

2014

Persyaratan Perencanaan Geoteknik dan Kegempaan



PUSAT PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN JALAN
DAN JEMBATAN

PERSYARATAN PERENCANAAN GEOTEKNIK DAN KEGEMPAAN

Penyusun
Dea Pertiwi dan Tim



PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN
Badan Penelitian dan Pengembangan
Kementerian Pekerjaan Umum
www.pusjatan.pu.go.id

PERSYARATAN PERENCANAAN GEOTEKNIK JALAN DAN KEGEMPAAN

Dea Pertiwi dan Tim

Desember 2014

Cetakan ke-1 2014, XXX halaman

© Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

No. ISBN :

Kode Kegiatan : 232.001.003

Kode Publikasi :

Kata kunci : Persyaratan, Perencanaan, Geoteknik, Kegempaan

Koordinator Peneliti:

Ir. Rudy Febrijanto, MT., Puslitbang Jalan dan Jembatan

Desain dan Tata Letak

Diterbitkan oleh:

Kementerian Pekerjaan Umum

Badan Penelitian dan Pengembangan

Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

Jl. A.H. Nasution No. 264 Ujungberung – Bandung 40293

Pemesanan melalui:

Perpustakaan Puslitbang Jalan dan Jembatan

info@pusjatan.pu.go.id

KEANGGOTAAN SUB TIM TEKNIS

BALAI GEOTEKNIK JALAN

Ketua Sub Tim Teknis:

Ir. Rudy Febrijanto, MT.

Anggota:

Ir. GJW Fernandez

Dr. Ir. M. Eddie Sunaryo, M.Sc.

Ir. Benny Moestofa

Drs. M. Suherman

Dr. Ir. Imam Aschuri, MT

Dr. Ir. Hindra Mulya

Narasumber:

Prof. Masyhur Irsyam

Dr. Ir. M. Asrurifak

HIMPUNAN AHLI TEKNIK TANAH INDONESIA

© PUSJATAN 2014

Naskah ini disusun dengan sumber dana APBN Tahun 2104, pada paket pekerjaan Naskah Ilmiah Metode Perencanaan Timbunan Tinggi, DIPA Puslitbang Jalan dan Jembatan.

Pandangan-pandangan yang disampaikan di dalam publikasi ini merupakan pandangan penulis dan tidak selalu menggambarkan pandangan dan kebijakan Kementerian Pekerjaan Umum, unsur pimpinan, maupun institusi pemerintah lainnya. Penggunaan data dan informasi yang dimuat di dalam publikasi ini sepenuhnya merupakan tanggung jawab penulis.

Kementerian Pekerjaan Umum mendorong percetakan dan memperbanyak informasi secara eksklusif untuk perorangan dan pemanfaatan nonkomersil dengan pemberitahuan yang memadai kepada Kementerian Pekerjaan Umum. Pengguna dibatasi dalam menjual kembali, mendistribusikan atau pekerjaan kreatif turunan untuk tujuan komersil tanpa izin tertulis dari Kementerian Pekerjaan Umum.

Buku ini juga dibuat versi e-book dan dapat diunduh dari website pusjatan.pu.go.id.

PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan) adalah lembaga riset yang berada di bawah Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. Lembaga ini memiliki peranan yang sangat strategis di dalam mendukung tugas dan fungsi Kementerian Pekerjaan Umum dalam menyelenggarakan jalan di Indonesia. Sebagai lembaga riset, Pusjatan memiliki visi sebagai lembaga penelitian dan pengembangan yang terkemuka dan terpercaya, dalam menyediakan jasa keahlian dan teknologi bidang jalan dan jembatan yang berkelanjutan, dan dengan misi sebagai berikut:

- Meneliti dan mengembangkan teknologi bidang jalan dan jembatan yang inovatif, aplikatif, dan berdaya saing;
- Memberikan pelayanan teknologi dalam rangka mewujudkan jalan dan jembatan yang handal; dan
- Menyebarkan dan mendorong penerapan hasil litbang bidang jalan dan jembatan.

Pusjatan memfokuskan dukungan kepada penyelenggara jalan di Indonesia, melalui penyelenggaraan litbang terapan untuk menghasilkan inovasi teknologi bidang jalan dan jembatan yang bermuara pada standar, pedoman, dan manual. Selain itu, Pusjatan mengemban misi untuk melakukan advis teknik, pendampingan teknologi, dan alih teknologi yang memungkinkan infrastruktur Indonesia menggunakan teknologi yang tepat guna. Kemudian Pusjatan memiliki fungsi untuk memastikan keberlanjutan keahlian, pengembangan inovasi, dan nilai-nilai baru dalam pengembangan infrastruktur.

KATA PENGANTAR

Standar (*code*) merupakan spesifikasi teknis atau sesuatu yang dibakukan termasuk tata cara dan metode yang disusun berdasarkan konsensus semua pihak yang terkait. Saat ini, standar (*code*) persyaratan perencanaan geoteknik dan kegempaan yang komprehensif belum tersedia di lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum. Tidak adanya standar tersebut dapat mengakibatkan terjadinya inkonsistensi pada pedoman-pedoman perencanaan turunannya.

Sebagai contoh, Panduan Geoteknik (*Geoguide*) dan Pedoman Manajemen Pekerjaan Tanah memberikan persyaratan faktor keamanan (FK) stabilitas timbunan yang berbeda. Inkonsistensi ini dapat membingungkan pengguna, karena untuk perencanaan suatu konstruksi yang sama (timbunan) terdapat 2 (dua) persyaratan yang berbeda.

Di negara-negara lain yang berada pada satu benua, contohnya Inggris dan Jerman, digunakan satu buku *code* yang sama untuk persyaratan perencanaan geoteknik dan kegempaan, yaitu Eurocode (European Norm, EN). Di Indonesia, persyaratan perencanaan geoteknik jalan, bangunan air dan gedung juga belum menjadi satu kesatuan (satu buku standar), sehingga menyulitkan perencanaan dalam memilih dan menentukan syarat yang akan diacu dalam perencanaan.

Dengan demikian, buku ini memaparkan hasil pengkajian dan kesepakatan acuan untuk menyusun satu buku Standar Nasional Indonesia (SNI) yang sudah mencakup persyaratan perencanaan geoteknik dan kegempaan untuk jalan (dan jembatan), bangunan air dan gedung.

Diharapkan buku naskah ilmiah ini dapat menambah wawasan bagi pembaca, serta memberikan input bagi penyusunan SNI geoteknik dan kegempaan pada kegiatan di tahun 2015.

