
III	3 - 6 N/mm ² (30-60 kg/cm ²)	Bangunan Sabo dan lantai lindung	Bagian luar, yakni bagian dengan kemiringan lereng yang mulus dan bebas dari gaya dampak aliran debris Bagian dalam struktur yang sedikit dipengaruhi faktor cuaca atau bagian dalam struktur dengan lapisan pelindung tambahan.
		Pekerjaan perkuatan tebing	Bagian dalam struktur
		Tanggul pengarah (<i>training levee</i>) Tanggul kendali (<i>training dike</i>) Kantong sedimen (<i>sand pocket</i>)	Bagian dalam yang tidak secara terus menerus terkena erosi dan bagian yang sepertinya tidak menanggung aksi dari aliran debris
IV	6 - 18 N/mm ² (60-180 kg/cm ²)	Bangunan Sabo dan lantai lindung	Bagian luar yang tidak dipengaruhi faktor cuaca yang ekstrim dan bagian yang tidak dipengaruhi gaya dampak dari aliran debris
V	18 - 21 N/mm ² (180-210 kg/cm ²)	Bangunan Sabo dan lantai lindung	Bagian sayap yang menanggung aliran lahar yang telah terantisipasi secara berkala
			Bagian luar yang menerima aksi cuaca yang ekstrim dan yang menanggung aksi dari aliran lahar

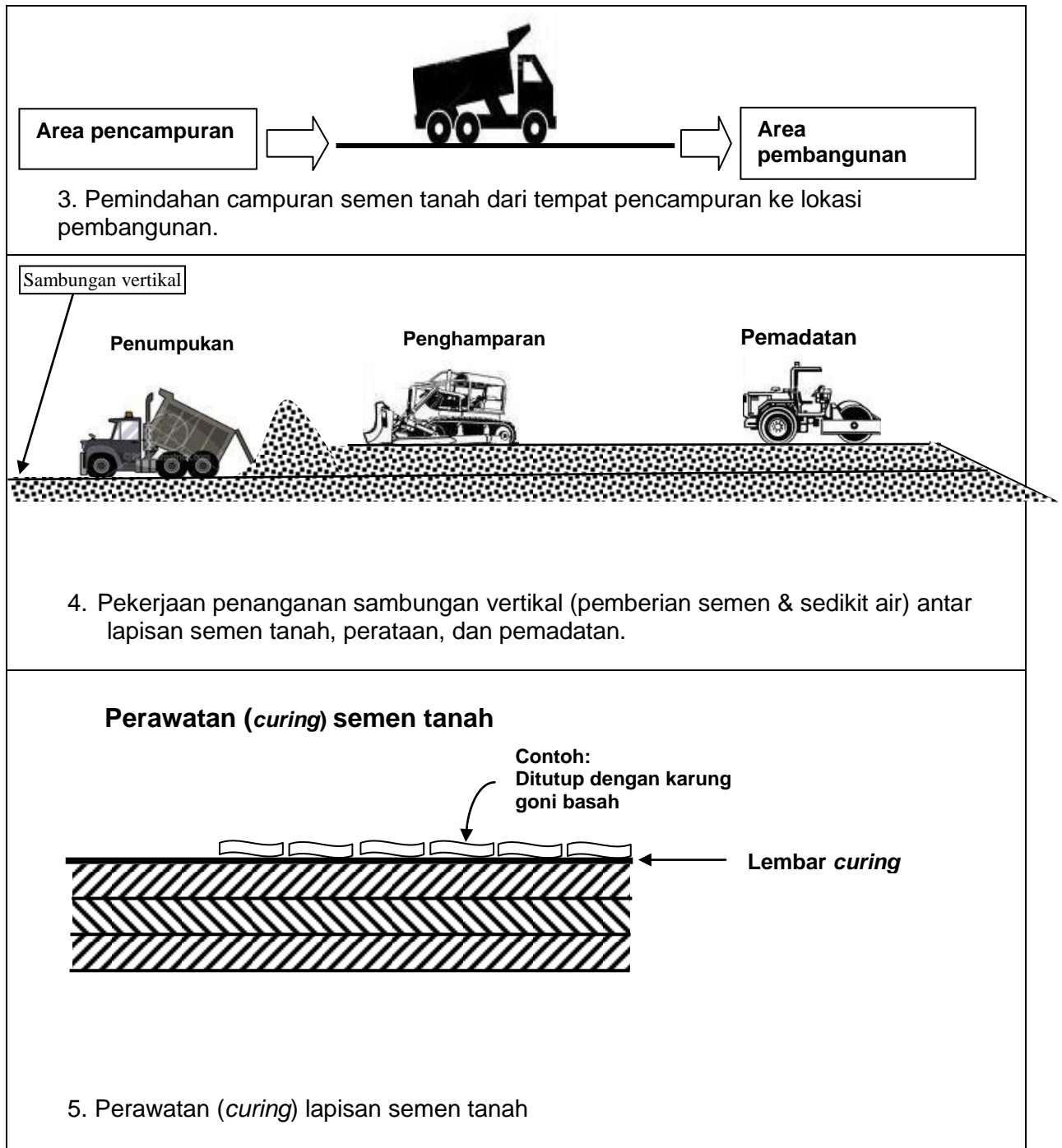
Level	Kuat Tekan Rencana	Bangunan Sabo	Penggunaan
		Pekerjaan perkuatan tebing	Bagian luar yang menanggung aksi erosi
VI	$\geq 21 \text{ N/mm}^2$ ($\geq 210 \text{ kg/cm}^2$)	Bangunan Sabo dan lantai lindung	Mercu peluap, yakni bagian yang secara penuh menanggung aksi erosi dan abrasi