Bandung, Desember 2014

Tim Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----------|
| KATA PENGANTAR | I |
| DAFTAR ISI..... | II |
| DAFTAR TABEL | V |
| DAFTAR GAMBAR..... | VI |
| GLOSARI | VII |
| 1 PENDAHULUAN..... | 1 |
| 2 GAMBARAN UMUM STANDAR INTERNASIONAL UNTUK GEOTEKNIK DAN KEGEMPAAN | 4 |
| 2.1 Definisi Norma, Standar (<i>Code</i>), Pedoman dan Manual..... | 4 |
| 2.2 Ulasan Mengenai Bridge Management System (BMS)..... | 9 |
| 2.2.1 Gambaran BMS | 9 |
| 2.2.2 Perkembangan BMS menjadi SNI atau Pedoman..... | 11 |
| 2.3 Ulasan Mengenai Eurocode | 12 |
| 2.3.1 Perkembangan Eurocode | 12 |
| 2.3.2 Contoh Implementasi Eurocode di Inggris..... | 16 |
| 2.3.3 Eurocode dan Eurocode 7 | 17 |
| 2.4 Ulasan mengenai International Building Code (IBC)..... | 18 |
| 2.4.1 Perkembangan IBC..... | 18 |
| 2.4.2 Cakupan IBC 2012..... | 20 |
| 2.4.3 Pemeliharaan IBC 2012..... | 21 |
| 2.4.4 IBC 2012, Pasal 18 Soil and Foundation..... | 21 |
| 2.5 Ulasan Mengenai AASHTO..... | 23 |
| 2.5.1 Perkembangan AASHTO..... | 23 |
| 2.5.2 Cakupan AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (2012) | 24 |
| 2.6 Ulasan Mengenai ICOLD | 25 |
| 2.7 Standar, Pedoman dan <i>Code</i> Internasional yang Dikaji | 26 |
| 3 GAMBARAN UMUM SPM UNTUK GEOTEKNIK DAN KEGEMPAAN DI INDONESIA | 29 |
| 3.1 Kebutuhan akan Standar Geoteknik dan Kegempaan di Indonesia..... | 29 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.2 | Pengelompokkan SPM Geoteknik dan Kegempaan di Puslitbang Jalan dan Jembatan..... | 30 |
| 3.3 | Standar Kegempaan di Indonesia (SNI 1726-2012)..... | 34 |
| 4 | PERSYARATAN PERENCANAAN GEOTEKNIK DAN KEGEMPAAN | 36 |
| 4.1 | Umum..... | 36 |
| 4.2 | Pengelompokkan Bidang Geoteknik dan Kegempaan | 38 |
| 4.3 | Stabilitas Lereng Galian dan Timbunan..... | 39 |
| 4.3.1 | Persyaratan Kondisi Batas | 39 |
| 4.3.2 | Pertimbangan Perencanaan..... | 42 |
| 4.3.3 | Kriteria Perencanaan..... | 47 |
| 4.3.4 | Metode Perencanaan | 50 |
| 4.3.5 | Prinsip Pendekatan dalam Perencanaan (<i>Design Situation</i>)..... | 52 |
| 4.3.6 | Monitoring dan supervisi..... | 54 |
| 4.4 | Galian Dalam | 54 |
| 4.4.1 | Tinjauan Umum SPM yang Membahas Persyaratan Perencanaan Galian Dalam | 54 |
| 4.4.2 | Persyaratan Kondisi Batas | 56 |
| 4.4.3 | Pertimbangan Perencanaan..... | 56 |
| 4.4.4 | Kriteria Perencanaan..... | 58 |
| 4.4.5 | Metode Perencanaan | 60 |
| 4.4.6 | Monitoring dan Supervisi | 60 |
| 4.5 | Fondasi..... | 61 |
| 4.5.1 | Tinjauan Umum SPM yang Membahas Persyaratan Perencanaan Fondasi | 61 |
| 4.5.2 | Persyaratan Kondisi Batas | 62 |
| 4.5.3 | Definisi dan Ruang Lingkup Fondasi..... | 63 |
| 4.5.4 | Persyaratan Umur Rencana | 64 |
| 4.5.5 | Metode Perencanaan | 64 |
| 4.6 | Terowongan | 65 |
| 4.6.1 | Tinjauan Umum SPM yang Membahas Persyaratan Perencanaan Terowongan..... | 65 |
| 4.6.2 | Persyaratan Kondisi Batas | 66 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.6.3 | Definisi dan Ruang Lingkup Persyaratan Perencanaan Terowongan | 67 |
| 4.6.4 | Metode Perencanaan..... | 68 |
| 4.7 | Kegempaan | 68 |
| 4.8 | Data Geoteknik..... | 72 |
| 4.9 | Struktur Penahan (<i>Retaining Structure</i>) | 77 |
| 4.9.1 | Tinjauan Umum SPM yang Membahas Persyaratan Perencanaan Struktur Penahan | 77 |
| 4.9.2 | Definisi dan Ruang Lingkup Struktur Penahan..... | 78 |
| 4.9.3 | Umur rencana | 79 |
| 4.9.4 | Persyaratan Kondisi Batas | 80 |
| 4.10 | Perbaikan Tanah (<i>Ground Improvement</i>) | 84 |
| 4.10.1 | Tinjauan Umum SPM yang Membahas Persyaratan Perencanaan untuk Perbaikan Tanah | 84 |
| 4.10.2 | Persyaratan Kondisi Batas | 85 |
| 4.10.3 | Definisi dan Ruang Lingkup Perbaikan Tanah | 85 |
| 5 | PENUTUP..... | 93 |
| 5.1 | Persyaratan Perencanaan Geoteknik dan Kegempaan..... | 93 |
| 5.2 | Saran untuk Penelitian Lanjutan | 94 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 1. Rangkuman definisi norma, standar (code), pedoman dan manual..... | 7 |
| Tabel 2. Standar, Pedoman, Code Mengenai Geoteknik dan Kegempaan yang Dikaji | 27 |
| Tabel 3. Pengelompokkan Bidang untuk Pengkajian Persyaratan Perencanaan Geoteknik dan Kegempaan | 38 |
| Tabel 4. Faktor Keamanan Minimum untuk Perhitungan Stabilitas (Pd T-11-2005-B)..... | 48 |
| Tabel 5. Faktor Keamanan Statik Lereng Galian (PerGub DKI, 2009) | 49 |
| Tabel 6. Nilai Minimum Faktor Keamanan Galian dengan Sistem Dinding Penahan (PerGub DKI, 2009) | 58 |
| Tabel 7. Rekomendasi Faktor Keamanan Minimum untuk Desain Angkur Tunggal (PerGub DKI, 2009) | 60 |
| Tabel 8. Tinjauan Umum SPM Fondasi | 61 |
| Tabel 9. Definisi dan Ruang Lingkup Fondasi | 63 |
| Tabel 10. Persyaratan Umur Rencana Fondasi..... | 64 |
| Tabel 11. Metode Perencanaan Fondasi | 65 |
| Tabel 12. Definisi dan Ruang Lingkup Persyaratan Perencanaan Terowongan..... | 67 |
| Tabel 13. Rangkuman Hasil Kesepakatan Acuan dalam FGD (Bidang Kegempaan) | 71 |
| Tabel 14. Hasil Kajian Persyaratan Penyelidikan Tanah | 74 |
| Tabel 15. Definisi dan Ruang Lingkup Struktur Penahan | 79 |
| Tabel 16. Umur Rencana Struktur Penahan | 79 |
| Tabel 17. Lingkup Perbaikan Tanah di Dalam Standar dan Pedoman | 86 |
| Tabel 18. Rangkuman Hasil Kesepakatan Acuan untuk 8 Bidang (Kegempaan dibuat Terpisah)..... | 88 |

DAFTAR GAMBAR

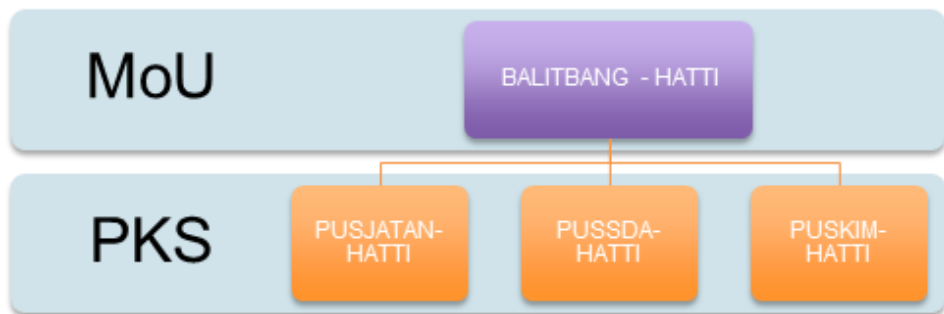
| | |
|--|----|
| Gambar 1. Skema MoU dan PKS..... | 1 |
| Gambar 2. Skema penyusunan SPM | 2 |
| Gambar 3. Bidang Kajian..... | 3 |
| Gambar 4. Ilustrasi Eurocode | 13 |
| Gambar 5. Bentuk-bentuk bidang longsor (USACE, 2013) | 40 |
| Gambar 6. Grafik stabilitas lereng Janbu (1968) untuk tanah dengan $\phi = 0$ (USACE, 2013) | 51 |
| Gambar 7. Stabilitas Global pada kondisi Batas Ultimit | 81 |
| Gambar 8. Keruntuhan Fondasi pada Dinding Gravitasi..... | 81 |
| Gambar 9. Keruntuhan Rotasi pada <i>Embedded Walls</i> | 82 |
| Gambar 10. Keruntuhan Vertikal pada <i>Embedded Walls</i> | 82 |
| Gambar 11. Keruntuhan Struktural pada Struktur Penahan | 83 |
| Gambar 12. Keruntuhan Cabut Angkur | 83 |

GLOSARI

| | |
|--|---|
| <i>Allowable Stress Design</i> | = Perencanaan tegangan izin |
| <i>Anchorage</i> | = Angkur (pengangkuran) |
| <i>Box culvert</i> | = Gorong-gorong |
| <i>Design code</i> | = Standar perencanaan |
| <i>Gravity walls</i> | = Dinding graviti/gravitasi |
| <i>Ground improvement</i> | = Perbaikan tanah |
| <i>Guidelines</i> | = Pedoman |
| <i>Hydraulic failure</i> | = Keruntuhan hidraulik |
| <i>Limit state</i> | = Kondisi batas |
| <i>Load and Resistance Factored Design</i> | = Perencanaan beban dan tahanan terfaktor |
| <i>Material Factor Approach</i> | = Pendekatan faktor material |
| <i>Overall stability</i> | = Stabilitas global |
| <i>Overall safety factors</i> | = Faktor keamanan global |
| <i>Partial safety factors</i> | = Faktor keamanan parsial |
| <i>Pengembangan</i> | = Heave |
| <i>Performace-based Design</i> | = Perencanaan berbasis kinerja |
| <i>Retaining wall</i> | = Dinding penahan |
| <i>Scour</i> | = Penggerusan |
| <i>Serviceability limit state</i> | = Kondisi batas layan |
| <i>Ultimate limit state</i> | = Kondisi batas ultimit |
| <i>Uplift</i> | = Gaya angkat |
| <i>Working Stress Design</i> | = Perencanaan tegangan kerja |

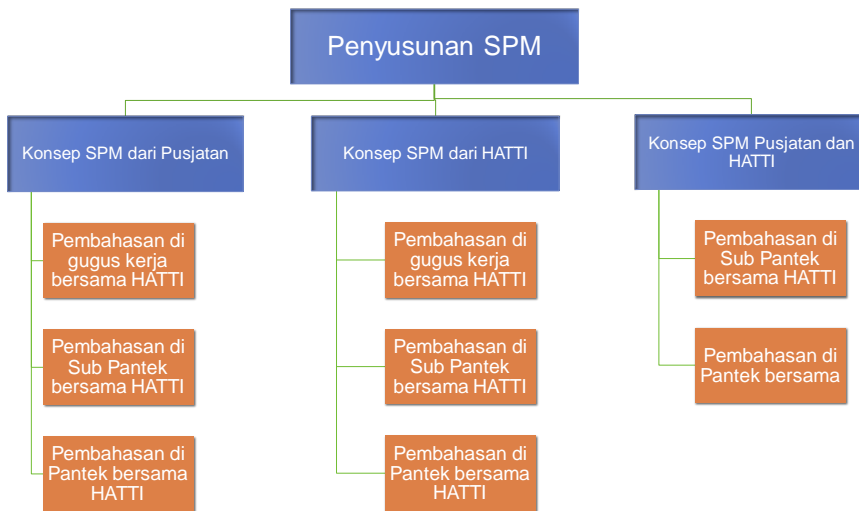
1 Pendahuluan

Pada tanggal 21 Oktober 2013 telah dilakukan penandatanganan Kesepakatan Bersama (MoU) antara Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia (HATTI) dan Badan Penelitian dan Pengembangan (Balitbang) Kementerian Pekerjaan Umum. Tujuan MoU tersebut adalah untuk kegiatan pengkajian dan penyusunan standar, pedoman dan manual (SPM) bidang geoteknik dan kegempaan.



Gambar 1. Skema MoU dan PKS

MoU dilatarbelakangi oleh kebutuhan untuk mensinergikan sumberdaya di Pusjatan dan HATTI dalam rangka penyusunan SPM (Gambar 1). Pusjatan, dalam hal ini Balai Geoteknik Jalan mengemban tugas dan fungsi untuk menyusun SPM. Program penyusunan SPM di Pusjatan bersifat rutin juga didukung oleh fasilitas-fasilitas penunjang seperti alat pengujian dan piranti lunak yang cukup lengkap. Namun demikian, akses HATTI terhadap pengesahan SPM kurang, di samping itu HATTI tidak memiliki program penyusunan SPM seperti Pusjatan. Akan tetapi HATTI didukung oleh SDM tenaga ahli dan jejaring yang lebih luas baik dari dalam maupun luar negeri. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada struktur dalam Gambar 2.

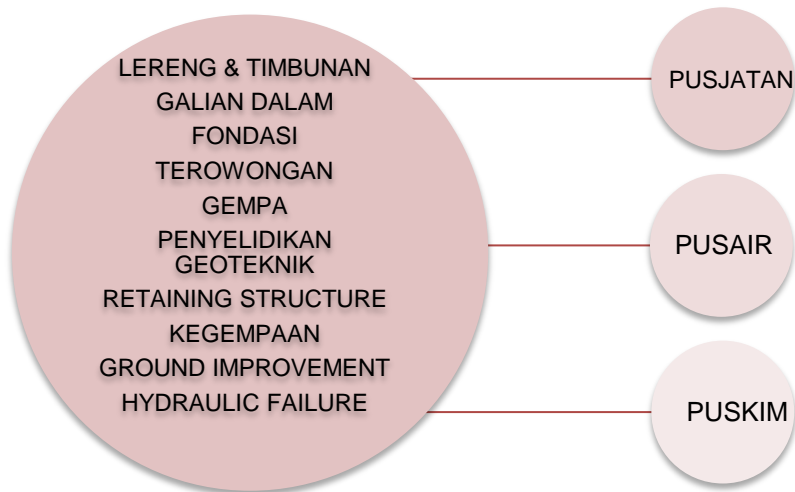


Gambar 2. Skema penyusunan SPM

Untuk itulah diperlukan sinergi antara HATTI dan Pusjatan untuk keberterimaan SPM, percepatan penyusunan SPM dan diseminasi SPM serta hasil litbang. Input dari pihak HATTI adalah berupa pakar, praktisi, akademisi serta jejaring dalam setiap tahap penelitian dan pengembangan.

HATTI dan Pusjatan (Balai Geoteknik Jalan) kemudian mensepakati pada tahun pertama kerjasama ini (tahun 2014) adalah melakukan kajian literatur untuk menyusun standar (code) persyaratan/peraturan perencanaan geoteknik karena saat ini *code* geoteknik yang komprehensif belum tersedia di lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum. Tidak adanya *code* tersebut dapat mengakibatkan terjadinya inkonsistensi pada pedoman-pedoman perencanaan turunannya. Sebagai contoh, Pedoman Geoteknik (*Geoguide*) dan Pedoman Manajemen Pekerjaan Tanah memberikan kriteria faktor keamanan (FK) stabilitas timbunan yang berbeda (FK dalam *Geoguide* adalah 1.4, sedangkan menurut Pedoman Manajemen Pekerjaan Tanah adalah 1.2). Inkonsistensi ini

dapat membingungkan pengguna, karena untuk perencanaan suatu konstruksi yang sama (timbunan) terdapat 2 (dua) kriteria yang berbeda. Bidang-bidang yang akan dikaji diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Bidang Kajian

Buku naskah ilmiah ini barulah memberikan gambaran umum persyaratan perencanaan untuk geoteknik (jalan) dan kegempaan. Di dalam perjalanannya nanti, persyaratan perencanaan ini akan terus dikembangkan lingkupnya dan dikinikan sesuai dengan kondisi perencanaan di Indonesia.

2 Gambaran Umum Standar Internasional untuk Geoteknik dan Kegempaan

Sebelum melangkah pada lingkup persyaratan perencanaan untuk geoteknik dan kegempaan, perlu dipahami terlebih dahulu definisi-definisi yang dikenal luas untuk mengartikan standar internasional.

2.1 Definisi Norma, Standar (Code), Pedoman dan Manual

Code, diterjemahkan menjadi kode, menurut Wikipedia (Wikipedia.org, 2014) adalah aturan untuk mengubah sepotong informasi (misalnya, surat, kata, frase, atau gesture) ke yang lain - biasanya disingkat atau rahasia - bentuk atau representasi (satu tanda ke tanda lain), belum tentu dari jenis yang sama. Dalam komunikasi dan pengolahan informasi, *encoding* adalah proses dimana informasi dari sumber diubah menjadi simbol untuk dikomunikasikan. *Decoding* adalah proses kebalikan, mengubah simbol kode ini kembali menjadi informasi yang dimengerti oleh penerima.

Kode di dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI *online*, 2014) diartikan sebagai tanda (kata-kata, tulisan) yang disepakati untuk maksud tertentu, kumpulan peraturan yang bersistem atau kumpulan prinsip yang bersistem.

Di lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum dikenal istilah NSPM, yaitu Norma, Standar, Pedoman dan Manual. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari website Sistem Informasi Manajemen Standar Kementerian Pekerjaan Umum, Norma didefinisikan sebagai aturan atau ketentuan yang mengikat sebagai panduan dan pengendali dalam melaksanakan kegiatan (PP No. 25 Tahun 2000).

Standar adalah spesifikasi teknis atau sesuatu yang dibakukan termasuk tata cara dan metode yang disusun berdasarkan konsensus semua pihak yang terkait dengan memperhatikan syarat-syarat keselamatan, keamanan, kesehatan, lingkungan hidup, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta pengalaman, perkembangan masa kini dan masa yang akan datang untuk memperoleh manfaat yang sebesar-besarnya. (PP No. 102 Tahun 2000).

Jika disandingkan dengan definisi dari Wikipedia, maka *code* atau kode bisa diartikan sebagai Standar. Standar di luar negeri dapat berupa standar teknis (*technical standard*) maupun referensi teknis (*standard reference* atau *technical reference*). Standar teknis merupakan norma yang ditetapkan atau persyaratan dalam kaitannya dengan sistem teknis. Ini biasanya merupakan dokumen formal yang menetapkan teknik yang seragam atau kriteria teknis, metode, proses dan praktek (Wikipedia.org, 2014).

Standar teknis dapat dibuat secara perseorangan atau bersama-sama, sebagai contoh US Army Engineering Corps di Amerika, atau asosiasi seperti the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). *Standar teknis menjadi wajib digunakan (mandatory), apabila diadopsi oleh pemerintah atau kontrak dalam suatu proyek* (Wikipedia.org, 2014).

Pedoman atau *guidelines* adalah acuan yang bersifat umum yang harus dijabarkan lebih lanjut dan dapat disesuaikan dengan karakteristik dan kemampuan daerah setempat. (PP No. 25 Tahun 2000). Definisi pedoman atau *guidelines* dalam Wikipedia (2014) adalah pernyataan yang digunakan untuk menentukan suatu tindakan. Pedoman bertujuan untuk merampingkan proses tertentu sesuai dengan praktik rutin atau suara ditetapkan. Menurut definisi, mengikuti pedoman tidak pernah wajib. Pedoman tidak mengikat dan tidak ditegakkan.

Manual adalah acuan operasional yang penerapannya disesuaikan dengan kebutuhan dan karakteristik setempat (PP No. 25 Tahun 2000). Manual menurut KBBI online (2014) adalah buku petunjuk praktis tentang suatu jenis pekerjaan atau tentang cara kerja suatu alat atau peranti tertentu. Rangkuman definisi *code*, norma, standar, pedoman dan manual dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rangkuman definisi norma, standar (code), pedoman dan manual

| | Definisi | | | | | |
|---------|--|--|---|--|---------------------------------|---|
| | PP No. 25 Th. 2000 | PP No. 10 Th.2010 | KBBI | Wikipedia | Eurocode | IBC |
| Code | - | - | Tanda (kata-kata, tulisan) yang disepakati untuk maksud tertentu, kumpulan peraturan yang bersistem atau kumpulan prinsip yang bersistem. | Aturan untuk mengubah sepotong informasi (misalnya, surat, kata, frase, atau gesture) ke yang lain - biasanya disingkat atau rahasia - bentuk atau representasi (satu tanda ke tanda lain), belum tentu dari jenis yang sama. | Aturan teknis (technical rules) | Dokumen teknis (technical document), dan setiap kata, istilah serta tanda baca dapat berdampak pada arti dari teks dan hasil yang diharapkan. |
| Norma | Aturan atau ketentuan yang mengikat sebagai panduan dan pengendali dalam melaksanakan kegiatan | - | Aturan atau ketentuan yang mengikat warga kelompok dalam masyarakat, dipakai sebagai panduan, tatanan, dan pengendali tingkah laku yang sesuai dan berterima: | Sebuah standar yang ditetapkan kinerja rata-rata orang dari usia tertentu, latar belakang, dll | - | - |
| Standar | - | Spesifikasi teknis atau sesuatu yang dibakukan termasuk tata cara dan metode yang disusun berdasarkan konsensus semua pihak yang terkait dengan memperhatikan syarat-syarat keselamatan, keamanan, | Sesuatu yang dianggap tetap nilainya sehingga dapat dipakai sebagai ukuran nilai (harga) | Standar teknis merupakan norma yang ditetapkan atau persyaratan dalam kaitannya dengan sistem teknis. Ini biasanya merupakan dokumen formal yang menetapkan teknik yang seragam atau kriteria teknis, metode, proses dan praktek | - | - |

| | | Definisi | | | | |
|----------------------|--|--|--|--|----------|-----|
| | PP No. 25 Th. 2000 | PP No. 10 Th.2010 | KBBI | Wikipedia | Eurocode | IBC |
| | | kesehatan, lingkungan hidup, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta pengalaman, perkembangan masa kini dan masa yang akan datang untuk memperoleh manfaat yang sebesar-besarnya | | | | |
| Pedoman (guidelines) | Acuan yang bersifat umum yang harus dijabarkan lebih lanjut dan dapat disesuaikan dengan karakteristik dan kemampuan daerah setempat | - | Kumpulan ketentuan dasar yang memberi arah bagaimana sesuatu harus dilakukan | Acuan yang bersifat umum yang harus dijabarkan lebih lanjut dan dapat disesuaikan dengan karakteristik dan kemampuan daerah setempat | - | - |
| Manual | Acuan operasional yang penerapannya disesuaikan dengan kebutuhan dan karakteristik setempat | | Buku petunjuk praktis tentang suatu jenis pekerjaan atau tentang cara kerja suatu alat atau peranti tertentu | | | - |

2.2 Ulasan Mengenai Bridge Management System (BMS)

2.2.1 Gambaran BMS

Sistem Manajemen Jembatan (Bridge Management System, BMS) diterbitkan oleh Direktorat Bina Program Jalan, Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan umum pada tahun 1992 – 1993. BMS merupakan produk kerjasama yang didanai oleh Indonesia dan Australia.