Keterangan:

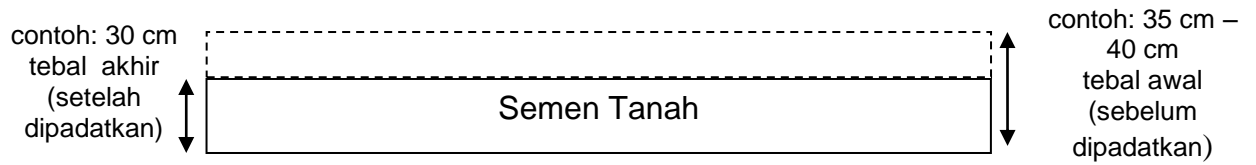
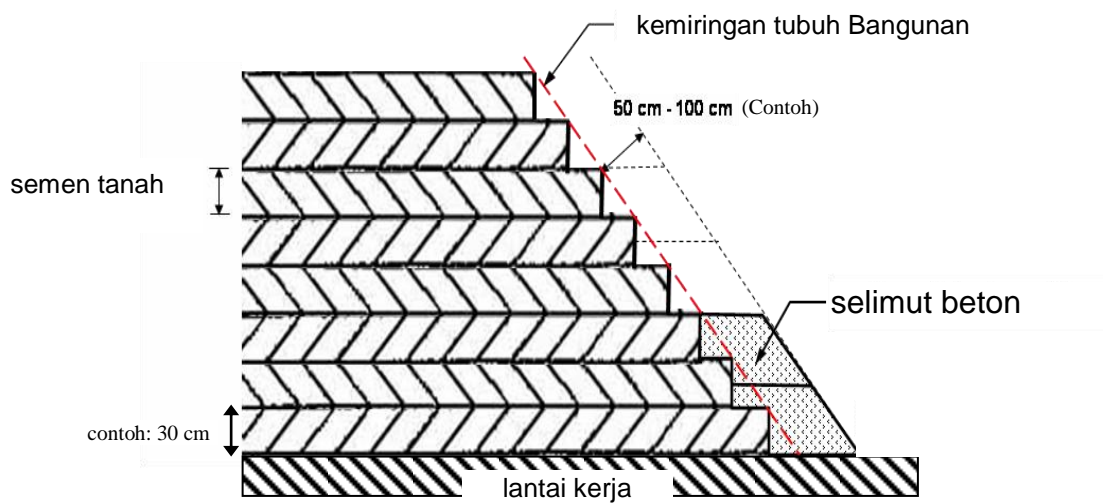
- Tabel B.2 dapat digunakan untuk bangunan Sabo dengan tinggi kurang dari 15 m, serta dinding penahan dan perkuatan tebing lebih rendah dari 8 m.
- Untuk bangunan Sabo yang lebih tinggi dari 15 m, serta dinding penahan dan perkuatan tebing lebih tinggi dari 8 m, maka kuat tekan rencana harus ditetapkan dengan mempertimbangkan gaya-gaya luar akibat gempa dan tegangan tekan maksimum dihitung sesuai peraturan yang berlaku.



Gambar B.1 Langkah penggunaan semen tanah sebagai komponen utama bangunan Sabo



Gambar B.1 (lanjutan) Langkah penggunaan semen tanah sebagai komponen utama bangunan Sabo



Gambar B.2 Skema contoh pemadatan lapisan Bangunan Sabo semen tanah

Tabel B.3 Periode pengujian untuk pengendalian mutu campuran semen tanah

Jenis Pengujian		Frekuensi	Keterangan
Material Tanah	Analisis saringan (<i>grain size</i>)	Minimal 1 kali tiap 500 m ³	
	Kepadatan dan daya resap air	Minimal 1 kali tiap 500 m ³	(>95% hasil laboratorium)
	Kadar air	2 kali /hari	Pagi dan sore
Campuran Semen tanah	Kepadatan lapangan	1 kali /100m ³	Atau lakukan tiap lapis jika volume semen tanah tiap lapis kurang dari 100 m ³
	Kuat tekan bebas (<i>unconfined compresion strength</i>)	1 kali /100m ³	Atau lakukan tiap lapis jika volume semen tanah tiap lapis kurang dari 100 m ³
	Homogenitas campuran (menggunakan <i>phenol phthalein</i>)	2 kali /hari	Pengamatan visual (tidak muncul warna biru)

Tabel B.4 Sasaran masing-masing tahapan kegiatan penggunaan semen tanah sebagai komponen utama bangunan Sabo

No	Macam kegiatan	Sasaran
1	Pengambilan sampel	Menentukan titik pengambilan sampel dengan sekurang-kurangnya tiga titik pengambilan. Untuk setiap titik diambil dua sampel.
2	Analisis saringan di lapangan	Mengetahui butiran yang lolos dari saringan 150 mm
3	Analisis saringan	Mendapatkan partikel diameter 0,075 mm – 150 mm
4	Pengujian rapat massa dan daya serap air (<i>density and water absorbtion test</i>)	Mendapatkan rapat massa (γ_s), dan sifat-sifat dari setiap benda uji
5	Pengujian kadar air (<i>water content test</i>)	Mengetahui kadar air dari tanah (w)
6	Pengujian pemadatan	Mengetahui rapat massa maksimum, kadar air optimum, dan standar rapat massa tanah
7	Berat Isi	Mengetahui berat isi semen (γ) untuk perancangan campuran
8	Pengujian kuat tekan	Mengetahui kuat tekan bahan/ campuran
9	Pengujian permeabilitas	Mengetahui koefisien rembesan (k_e)