Sistem manajemen jembatan dalam BMS mencakup panduan untuk pemrograman, desain dan spesifikasi dan pemeriksaan jembatan. BMS terdiri dari 7 buku utama sebagai berikut:

1. *Bridge Design Code*.
Code ini diterjemahkan menjadi “Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan” dan terdiri dari dua bagian yaitu:
 - Bagian 1: Persyaratan Umum Perencanaan (DPU, 1992a)
 - Bagian 2: Persyaratan Tahan Gempa (DPU, 1992b)
2. *Bridge Design Manual*.
“Design Manual” diterjemahkan menjadi “Panduan Perencanaan” dalam BMS. *Design Manual* terdiri dari Volume 1 dan Volume 2.
3. *Bridge Investigation Manual*
Manual ini diterjemahkan menjadi “Panduan Penyelidikan Jembatan” yang berisi penyelidikan rencana jembatan dan penyelidikan tanah.
4. *Bridge Inspection Manual* yang diterjemahkan menjadi “Panduan Pemeriksaan Jembatan”.
5. *Standar Specification for Bridge Construction* yang terdiri dari Volume 1 dan Volume 2.
6. Panduan Prosedur Umum IBMS.

Panduan ini menjelaskan prosedur secara keseluruhan untuk mengikuti pelaksanaan Sistim Manajemen Jembatan = SMJ (Bridge Management System = BMS) di Indonesia

7. Panduan Rencana dan Program IBMS.

Tujuan panduan ini adalah untuk memberikan penjelasan mengenai prosedur-prosedur yang harus diikuti untuk menyusun program penanganan jembatan untuk jembatan-jembatan Nasional dan Propinsi.

Sama seperti halnya Eurocode, BMS menggunakan pendekatan kondisi batas yang terdiri dari kondisi ultimit (*ultimate limit state*, ULS) dan daya layan (*serviceability limit state*, SLS). Kondisi ULS terdiri dari (DPU, 1992):

- Kehilangan keseimbangan statis karena sebagian atau seluruh bagian jembatan geser, guling atau terangkat (*uplift*).
- Kerusakan sebagian jembatan akibat kelelahan dan/atau korosi, sampai suatu keadaan terjadi kehancuran.
- Keadaan purna-elastis (*post-elastic*) atau purna-tebuk (*post-buckling*) dimana satu bagian jembatan atau lebih mencapai kondisi runtuh.
- Kehancuran bahan fondasi yang menyebabkan pergerakan berlebih atau kehancuran bagian-bagian penting dari jembatan.

Kondisi SLS terdiri dari (DPU, 1992):

- Perubahan bentuk yang permanen pada bahan fondasi atau pada sebuah elemen penyangga utama setempat.
- Kerusakan permanen akibat korosi, retakan atau kelelahan.
- Getaran
- Banjir pada jaringan jalan dan tanah di sekitar jembatan dan kerusakan karena gerusan pada palung saluran, tepi sungai dan tanggul jalan.

Sehubungan dengan desain geoteknik, BMS mencakup:

1. *Bridge Design Code Volume 1, Bagian 4 – Fondasi.*

Bagian 4 ini mencakup kondisi desain, penentuan sifat-sifat tanah dan batuan, desain fondasi dangkal, desain fondasi dalam – tiang, desain bangunan bawah dan dinding penahan, desain gorong-gorong (box culvert) dan abutmen jembatan, desain pengangkeran (*anchorage*).

2. *Bridge Design Manual Volume 2, Bagian 8 – Fondasi.*

Bagian 8 *Manual* ini merupakan prosedur rinci untuk desain fondasi tiang, fondasi telapak dan sumuran, dinding penahan tanah dan desain stabilitas lereng.

3. *Bridge Investigation Manual, Bagian 3 – Penyelidikan Tanah.*

Bagian 3 *Manual* ini di antaranya mencakup cara eksplorasi tanah, pengujian lapangan dan laboratorium, serta penentuan parameter desain yang dikhususkan untuk parameter gempa, potensi likuifaksi, potensi longsor.

2.2.2 Perkembangan BMS menjadi SNI atau Pedoman

Sampai tulisan ini dibuat, belum teridentifikasi adanya catatan atau laporan yang terkait dengan adopsi atau adaptasi BMS menjadi standar atau pedoman di Puslitbang jalan dan Jembatan. Diduga BMS diterbitkan secara terpisah-pisah menjadi Standar Nasional Indonesia. Tim Penulis baru mengidentifikasi standar-standar perencanaan geoteknik sebagai berikut:

- SNI 03-3446-1994 Tata cara perencanaan teknik fondasi langsung untuk jembatan
- SNI 03-3447-1994 Tata cara perencanaan teknik fondasi sumuran untuk jembatan
- SNI 03-6747-2002 Tata cara perencanaan teknis fondasi tiang untuk jembatan

- SNI 03-2833- 2008 Standar perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan (status saat ini sedang dalam proses revisi)

Terlihat bahwa jika dibandingkan dengan *code* atau peraturan desain BMS, standar yang berisi peraturan (atau persyaratan perencanaan) di bidang geoteknik masih sangat tidak lengkap. Sebagai contoh, peraturan yang belum ada standarnya adalah penentuan sifat-sifat tanah dan batuan, dinding penahan, desain gorong-gorong (box culvert) dan abutmen jembatan, desain pengangkuran (*anchorage*). Selain itu, pedoman-pedoman untuk konstruksi-konstruksi tersebut pun belum dapat ditelusuri.

2.3 Ulasan Mengenai Eurocode

2.3.1 Perkembangan Eurocode

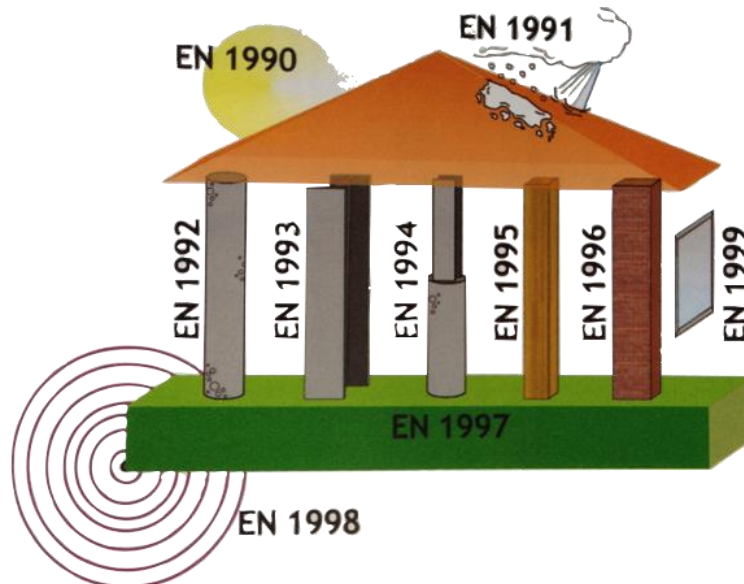
Generasi pertama Eurocode dikembangkan pada tahun 1980-an di bawah koordinasi *Comission of the European Community* atau Panitia Komunitas Eropa (Bond & Harris, 2008). Tugas Komisi tersebut adalah untuk menghasilkan peraturan-peraturan teknis yang harmonis untuk menggantikan standar-standar nasional untuk desain pekerjaan konstruksi di seluruh Eropa.

Pada tahun 1989, para Panitia dan negara-negara di uni eropa dan *European Free Trade Association* (EFTA) mendelegasikan tanggung jawab pembuatan *Structural Eurocodes* pada *European Committee for Standardization* (atau dikenal sebagai CEN, dari singkatan bahasa Perancis *Committee Europeen de Normalisation*).

Antara tahun 1991 dan 1999, versi draft dari *Structural Eurocodes* diterbitkan sebagai pra-standar (ENV atau *Euro Norm Vornorm*) yang. ENV tersebut hanya berlaku 3 tahun dan setelah pengalaman yang didapatkan ketika menerapkan ENV tersebut digunakan untuk

memodifikasi ENV sehingga dapat disahkan menjadi standar Eropa (EN atau *European Norm*).