Lampiran C
Contoh perhitungan
(informatif)

Hasil Pengujian tanah yang akan digunakan dalam campuran tertera dalam Tabel C.1 berikut:

Tabel C.1 Parameter uji dari material tanah

Parameter Pengujian	Jumlah sampel	Keterangan
1. Pengujian lapangan dan pengujian laboratorium material tanah		
(1) Pengujian lapangan terhadap material tanah		
a. Analisis saringan	3	Analisis saringan di lapangan $D_{max} = 300$ mm
(2) Pengujian laboratorium material tanah		
a. Analisis saringan	1	Dicampur dari pengambilan tiga sampel (4,76~19,1 ; 19,1~37,5 ; 37,5~53 mm). Sampel yang digunakan $D_{max} = 53$ mm.
b. Kadar air	1	
c. Rapat Masa dan daya resap air	1	Dicampur dari pengambilan empat sampel ($\emptyset < 4,76, 4,76 \sim 19,1 ; 19,1 \sim 37,5 ; 37,5 \sim 53$ mm). Sampel yang digunakan $D_{max} = 53$ mm.
d. Pengujian pemadatan	1	$\emptyset 200 \times h 240$ mm, 1 Sampel diuji dengan kadar air yang berbeda sebanyak 5 kali.
2. Pengujian laboratorium campuran semen tanah		
a. Pengujian tekan	18	$\emptyset 150$ mm, Variasi Kadar semen: 3 sampel Variasi umur : 2 sampel σ_7, σ_{28} Masing- masing kombinasi kadar semen dan umur diambil 3 sampel
b. Pengujian Permeabilitas	3	$\emptyset 200 \times h 240$ mm, Setiap campuran diambil 3 sampel

Perhitungan kuat tekan yang diperlukan dari campuran semen tanah dijelaskan sebagai berikut:

(1) Kuat tekan maksimum stabilitas bangunan

Digunakan nilai kuat tekan maksimum hasil desain analisis stabilitas sebesar $0,50 \text{ N/mm}^2$ (σ_{\max}), sehingga kuat tekan yang diperlukan adalah;

Kuat tekan yang diperlukan (σ_d) = Kuat tekan maksimum stabilitas bangunan (σ_{\max}) x angka aman = $0,50 \times 4 = 2,0 \text{ N/mm}^2$

(2) Kuat tekan yang diperlukan berdasarkan nilai empiris

Walaupun kuat tekan yang diperlukan dari hitungan stabilitas didapatkan 2 N/mm^2 , kuat tekan yang diperlukan untuk penggunaan sebagai bagian dalam struktur bangunan Sabo ditentukan sebesar $3 \text{ N/mm}^2 - 6 \text{ N/mm}^2$ (lihat Tabel B.2). Maka diambil nilai 3 N/mm^2 sebagai kuat tekan yang diperlukan.

Kuat tekan yang diperlukan : $\sigma_d = 3 \text{ N/mm}^2$

(3) Kuat tekan campuran semen tanah

Kuat tekan campuran semen tanah (σ_{mix}) \geq kuat tekan yang diperlukan (σ_d) x koefisien ekstra (k_e).

Nilai k_e diambil sebesar 1,5, maka kuat tekan campuran semen tanah adalah $4,5 \text{ N/mm}^2$.

Kuat tekan campuran semen tanah: $\sigma_{\text{mix}} = 4,5 \text{ N/mm}^2$

Berdasarkan hasil pengujian pendahuluan, campuran semen tanah ditentukan sebagai berikut:

(1) Parameter utama hasil pengujian laboratorium

Kepadatan kering material tanah adalah 95% dari berat isi kering maksimal: γ_{d95} (t/m^3) yang diperoleh dari hasil uji tekan. Kepadatan kering material tanah digunakan untuk menentukan parameter berikut :

- a) Kadar semen dalam campuran: C (N per m^3 campuran)
- b) Kandungan air pada spesimen: w(%) ($w_{\text{optimum}} \pm 5\%$)

(2) Penentuan berat isi campuran

Secara umum, Gambar C.1 menunjukkan karakteristik data pemadatan material tanah berbutir kasar dan berbutir halus yang berbeda dengan karakteristik pemadatan semen tanah.

Berat isi campuran semen tanah dengan material berbutir halus lebih kecil dibanding berat total dari semen dan material tanah. Sedangkan berat isi campuran semen tanah dengan material berbutir kasar relatif setara dengan berat total dari semen dan material tanah.

Kurva pemadatan untuk setiap tanah uji ditunjukkan oleh Gambar C.2.

a) Kepadatan Kering Maksimal (γ_{MDD})

$$\gamma_{MDD} = 2,09 \sim 2,44 \text{ t/m}^3 = 20900 \sim 24400 \text{ N/m}^3$$

$$\text{(rata-rata: } 2,30 \text{ t/m}^3 = 23000 \text{ N/m}^3\text{)}$$

b) 95% of Kepadatan Kering Maksimal (γ_{d95})

$$\gamma_{d95} = 1,986 \sim 2,318 \text{ t/m}^3 = 19860 \sim 23180 \text{ N/m}^3$$

$$\text{(rata-rata: } 2,18 \text{ t/m}^3 = 21800 \text{ N/m}^3\text{)}$$

c) Kadar Air (w_n)

$$w_n = 2,7 \sim 4,7\% \text{ dari sampel}$$

$$\text{diambil } w_n = 4\%$$

$$w_{opt} = 7,1 \sim 8,1\% \text{ (rata-rata : } 7,7\% \text{)}$$

d) Jumlah Semen (C)

Berdasarkan data pengujian campuran, jumlah semen (C) digunakan = 150 kg per m^3 (1500 N per m^3)

e) Berat isi semen tanah awal (γ_{sc}) (kondisi belum dicampur)

$$\begin{aligned} \text{- Berat isi kering} & : \gamma = \gamma_{d95(Ave)} + C \\ & = 2,18 + 0,15 \\ & = 2,33 \text{ t/m}^3 \\ & = 23300 \text{ N/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Berat isi basah} & : \gamma = \gamma_{scd} \times (1 + w_n) \\ & = 2,33 \times (1 + 0,04) \\ & = 2,42 \text{ t/m}^3 \\ & = 24200 \text{ N/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Berat isi air} & : \gamma_w = \gamma_{d95(Ave)} \times w_n \\ & = 2,18 \times 0,04 \\ & = 0,09 \text{ t/m}^3 \\ & = 900 \text{ N/m}^3 \end{aligned}$$

f) Berat isi semen tanah akhir (γ_{sct}) (kondisi setelah dicampur)

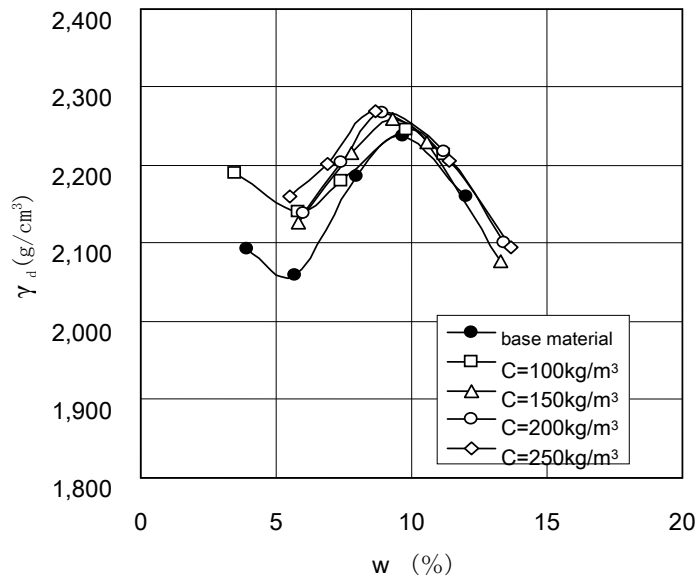
Berat isi semen tanah akhir (γ_{sct}) ditentukan berdasarkan hasil pengujian laboratorium terhadap sampel seperti yang tersaji pada Tabel C.2.

$$\text{- Jumlah semen} : C = 150 \text{ kg per m}^3 = 1500 \text{ N/m}^3$$

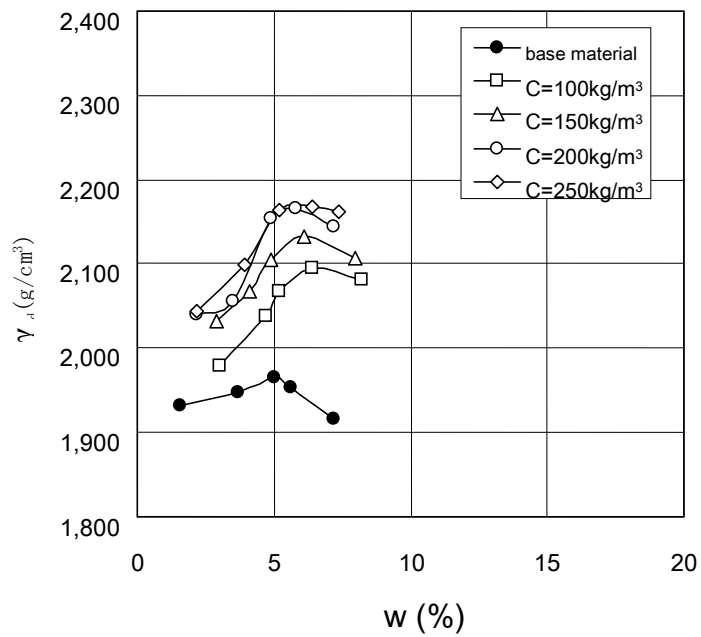
$$\begin{aligned} \text{- Berat isi semen tanah akhir} & : \gamma_{sct} = 2,38 \text{ t/m}^3 \text{ (23800 N/m}^3\text{)} \\ & \text{(lihat Tabel C.2)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Berat isi rencana} & : \gamma_0 = \gamma_{sct} \times 95\% \\ & = 2,38 \times 0,95 \\ & = 2,26 \text{ t/m}^3 \\ & = 22600 \text{ N/m}^3 \end{aligned}$$

Harus didapatkan nilai kepadatan sebesar 95% nilai kepadatan laboratorium. Maka diambil berat isi semen tanah akhir (kondisi setelah dicampur) : $\gamma_{sct} = 2,20 \text{ t/m}^3 = 22000 \text{ N/ m}^3$.