Sampai saat ini, Eurocode terdiri dari 10 standar untuk desain bangunan dan pekerjaan sipil seperti diilustrasikan pada Gambar 4. Berdasarkan *CEN/CENELEC International Regulations*, Eurocode telah diimplementasikan oleh negara Austria, Belgia, Republik Czech, Denmark, Finlandia, Perancis, Jerman, Yunani, Iceland, Irlandia, Italia, Luxembourg, Malta, Belanda, Norwegia, Portugis, Spanyol, Sweden, Switzerland and the Inggris (BS EN 1990:2002).



| | | | |
|---------|---|---------|---|
| EN 1990 | <i>Basis of structural design (Eurocode)</i> | EN 1995 | <i>Design of timber structures (Eurocode 5)</i> |
| EN 1991 | <i>Actions on structures (Eurocode 1)</i> | EN 1996 | <i>Design of masonry structures (Eurocode 6)</i> |
| EN 1992 | <i>Design of concrete structures (Eurocode 2)</i> | EN 1997 | <i>Geotechnical Design (Eurocode 7)</i> |
| EN 1993 | <i>Design of steel structures (Eurocode 3)</i> | EN 1998 | <i>Design of structures for earthquake (Eurocode 8)</i> |
| EN 1994 | <i>Design of composite steel and concrete structures (Eurocode 4)</i> | EN 1999 | <i>Design of aluminium structures (Eurocode 9)</i> |

Gambar 4. Ilustrasi Eurocode

Badan Standarisasi Nasional (*National Standards Bodies, NSB*) dari setiap negara-negara Eropa bertanggung jawab untuk mempublikasikan Eurocode sebagai standar nasional dengan status legal yang sama. NSB dapat menterjemahkan Eurocode dari teks CEN yang resmi (yang dipublikasikan dalam bahasa Inggris, Perancis dan Jerman), tapi tidak boleh menyimpang dari teks tersebut atau mengubah isi teks tersebut. NSB harus mempertahankan imbuhan EN pada standar nasional-nya, misalnya untuk EN 1990, penomorannya adalah:

- BS EN 1990 di Inggris
- DIN EN 1990 di Jerman
- NF EN 1990 di Perancis

Setiap negara dapat menambahkan *National Title Page*, *National Foreword*, dan *National Annex* pada setiap bagian Eurocode. *National Annex* terdiri dari:

1. *Nationally Determined Parameters* (NDP). NDP adalah parameter-parameter yang masih terbuka untuk dipilih oleh setiap negara. NDP salah satunya terdiri dari faktor parsial.
2. Data spesifik negara (*Country Specific Data*). Data ini berhubungan dengan kondisi geografis yang relevan untuk suatu negara, misalnya kurva yang menggambarkan tekanan angin.
3. Prosedur yang digunakan jika diperbolehkan untuk memilih. Beberapa Eurocode memperbolehkan pemilihan beberapa prosedur jika suatu prosedur tunggal tidak dapat disetujui oleh panitia yang membuat.
4. *Guidance on the informative annexes* (panduan terhadap lampiran informatif). Lampiran informatif dapat memberikan panduan terhadap status setiap lampiran informatif dari beberapa Eurocode

yang terkait. Lampiran informatif dapat ditingkatkan statusnya menjadi normatif (wajib) atau dihapuskan.

5. *Reference to non-contradictory, complementary information (NCCI)*. Lampiran Nasional dapat memberikan acuan yang disebut informasi yang tidak kontradiksi atau informasi tambahan (*NCCI*). *NCCI* dapat berupa pedoman desain lainnya yang mendukung Eurocode terkait. Jika terjadi kontradiksi, Eurocode yang diutamakan.

Selain Eurocode, di Eropa juga tersedia standar konstruksi untuk pekerjaan geoteknik. Seperti halnya Eurocode, penulisan imbuhan EN diwajibkan untuk standar pelaksanaan pekerjaan. Standar pelaksanaan pekerjaan geoteknik tersebut di antaranya adalah:

- BS EN 1536:2010. *Execution of special geotechnical works. Bored piles*
- BS EN 1537:2013. *Execution of special geotechnical works. Ground anchors*
- BS EN 12063:1999. *Execution of special geotechnical work. Sheet pile walls*
- BS EN 12715:2000. *Execution of special geotechnical work. Grouting*
- BS EN 12716:2001. *Execution of special geotechnical works. Jet grouting*
- BS EN 12699:2001. *Execution of special geotechnical work. Displacement piles*
- BS EN 14199:2005. *Execution of special geotechnical works. Micropiles*
- BS EN 14475:2006. *Execution of special geotechnical works. Reinforced fill*
- BS EN 14679:2005. *Execution of special geotechnical works - Deep mixing*

- BS EN 15237:2007. *Execution of special geotechnical works. Vertical drainage*

2.3.2 Contoh Implementasi Eurocode di Inggris

Dalam rangka implementasi Eurocode, standar-standar “residual” yang telah terbit di Inggris mulai ditarik (Bond dan Harris, 2008). *Code of Practice for Foundations* (BS 8004:2004), *Code of Practice for Earth Retaining Structures* (BS 8002:1994) merupakan beberapa standar-standar Inggris yang ditarik dan diganti dengan Eurocode 7 (BS EN 1997-1:2004).

Inggris (melalui British Standard Institution selaku NSB atau *national standard body*) juga menerbitkan National Annex terhadap Eurocode. Sebagai contoh, UK National Annex for Eurocode — Basis of structural design (NA to BS EN 1990:2002+A1:2005) yang di antaranya berisi NDP (*nationally determined parameter*) untuk pekerjaan sipil, pekerjaan bangunan, dan untuk jembatan.

Selain *National Annex*, Inggris juga menerbitkan *code of practice* yang bersifat NCCI (*non-contradictory, complementary information*). Contohnya, British Standard Institution menerbitkan *Code of Practice for Earthworks* (BS 6031:2009) sebagai NCCI terhadap Eurocode 7 (BS EN 1997-1).

Code of practice juga diterbitkan oleh Inggris ketika tidak tersedia standar perencanaannya dalam Eurocode. Salah satu contohnya adalah *Code of Practice for Strengthened/ Reinforced Soils And Other Fills* (BS 8006-1:2010). Akan tetapi BS 8006:2010 tersebut tetap merujuk pada Eurocode dan tidak overlap dengan Eurocode pada suatu bagian desain yang sudah ada dalam Eurocode. Sebagai contoh, desain tiang dari konstruksi *piled embankment* terhadap beban transversal, tekuk, geser, lentur dan lainnya harus mengacu pada BS EN 1997-2:2004.

2.3.3 Eurocode dan Eurocode 7

Eurocode (BS EN 1990:2002+A1:2005) *Basis of Structural Design* merupakan dokumen inti dari seluruh Eurocode dan menjelaskan prinsip-prinsip dan persyaratan-persyaratan untuk keselamatan, daya layan (*serviceability*) dan durabilitas struktur (Bond dan Harris, 2008).

Persyaratan perencanaan dalam Eurocode (BS EN 1990:2002+A1:2005) mencakup:

- Persyaratan dasar (*basic*) yang mencakup prinsip-prinsip perencanaan. Prinsip tersebut adalah persyaratan bahwa suatu struktur harus dapat menahan semua beban (*actions*) dan pengaruh yang mungkin timbul, dan mempunyai ketahanan struktural, durabilitas dan daya layan yang memadai.
- Umur rencana
- Manajemen keandalan
- Durabilitas
- Manajemen mutu

Eurocode didasarkan pada prinsip-prinsip kondisi batas (*limit states*) yang terdiri dari kondisi batas ultimit (*ultimate limit state, ULS*) dan kondisi batas daya layan (*serviceability limit state, SLS*). ULS berhubungan dengan keamanan manusia dan struktur, misalnya kehilangan keseimbangan, deformasi berlebih, runtuh, kehilangan stabilitas, transformasi dari struktur menjadi suatu mekanisme, dan fatik. SLS berhubungan dengan berfungsinya struktur pada penggunaan normal, kenyamanan manusia, dan penampakan pekerjaan konstruksi (defleksi dan retak berlebih, bukan estetik). Faktor keamanan parsial (*partial safety factors*) diberlakukan untuk parameter tanah, stabilitas global (*overall stability*) dan *effects of action*.

Eurocode 7 terdiri dari 2 bagian yaitu: *General Rules* dan *Ground Investigation and Testing* yang merupakan buku terpisah. Bagian 1 berisi peraturan-peraturan umum yang diantaranya mencakup di antaranya:

- *Basis of geotechnical design*
- *Geotechnical data*
- *Supervision of construction, monitoring and maintenance*
- *Fill, dewatering, ground improvement and reinforcement*
- *Spread foundations*
- *Pile foundations*
- *Anchorage*
- *Retaining structures*
- *Hydraulic failure*
- *Overall stability* .
- *Embankments*

2.4 Ulasan mengenai International Building Code (IBC)

2.4.1 Perkembangan IBC

Sejak awal tahun 1900an, sistem yang menyusun regulasi di Amerika sudah berdasarkan *model building codes* yang dikembangkan oleh tiga regional *model code groups*. Code (standar) yang dikembangkan oleh Building Officials Code Administrators International (BOCA) yang digunakan di Pantai Timur dan di seluruh Midwest Amerika Serikat, sedangkan standar dari Southern Building Code Congress International (SBCCI) yang digunakan di wilayah Southeast dan standar diterbitkan oleh International Conference of Building Officials (ICBO) meliputi Pantai Barat dan menyeberang ke sebagian besar Midwest. Meskipun pembuatan standar daerah (regional) telah efektif dan responsif terhadap kebutuhan regulasi yurisdiksi lokal,

sejak awal 1990-an menjadi jelas bahwa Amerika membutuhkan satu set standar nasional yang terkoordinasi tunggal. Untuk itu dibentuk International Code Council (ICC) untuk mengembangkan standar yang akan memiliki keterbatasan regional pada tahun 1994.

Edisi pertama dari International Building Code diterbitkan pada tahun 1997. Standar ini mengikuti tiga standar sebelumnya yang dikembangkan oleh organisasi yang mendirikan ICC. Pada tahun 2000, ICC telah menyelesaikan rangkaian Standar Internasional dan menghentikan pengembangan lebih lanjut dari standar-standar pendahulunya.