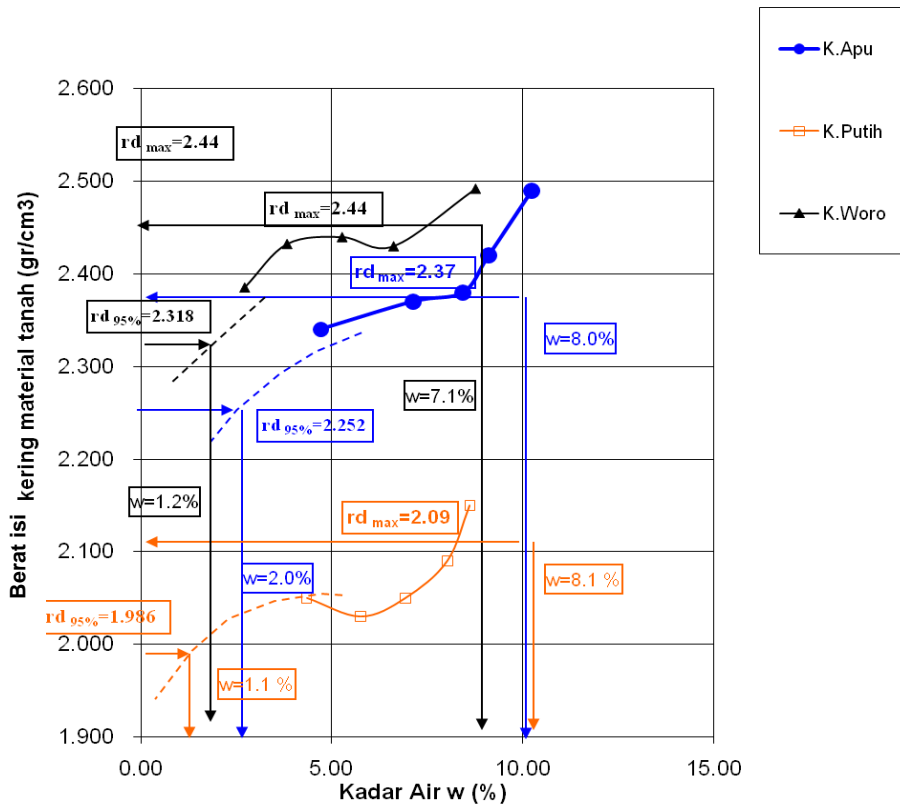


(Tanah berbutir halus : \varnothing 0.075 mm \geq 5%)



(Tanah berbutir kasar \varnothing 0,075 mm < 5%)

Gambar C.1 Kurva pemadatan sampel tanah



Gambar C.2 Kurva pemadatan dari masing-masing lokasi pembangunan semen tanah

Tabel C.2 Berat Isi sampel semen tanah (t/m³) atau kN/m³)

Lokasi Pembangunan		Berat isi kering sampel											
		Kadar semen 100 (kg per m ³)				Kadar semen 150 (kg per m ³)				Kadar semen 200 (kg per m ³)			
		Kisaran		Rerata		Kisaran		Rerata		Kisaran		Rerata	
		t/m ³	kN/m ³	t/m ³	kN/m ³	t/m ³	kN/m ³	t/m ³	kN/m ³	t/m ³	kN/m ³	t/m ³	kN/m ³
K. Apu	Kepadatan sampel umur 7 hari	2,21~2,28	22,1~22,8	2,26	22,6	2,24~2,38	22,4~23,8	2,32	23,2	2,32~2,38	23,2~23,8	2,34	23,4
	Kepadatan sampel Umur 28 hari	2,32~2,38	23,2~23,8	2,36	23,6	2,30~2,35	23,0~23,5	2,32	23,2	2,35~2,45	23,5~24,5	2,40	24,0
K. Putih	Kepadatan sampel umur 7 hari	2,41~2,43	24,1~24,3	2,42	24,2	2,39~2,45	23,9~24,5	2,43	24,3	2,41~2,42	24,1~24,2	2,42	24,2
	Kepadatan sampel Umur 28 hari	2,39~2,43	23,9~24,3	2,42	24,2	2,36~2,47	23,6~24,7	2,41	24,1	2,41~2,47	24,1~24,7	2,44	24,4
K. Woro	Kepadatan sampel umur 7 hari	2,02~2,30	20,2~23,0	2,17	21,7	2,34~2,43	23,4~24,3	2,40	24,0	2,38~2,43	23,8~24,3	2,41	24,1
	Kepadatan sampel Umur 28 hari	2,18~2,35	21,8~23,5	2,28	22,8	2,36~2,53	23,6~25,3	2,42	24,2	2,40~2,81	24,0~28,1	2,54	25,4
Rerata total		2,02~2,43	20,2~24,3	2,32	23,2	2,24~2,53	22,4~25,3	2,38	23,8	2,32~2,81	23,2~28,1	2,42	24,2

(3) Campuran semen tanah

Campuran semen tanah per m^3 hasil desain campuran sebagai berikut:

Berat volume campuran maksimum didapat $\gamma_{sct} = 2,2 \text{ t/m}^3$ (22 kN/m^3) yang terdiri dari:

- Berat campuran semen tanah : $W_{sct} = 2,20 \text{ t}$ (22kN)
- Volume berat semen : $C = 0,15 \text{ t}$ (1,5kN)
- Berat air per m^3 : $W_{opt} = 8\%$,
 $W_w = W_{sct} \times 0,08$
 $= 0,176 \text{ t}$ (1,76 kN)
- Berat material dalam campuran : $W_m = W_{sct} - C - W_w$
 $= 2,2 - 0,15 - 0,176$
 $= 1,874 \text{ t}$ (18,74 kN)
- Rasio campuran material ($W_m : C : W_w = 12,5 : 1 : 1,2$)
Berat material : berat semen : berat air = 12,5 : 1 : 1,2

(4) Penentuan kadar semen dalam campuran

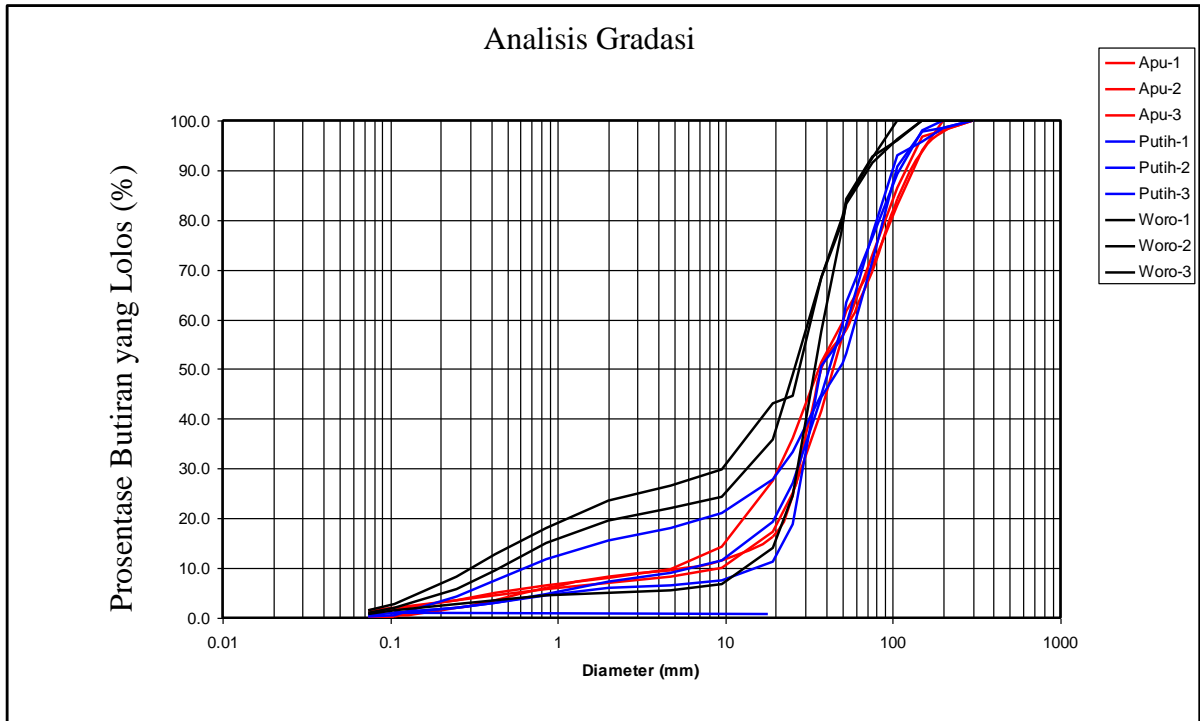
Resume hasil penentuan komposisi semen tanah yang digunakan dapat dilihat pada Tabel C.3.

Tabel C.3 Komposisi semen tanah yang digunakan

Kuat tekan semen tanah yang diperlukan σ_d	Kuat tekan campuran semen tanah σ_{mix}	Jumlah semen yang digunakan	Berat isi campuran semen tanah yang diperlukan	Kadar air semen tanah
$\sigma_{28}(\text{N/mm}^2)$	$\sigma_{28}(\text{N/mm}^2)$	C (N per m^3)	$\gamma_d(\text{kN/m}^3)$	w(%)
3,0	4,5	1500 (150 kg per m^3)	22,0 atau lebih	$8,0 \pm 1,5$

(5) Rentang gradasi material tanah yang digunakan

Distribusi ukuran butiran tanah yang digunakan diperlihatkan pada Gambar C.3.

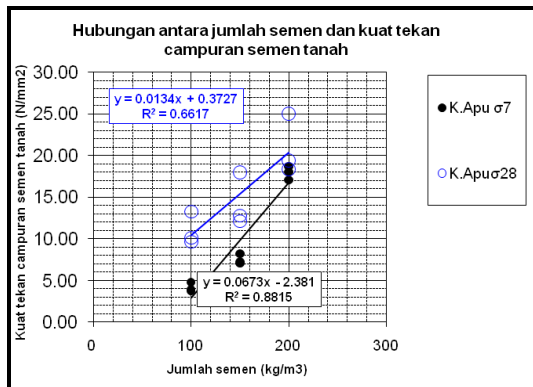


Gambar C.3 Grafik gradasi butiran dari material tanah yang digunakan

Tabel C.4 Contoh Data Empiris pelaksanaan penggunaan semen tanah sebagai komponen bangunan Sabo di Daerah Gunung Merapi

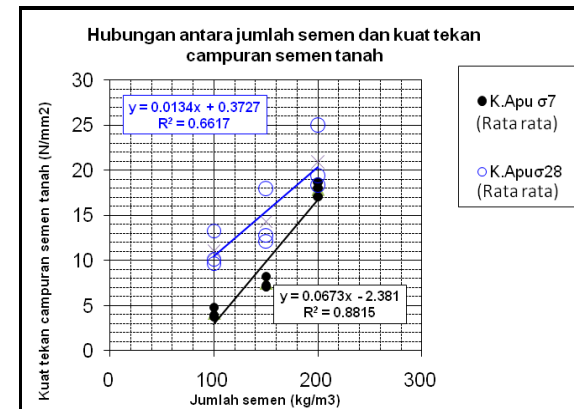
Sabo Dam	<i>Vibrating Roller</i>	Tebal Lapisan semen tanah	Ukuran maksimum butiran	Intensitas pemadatan
Kali Woro WO-RD1	Tipe 6 ton	30 cm	15 cm	Tanpa getaran x 1, dengan getaran x 5
Kali Putih PU-RD1-7	Tipe 6 ton	30 cm	10 cm	Tanpa getaran x 1, dengan getaran x 5
Kali Bebeng BE-RD1	Tipe 10 ton	50 cm (25 cm x 2 tingkat)	10 cm	Contoh 1: Tanpa getaran x 2, dengan getaran x 6 Contoh 2: Tanpa getaran x 2, dengan getaran x 8 Digunakan contoh 2

Umur 7 Hari



Volume Semen (kg/m ³)	Data σ_7 (Apu) (N/mm ²)	Volume Semen (kg/m ³)	Rata-rata σ_7 (Apu) (N/mm ²)
100	4,83	100	4,17
100	3,75	150	7,51
100	3,92	200	17,93
150	7,07		
150	7,23		
150	8,24		
200	18,03		
200	17,10		
200	18,67		

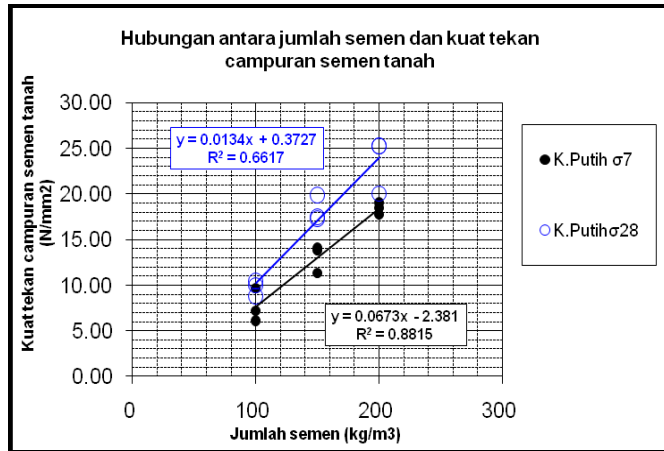
Umur 28 Hari



Volume Semen (kg/m ³)	Data σ_{28} (Apu) (N/mm ²)	Volume Semen (kg/m ³)	Rata-rata σ_{28} (Apu) (N/mm ²)
100	9,65	100	11,01
100	10,14	150	14,30
100	13,26	200	20,94
150	12,13		
150	12,78		
150	17,97		
200	18,38		
200	19,41		
200	25,02		

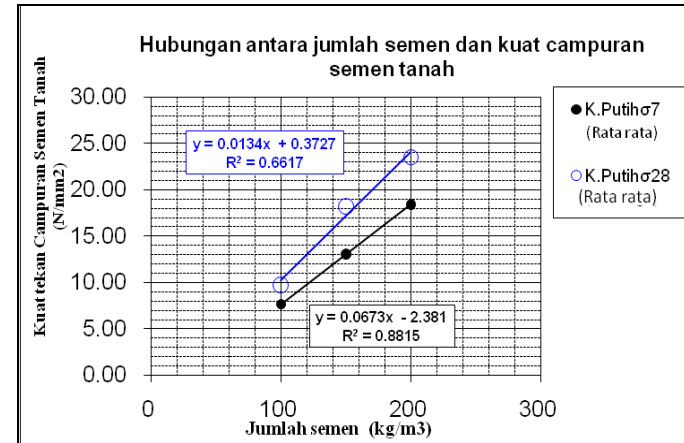
Gambar C.4 Hubungan antara jumlah semen dan kuat tekan campuran semen tanah Sungai K.Apu

Umur 7 Hari



Volume Semen (kg/m ³)	Data σ7 (Putih) (N/mm ²)	Volume Semen (kg/m ³)	Rata-rata σ7 (Putih) (N/mm ²)
100	6,10	100	7,65
100	9,65	150	13,08
100	7,18	200	18,42
150	14,08		
150	11,35		
150	13,80		
200	19,03		
200	18,51		
200	17,74		

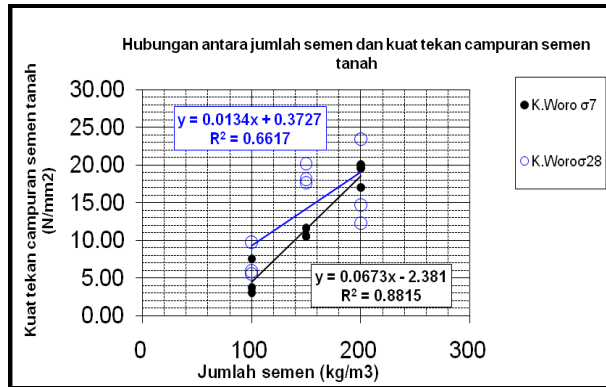
Umur 28 Hari



Volume Semen (kg/m ³)	Data σ28 (Putih) (N/mm ²)	Volume Semen (kg/m ³)	Rata-rata σ28 (Putih) (N/mm ²)
100	8,80	100	9,75
100	10,47	150	18,24
100	9,99	200	23,51
150	17,52		
150	17,30		
150	19,91		
200	25,26		
200	20,04		
200	25,25		