Sebagian besar isi dari International Building Code berkaitan dengan pencegahan kebakaran. Ini berbeda dengan International Fire Code (IFC) di Amerika, karena IBC membahas pencegahan kebakaran dalam hal konstruksi dan desain, sedangkan IFC membahas pencegahan kebakaran setelah gedung beroperasi.

Salah satu contohnya, IBC menetapkan kriteria jumlah, ukuran dan lokasi akses keluar dalam desain bangunan, sedangkan IFC mensyaratkan agar akses keluar dari gedung yang sudah beroperasi tidak terblokir. IBC juga membahas mengenai akses bagi penyandang cacat serta membahas ketahanan struktur gedung (termasuk gempa). IBC dapat digunakan di seluruh wilayah yang mengadopsinya, kecuali yang ditetapkan di dalam International Residential Code.

Beberapa bagian dari standar ini merujuk ke standar lain, termasuk International Plumbing Code, International Mechanical Code, National Electric Code, dan berbagai standar dari National Fire Protection Association. Oleh karena itu, jika suatu kotamadya mengadopsi IBC, harus mengadopsi juga bagian-bagian dari standar lainnya yang direferensikan oleh IBC.

IBC (edisi terakhir, 2012) terdiri dari 653 halaman dan meliputi 35 pasal sebagai berikut:

- | | |
|--|---|
| 1. <i>Scope and administration</i> | 1. <i>Concrete</i> |
| 2. <i>Definitions</i> | 2. <i>Aluminium</i> |
| 3. <i>Use and occupancy classification</i> | 3. <i>Masonry</i> |
| 4. <i>Special detailed requirements based on use and occupancy</i> | 4. <i>Steel</i> |
| 5. <i>General building height and areas</i> | 5. <i>Wood</i> |
| 6. <i>Types of construction</i> | 6. <i>Glass and glazing</i> |
| 7. <i>Fire and smoke protection features</i> | 7. <i>Gypsum board and plaster</i> |
| 8. <i>Interior finishes</i> | 8. <i>Plastic</i> |
| 9. <i>Fire protection systems</i> | 9. <i>Electrical</i> |
| 10. <i>Means of egress (sarana/utilitas)</i> | 10. <i>Mechanical systems</i> |
| 11. <i>Accessibility</i> | 11. <i>Plumbing systems</i> |
| 12. <i>Interior environment</i> | 12. <i>Elevators and conveying systems</i> |
| 13. <i>Energy efficiency</i> | 13. <i>Special construction</i> |
| 14. <i>Exterior walls</i> | 14. <i>Encroachments into the public right of way</i> |
| 15. <i>Roof assemblies and rooftop structures</i> | 15. <i>Safeguards during construction</i> |
| 16. <i>Structural design</i> | 16. <i>Existing structures</i> |
| 17. <i>Structural tests and special inspections</i> | 17. <i>Referenced standards</i> |
| 18. <i>Soil and foundations</i> | |

2.4.2 Cakupan IBC 2012

IBC 2012 memuat isi yang sama dengan edisi awalnya, dengan beberapa perubahan yang terdapat pada edisi 2003, 2006 dan 2009 serta perubahan-perubahan selanjutnya yang disetujui oleh ICC Code Development Process selama tahun 2010. Edisi baru disusun setiap 3 tahun.

IBC edisi 2012 menetapkan regulasi minimum untuk sistem bangunan melalui persyaratan yang menekankan kinerja. Standar ini memiliki prinsip yang berbasis luas sehingga memungkinkan penggunaan

bahan baru dan desain gedung baru. IBC 2012 kompatibel dengan semua International Codes (I-Codes) di Amerika yang dipublikasikan oleh International Code Council (ICC).

IBC dapat diadopsi dan digunakan oleh yuridiksi secara internasional. Penggunaannya dalam wilayah hukum pemerintah harus melalui adopsi, dengan referensi yang sesuai dengan proses pembentukan hukum yuridiksi itu. Pada saat adopsi harus disertakan informasi yang spesifik seperti nama yuridiksi yang mengadopsi standar tersebut. Di dalam standar dan undang-undangnya, informasi tersebut diperlihatkan dalam tanda kurung dan dengan huruf kecil.

Sebagai model codes, IBC juga dapat diadopsi sebagai standar penunjang (*complimentary codes*). Saat diadopsi bersamaan, tidak diperbolehkan terjadi konflik antar ketentuan teknis.

2.4.3 Pemeliharaan IBC 2012

IBC disusun agar tetap terkini (*up to date*) dengan mengkaji setiap perubahan yang diusulkan oleh pejabat penyusun standar, perwakilan industri, para perencana profesional dan pihak-pihak lain yang tertarik. Usulan perubahan dikaji melalui proses terbuka dimana seluruh pihak yang berkepentingan dapat terlibat.

Terkait dengan pengembangan I-Codes tahun 2015, maka akan dibuat dua komite pengembangan standar di Amerika. Kedua komite ini akan bekerja pada tahun yang berbeda. Luaran dari kedua komite ini adalah Standar Grup A dan Standar Grup B. IBC masuk ke Standar Grup A bersama dengan International Fuel Gas Code, Mechanical Code, Plumbing Code dan Private Sewage Disposal Code.

2.4.4 IBC 2012, Pasal 18 Soil and Foundation

IBC 2012 didasarkan pada prinsip-prinsip perencanaan tegangan izin (*allowable stress design, ASD*). Di dalam ASD dipastikan bahwa

tegangan yang terjadi di dalam struktur akibat beban layan tidak melebihi limit elastiknya, penentuannya yaitu tegangan yang terjadi tidak melebihi limit elastisk dengan menggunakan suatu faktor keamanan.

Pasal 18 dalam IBC 2012 meliputi persyaratan minimum desain, konstruksi serta ketahanan sistem fondasi bangunan dan struktur lain terhadap instrusi air. Pasal ini memberikan kriteria geoteknik dan struktur untuk pemilihan dan pemasangan struktur penopang/penyangga beban yang ditransfer dari struktur atas bangunan. Ketidakpastian konstruksi fondasi menyulitkan pembuatan standar mengenai potensi keruntuhan fondasi.

Dalam pasal ini juga dibahas persyaratan penyelidikan tanah dan persiapan lokasi fondasi, termasuk nilai kapasitas dan tahanan izin tanah serta proteksi fondasi dari intrusi air. Pasal 1808 membahas persyaratan dasar untuk seluruh jenis fondasi. Pasal selanjutnya khusus membahas persyaratan fondasi dangkal dan fondasi dalam. Dibutuhkan ketelitian dalam perencanaan sistem fondasi melalui pengumpulan data tanah yang sesuai, prosedur yang diterima, pengalaman dan pertimbangan teknis yang baik.

Pasal 18 IBC 2012 meliputi 8 sub pasal sebagai berikut:

1. *Geotechnical investigations*
2. *Excavation, grading and fill*
3. *Dampproofing and waterproofing*
4. *Presumptive load-bearing values of soils*
5. *Foundation walls, retaining walls and embedded posts and poles*
6. *Foundations*
7. *Shallow foundations*
8. *Deep foundations*

2.5 Ulasan Mengenai AASHTO

2.5.1 Perkembangan AASHTO

Standar nasional pertama dari Amerika yang dipublikasikan secara internasional untuk desain dan konstruksi jembatan dikeluarkan pada tahun 1931 oleh American Association of State Highway Officials (AASHO), pendahulu AASHTO. Dengan munculnya mobil dan pembentukan Departemen Jalan Raya di semua negara bagian Amerika, sejak sebelum pergantian abad, desain, konstruksi, dan pemeliharaan jembatan di Amerika menjadi tanggung jawab departemen ini. Para ahli bertindak secara kolektif sebagai AASHTO Highway Subcommittee on Bridges and Structures, dan menjadi penulis serta pencetus standar jembatan pertama.

Publikasi pertama AASHTO berjudul *Standard Specifications for Highway Bridges and Incidental Structures*. Dengan cepat menjadi standar nasional *de facto* dan, dengan demikian, diadopsi dan digunakan oleh tidak hanya Departemen Jalan Raya tetapi juga otoritas jembatan dan lembaga di Amerika Serikat serta luar negeri. Tiga kata terakhir pada judul aslinya kemudian dihilangkan dan diterbitkan kembali setiap empat tahun dengan edisi final ke-17 tahun 2002 berjudul *Standard Specifications for Highway Bridges*.

Pada tahun 1986, Subkomite jalan dan struktur di Amerika mengajukan permintaan untuk mengambil alih spesifikasi desain jembatan, dan untuk mengkaji spesifikasi serta standar (*code*) dari luar negeri. Luaran yang diharapkan adalah dapat memberikan alternatif filosofi desain untuk yang tercantum dalam spesifikasi serta memberikan rekomendasi. Pekerjaan ini selesai pada tahun 1987 di bawah arahan NCHRP dan Transportation Research Board (TRB). Namun demikian spesifikasi tersebut dianggap tidak memasukkan filosofi desain terkini, yaitu desain beban dan tahanan terfaktor (LRFD).

Dari sejak ditemukan, hingga awal 1970an filosofi desain tunggal dalam spesifikasi standar dikenal sebagai perencanaan tegangan kerja (*working stress design*, WSD). Pada awal 1970an, WSD mulai disesuaikan agar dapat mencerminkan prediksi variabel beban. Filosofi desainnya disebut sebagai desain beban terfaktor (*load factor design*, LFD). WSD dan LFD ada di dalam spesifikasi standar.

Filosofi desain selanjutnya dibuat dengan mempertimbangkan variasi parameter struktur, sama seperti variasi beban. Karena keterbatasan LFD, maka diperhitungkan beban dan tahanan terfaktor atau LRFD ke dalam desain. Meskipun LRFD bergantung pada penggunaan metode statistika, namun hasilnya dapat langsung digunakan oleh para perencana jembatan.

Dengan semakin berkembangnya spesifikasi tersebut, maka terdapat dua pilihan untuk perencanaan, yaitu standar lama AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges, atau standar baru AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, dan acuan penunjangnya, AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications serta AASHTO LRFD Movable Highway Bridge Design Specifications. Selanjutnya FHWA dan negara-negara bagian telah berhasil memasukkan standar LRFD ke dalam konsep desain jembatan terbaru pada tahun 2007.

2.5.2 Cakupan AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (2012)

AASHTO LRFD Bridge Design Specifications edisi keenam terdiri dari 15 pasal dan indeks, sebagai berikut:

1. *Introduction*
2. *General design and location features*
3. *Loads and load factors*
4. *Structural analysis and evaluation*
5. *Concrete structures*

6. *Steel structures*
 7. *Alumunium structures*
 8. *Wood structures*
 9. *Decks and deck systems*
 10. *Foundations*
 11. *Abutments, piers, and walls*
 12. *Buried structures and tunnel liners*
 13. *Railings*
 14. *Joints and bearings*
 15. *Design of sound barriers*
- Index

2.6 Ulasan Mengenai ICOLD

ICOLD atau International Commission On Large Dams adalah sebuah komisi atau dewan bendungan yang dibentuk di Paris pada tahun 1928. Pada awalnya ICOLD merupakan komisi dari WEC dan saat ini terdiri dari 85 negara anggota serta 10.000 jumlah anggota.

ICOLD menetapkan pedoman atau *guidelines* untuk memastikan bahwa bendungan yang dibangun aman, ekonomis dan mengikuti kaidah-kaidah lingkungan serta sosial. Lingkup aktivitas ICOLD meliputi:

- Keamanan bendungan
- Dampak sosial
- Dampak lingkungan
- Informasi kepada publik
- Analisis biaya
- Monitoring kinerja

- Analisis ulang bendungan-bendungan lama
- Efek penambahan umur konstruksi
- Pembagian sungai internasional
- Pengembangan *river basin*

Publikasi yang telah dikeluarkan oleh ICOLD adalah dalam bentuk prosiding, bulletin, kamus dan buku pedoman.

2.7 Standar, Pedoman dan Code Internasional yang Dikaji

Pada tahap awal, standar, pedoman atau manual yang telah dikaji disusun ke dalam bentuk tabel-tabel perbandingan standar dan pedoman geoteknik dan kegempaan untuk memudahkan komparasi. Pada prinsipnya, standar, pedoman dan *code* internasional mengenai geoteknik dan kegempaan yang dikaji diperlihatkan pada Tabel 2. Pada Tabel 2 juga digambarkan secara singkat klasifikasi, penerapan standar, lingkup, peruntukan (aplikasi) serta metode desain masing-masing rujukan.

Dari hasil pengkajian tersebut dapat terlihat bahwa persyaratan perencanaan geoteknik untuk jalan, penyusunannya dapat merujuk ke Eurocode 7 (BS EN 2004 dan 2007), sedangkan untuk bangunan gedung dapat merujuk ke IBC (2012). Untuk persyaratan perencanaan jembatan dan struktur lainnya bisa merujuk ke BMS Code (1992) dan AASHTO (2012). Mengenai bangunan air atau geoteknik keairan yang spesifik untuk persyaratan perencanaan bendungan, dapat mengacu ke publikasi-publikasi yang dikeluarkan oleh ICOLD (1987-2012). Persyaratan perencanaan kegempaan dapat mengacu ke Eurocode 8 (BS EN 2004) dan IBC (2012), namun keduanya secara eksplisit sebenarnya ditujukan untuk bangunan gedung.

Tabel 2. Standar, Pedoman, Code Mengenai Geoteknik dan Kegempaan yang Dikaji

| No. | Rujukan Kriteria | | Luar negeri | | | | | | | Indonesia | | |
|-----|---------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| | | | Eurocode 7 (2004 dan 2007) | Eurocode 8 (2004) | ICOLD (1987-2012) | AASHTO LRFD Bridge (2012) | IBC (2012) | Geocode 21 (1997-2004) | BMS (1992-1993) | SNI 1726 (2012) | Geoguide (2001) | Pedoman Manajemen Pekerjaan Tanah (2006) |
| 1 | Klasifikasi | <i>Code</i> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| | | <i>Technical standard</i> | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | |
| | | <i>Guideline/Manual</i> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2 | Penerapan standar | <i>de facto standard/mandatory</i> atau diwajibkan | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| | | <i>not mandatory</i> atau tidak diwajibkan | | | | | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3 | Lingkup | Perencanaan | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | | Pelaksanaan | | | <input checked="" type="checkbox"/> | - | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | | Pemeliharaan | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4 | Peruntukan | Bangunan gedung | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| | | Jalan | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | | Jembatan | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| | | Bangunan air | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | |
| | | Kegempaan | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | | | |
| 5 | Metode desain | <i>Allowable Stress Design (ASD)</i> | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | | <i>Ultimate Limit State (ULS)</i> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | |
| | | <i>Serviceability Limit</i> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | |

| No. | Rujukan Kriteria | | Luar negeri | | | | | | | Indonesia | | |
|-----|---------------------|--|----------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|------------|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| | | | Eurocode 7 (2004 dan 2007) | Eurocode 8 (2004) | ICOLD (1987-2012) | AASHTO LRFD Bridge (2012) | IBC (2012) | Geocode 21 (1997-2004) | BMS (1992-1993) | SNI 1726 (2012) | Geoguide (2001) | Pedoman Manajemen Pekerjaan Tanah (2006) |
| | | State (SLS) | | | | | | | | | | |
| | | Load and Resistance Factored Design (LRFD) | | | | ☑ | | | | | | |
| | | Material factoring Approach (MFA) | ☑ | | | | | ☑ | | | | |
| | | Resistance Factor Approach (RFA) | | | | | | ☑ | | | | |

3 Gambaran Umum SPM untuk Geoteknik dan Kegempaan di Indonesia

Setelah mengenal arti standar internasional, bab ini akan mengulas standar-standar perencanaan bidang ke-PUan yang ada di Indonesia, terutama standar-standar terkait geoteknik dan kegempaan.

3.1 Kebutuhan akan Standar Geoteknik dan Kegempaan di Indonesia

Pada awal penyusunan Standar Persyaratan Perencanaan Geoteknik dan Kegempaan, dilakukan pertemuan-pertemuan dengan pakar, praktisi, akademisi yang terkait dengan geoteknik jalan dan jembatan, geoteknik keairan dan geoteknik untuk struktur bangunan. Pertemuan dan diskusi penelaahan dilaksanakan oleh Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia (HATTI), Puslitbang Jalan dan Jembatan, Puslitbang Sumber Daya Air dan Puslitbang Permukiman.

Dari hasil diskusi, disimpulkan bahwa Indonesia belum memiliki standar mengenai geoteknik dan Indonesia perlu menyiapkan standar tersebut untuk persiapan menghadapi pasar bebas, dimana semua standar asing dapat masuk ke Indonesia.

Standar prioritas yang harus segera disusun adalah mengenai fondasi, stabilitas lereng, galian dalam, kegempaan dan terowongan. Selain itu, standar perencanaan pelabuhan juga belum dimiliki, sehingga saat ini perencanaan masih menggunakan standar dari Jepang dan Amerika. Standar untuk jembatan kereta api masih merujuk pula pada standar Jepang, karena belum dimiliki.

Di samping standar prioritas yang disebutkan di atas, standar baku yang dapat digunakan secara nasional mengenai pengujian geoteknik juga belum tersedia. Sebagai contoh, belum ada standar mengenai jumlah uji, ketentuan mengenai pengujian Standard Penetration Test (SPT) bermacam-macam, dan sondir mekanis juga telah dikeluarkan dari standar ASTM sehingga perlu mulai mempertimbangkan penggunaan sondir elektrik.

Isu penting terkait bidang permukiman yang perlu segera dimiliki standarnya adalah mengenai galian dalam perkotaan dan fondasi, dan dalam hal ini untuk kegempaan bangunan.

Hal mendasar yang sangat penting adalah mengenai konsep perencanaan, dimana pada jembatan, konsep Load and Resistance Factored Design (LRFD) baru berlaku untuk bangunan atas, sedangkan bangunan bawah masih mengacu pada konsep Working Stress Design (WSD). Dengan demikian perlu dipikirkan pula mengenai konversi dari WSD ke LRFD dalam aplikasinya. Pada SNI 1726-2012, konsep LRFD sudah dimasukkan pula sebagai salah satu opsi.

3.2 Pengelompokan SPM Geoteknik dan Kegempaan di Puslitbang Jalan dan Jembatan

SPM Geoteknik dan Kegempaan di Puslitbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan) dikelompokkan menjadi:

1. SPM Pekerjaan tanah dan perbaikan tanah;
2. SPM Fondasi;
3. SPM Rekayasa lereng;
4. SPM Standar tata cara pengujian ekspansif;

5. SPM Tata cara pengujian geosintetik;
6. SPM Standar tata cara pengujian geoteknik;
7. SPM Tata cara pengujian instrumentasi
8. SPM Gempa

Berikut adalah uraian acuan-acuan yang digunakan untuk penyusunan SPM tersebut di atas.

1. SPM Pekerjaan tanah dan perbaikan tanah;

Acuan untuk SPM yang berbentuk pedoman umumnya adalah SNI dan pedoman-pedoman internal lainnya yang berlaku di Pusjatan. Pedoman-pedoman internal tersebut umumnya tidak mengacu pada satu sumber tapi dari beragam sumber. Khusus untuk SPM dalam bentuk standar tata cara pengujian, acuannya adalah SNI, ASTM dan AASHTO.