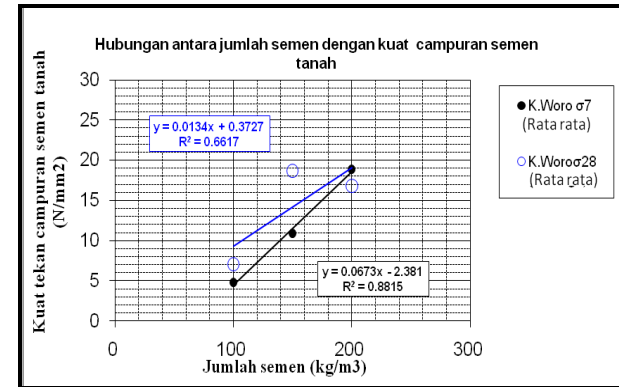
Gambar C.5 Hubungan antara jumlah semen dan kuat tekan campuran semen tanah Sungai K.Putih

Umur 7 Hari



Volume Semen (kg/m ³)	Data σ_7 (Woro) (N/mm ²)	Volume Semen (kg/m ³)	Rata-rata σ_7 (Woro) (N/mm ²)
100	3,11	100	4,79
100	3,70	150	10,90
100	7,55	200	18,87
150	10,59		
150	11,62		
150	10,49		
200	19,59		
200	20,01		
200	17,00		

Umur 28 Hari



Volume Semen (kg/m ³)	Data σ_{28} (Woro) (N/mm ²)	Volume Semen (kg/m ³)	Rata-rata σ_{28} (Woro) (N/mm ²)
100	5,92	100	7,09
100	9,79	150	18,65
100	5,56	200	16,81
150	18,13		
150	17,65		
150	20,16		
200	12,30		
200	14,7		
200	23,44		

Gambar C.6 Hubungan antara jumlah semen dan kuat tekan campuran semen tanah Sungai K.Woro

Lampiran D
Daftar nama dan lembaga
(informatif)

1) Pemrakarsa

Balai Sabo, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum.

2) Penyusun

N a m a	L e m b a g a
Tim Gugus Kerja Balai Sabo 1. Chandra Hassan 2. Soeryono Haryadi 3. Sadwandharu 4. Sutikno Harjosuwarno 5. Agus Sumaryono 6. Oriza Andamari 7. Suroso 8. Joko Cahyono 9. I Gusti Bagus Suryana 10. Santosa Sandy Putra	Pusat Litbang Sumber Daya Air Dirjen Sumber Daya Air
Tim BBWS Serayu Opak 1. Imam Mardjianto 2. Sahril 3. Mudjadi	
Tim Narasumber 1. Wardhono 2. Adaningkung	

Bibliografi

- Chandra Hassan, et. all. 1989. *Kamus Populer Istilah Pengendalian Erosi, Sedimen, dan Tanah Longsor*. Volcanic Sabo Technical Center, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C.. 2000. *Teknik Fondasi*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Japan Ministry of Construction. 2000. *Debris Flow Countermeasure Guideline*. Japan Ministry of Construction, Tokyo.
- Japan Ministry of Construction. 2001. *In-situ Agitating, Mixing, Solidifying, and Curing (ISM method) Design and Execution Manual*. Japan Ministry of Construction, Tokyo.
- Japan Ministry of Construction. 2001. *Technical Standart of River and Sabo Engineering*. Japan Ministry of Construction, Tokyo.
- JICA. 1980. *Master Plan Study for Land Erosion and Volcanic Debris Control in The Area of Mt. Merapi*. JICA, Yogyakarta.
- Keizo, Sueyoshi. 2005. Design Report of Kaliadem Bangunan Sabo, Yachio Engineering. Co. Ltd., Yogyakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Pedoman Perencanaan Hidrologi dan Hidraulik untuk Bangunan di Sungai, SKBI-1.3.10.1987*. Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2002. *Teknologi Beton*. Proyek Pusat Latihan Penanggulangan Gunung Berapi, Departemen Pekerjaan Umum, Yogyakarta.
- Mizuyama, Takahisa. 2001. *Utilization Guidelines for Sabo Soil Cement*. Kajima Institute, Tokyo.
- Pusat Litbang Sumber Daya Air. 1989. *Petunjuk Perancangan Dam Penahan Sedimen*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan, Bandung.
- Rochmanhadi. 1982. *Kapasitas dan Produksi Alat Berat*. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Rochmanhadi. 1997. *Ekonomi Teknik untuk Proyek-Proyek Pengairan*. BPKSDM, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Soekoto, Imam. 2003. *Mempersiapkan Lapis Dasar Konstruksi*, Jilid I dan 2. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Soekoto, Imam. 2003. *Mengenal Alat dan Peralatan Konstruksi*. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Terzaghi, Karl, dan Ralph B. Peck. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2008. *Kamus Istilah Bidang Pekerjaan Umum* Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.