2. SPM Fondasi;

Tata cara perencanaan yang berhasil diidentifikasi merupakan tata cara yang terkait dengan bidang fondasi untuk bangunan jembatan. Dari 6 judul tata cara perencanaan mengenai fondasi, hanya 1 judul yang tertelusur acuannya, 5 lainnya hingga saat ini belum dapat ditelusuri. Acuan yang digunakan pada 1 judul yg tertelusur adalah SNI, ASTM dan AASHTO.

3. SPM Rekayasa lereng;

Umumnya SPM rekayasa lereng adalah berupa pedoman. Dengan posisinya sebagai pedoman maka dimungkinkan untuk menggunakan berbagai sumber sebagai acuan. Acuan-acuan tersebut di antaranya, yaitu SNI, ASTM, AASHTO, Hasil Litbang TRRL – Pusjatan, FHWA, ACI, PBI 1971. Namun secara garis besar, acuan umum yang digunakan adalah SNI, ASTM dan AASHTO.

4. SPM Standar tata cara pengujian ekspansif;

Standar tata cara pengujian tanah ekspansif mengacu pada SNI dan bila ditinjau lebih dalam lagi maka acuan yang digunakan dalam SNI tersebut adalah ASTM dan AASHTO. Hal ini dimungkinkan karena pengujian indeks pada kedua standar tersebut memiliki prosedur dan alat yang sama.

5. SPM Tata cara pengujian geosintetik;

Acuan yang digunakan dalam standar tata cara pengujian geosintetik adalah ISO dan ASTM, dengan prioritas acuan ISO. Kedua acuan ini secara bertahap diterjemahkan dan merevisi SNI geosintetik yang sudah ada sebelumnya yang diterbitkan oleh Kemenperin. Pada prakteknya, kedua acuan tersebut merupakan acuan yang umum digunakan oleh industri untuk pengujian geosintetik untuk itu perlu untuk dijadikan SNI.

6. SPM Standar tata cara pengujian geoteknik;

Untuk pengujian geoteknik, sumber utama acuan standar tata cara pengujian adalah ASTM. Namun acuan AASHTO dijadikan juga sebagai acuan untuk pengujian yang sama. Selain ASTM dan AASHTO, SNI lama juga tetap dijadikan acuan untuk revisi SNI baru, mungkin agar tetap dapat tertelusur (Walaupun sebenarnya hal tersebut tidak tepat dilakukan, karena begitu SNI baru keluar, maka otomatis yang lama akan terabolisi/ditarik dari peredaran).

7. SPM Tata cara pengujian instrumentasi

Dari 6 tata cara pengujian instrumentasi, 3 tata cara mengacu pada ASTM dan 3 tata cara tidak tertelusur acuannya.

8. SPM Perencanaan gempa untuk jembatan

Terdapat dua pedoman perencanaan gempa untuk jembatan, yaitu Pd-T-04-2004-B Perencanaan beban gempa untuk jembatan, dan SNI 2833:2008 Standar perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan, dimana SNI 2833:2008 merujuk ke AASHTO (2010).

Dari hasil penelusuran, dapat disimpulkan bahwa banyak SPM yang ketertelusuran acuan awalnya sulit dilakukan karena begitu SPM tersebut direvisi, maka yang ditulis dalam pasal acuan adalah nomer SNI atau Pedomannya dan bukan sumber adopsinya. Hal ini mungkin dikarenakan SPM tersebut tidak mengacu pada satu standar tapi banyak referensi. Hal ini menjadi kendala karena sulitnya mendapatkan dokumen awal sebelum direvisi.

Standar tata cara pengujian bidang tanah edisi terbaru (yaitu mulai tahun 2008) yang diacu oleh ke tujuh kelompok SPM di atas umumnya menyebutkan dua acuan yaitu ASTM dan AASHTO pada pasal acuan. Berdasarkan pengalaman dalam mereview ulang pengujian bersumber dari ASTM dan AASTHO untuk judul yang sama, maka perbedaan terletak hanya pada format penulisan, namun prosedur dan alat yang digunakan umumnya sama.

Untuk SPM Fondasi perlu dilakukan pengumpulan SPM yang dapat dilakukan dengan berkoordinasi dengan Balai Jembatan dan Bangunan Jalan. Hal ini disebabkan SPM yang ada merupakan SPM Fondasi untuk bangunan jembatan sehingga memerlukan waktu yang cukup panjang.

3.3 Standar Kegempaan di Indonesia (SNI 1726-2012)

Standar kegempaan di Indonesia yang berlaku saat ini adalah Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726–2012). Standar ini berisi persyaratan minimum perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Standar ini merupakan revisi dari SNI 03-1726-2002. Perubahan mendasar dalam standar ini adalah ruang lingkup yang diatur diperluas dan penggunaan peta-peta gempa yang baru serta format penulisan ditulis sesuai dengan Pedoman Standardisasi Nasional (PSN) 08:2007.

Syarat-syarat perencanaan yang ditetapkan dalam standar ini tidak berlaku untuk bangunan sebagai berikut:

1. Struktur bangunan dengan sistem struktur yang tidak umum atau yang masih memerlukan pembuktian tentang kelayakannya;
2. Struktur jembatan kendaraan lalu lintas (jalan raya dan kereta api), struktur reaktor energi, struktur bangunan keairan dan bendungan, struktur menara transmisi listrik, serta struktur anjungan pelabuhan, anjungan lepas pantai, dan struktur penahan gelombang.

Standar ini membahas mengenai hal-hal berikut:

1. Ketentuan umum untuk gempa rencana, faktor keutamaan dan kategori resiko struktur bangunan, kombinasi beban dan lingkup penerapan.
2. Perencanaan pembebanan, dimana di dalam standar ini adalah metode ultimit dan metode tegangan izin,
3. Prosedur klasifikasi situs untuk desan seismik
4. Wilayah gempa dan spektrum respons, mencakup pembahasan mengenai parameter percepatan, kelas situs, persyaratan rancangan dan persyaratan beban gempa. Selain itu dibahas pula

sambungan, gaya lateral, sistem pengangkur dinding , bahaya geologi dan investigasi geoteknik, spektrum respons gempa maksimum, dan analisis respons situs.

5. Perencanaan umum struktur bangunan gedung, yang mencakup perencanaan struktur atas dan struktur bawah, perencanaan struktur penahan beban gempa, perencanaan lantai, pertimbangan kombinasi dan pengaruh beban gempa, arah pembebanan dan prosedur analisis. Dibahas pula mengenai prosedur gaya lateral ekuivalen, analisis spektrum respons ragam, diafragma, kord dan kolektor, desain struktural dan pengangkurannya, simpangan antar lantai tingkay dan deformasi, desain fondasi, serta persyaratan perencanaan dan pendetailan bahan.
6. Kriteria perencanaan struktur yang disederhanakan untuk dinding penumpu atau sistem rangka bangunan sederhana
7. Kriteria perencanaan seismik pada elemen non struktural
8. Pengaruh gempa pada struktur bangunan non gedung, di dalamnya membahas mengenai ketentuan-ketentuan perencanaan struktur dan beban serta persyaratan simpangan.
9. Prosedur riwayat waktu gempa
10. Struktur dengan isolasi dasar
11. Interaksi tanah-struktur untuk desain bangunan tahan gempa
12. Peta-peta gerak tanah seismik dan koefisien resiko.

Standar ini mengacu pada 3 rujukan utama, yaitu IBC (2012) yang merupakan standar atau *code* internasional untuk bangunan gedung serta FEMA P-7502009 dan ASCE yang mengatur persyaratan-persyaratan kegempaan untuk bangunan gedung.

4 Persyaratan Perencanaan Geoteknik dan Kegempaan

Bab ini mengulas gambaran yang bersifat umum untuk persyaratan perencanaan geoteknik dan kegempaan, dengan merujuk pada acuan penyusunan yang telah disepakati. Uraian lengkapnya akan dikembangkan seiring dengan berjalannya kegiatan penyusunan standar yang dimulai pada tahun 2015.

4.1 Umum

Jika membahas mengenai persyaratan perencanaan atau lazim dikenal dengan istilah *design requirement/design criteria* di dalam standar dan pedoman internasional, maka pembahasan awalnya adalah cakupan atau *scope* yang akan dibahas. Dari hasil penelusuran kerangka-kerangka standar, dapat disimpulkan bahwa suatu standar yang memuat mengenai persyaratan perencanaan, perlu sekurang-kurangnya menyampaikan hal-hal berikut pada bagian pengantar:

1. Ruang lingkup standar

Di dalam pasal ini diterangkan keterkaitan standar persyaratan perencanaan dengan standar lainnya (apabila ada), aplikasi standar, persyaratan perencanaan yang dibahas, dan batasan kajian.

2. Isi standar

Pasal ini membahas secara garis besar isi standar.

3. Acuan lanjutan atau turunannya

Apabila ada, standar lain yang memiliki keterkaitan penuh dengan standar persyaratan perencanaan yang disusun agar dicantumkan disini.

4. Referensi normatif

Referensi yang bersifat normatif yang digunakan dalam penyusunan standar wajib disampaikan.

5. Asumsi

Seluruh asumsi yang digunakan dalam menyusun persyaratan perencanaan dicantumkan di dalam pasal ini, seperti misalnya: seluruh data untuk perencanaan agar diperoleh dan diinterpretasikan oleh orang yang berkompeten. Asumsi-asumsi tersebut harus dipertimbangkan baik oleh perencana, maupun pengguna (pemilik) struktur yang dikaji.

6. Perbedaan antara Ketentuan Prinsip dan Aplikasi

Eurocode, secara eksplisit membedakan antara persyaratan yang bersifat Prinsip (ditandai dengan huruf *P* dalam standarnya) dan bersifat Ketentuan Pelaksanaan (Ditandai dengan huruf *A*). Prinsip artinya terdiri dari 1) pernyataan umum dan definisi yang sudah ditetapkan dan tidak bisa diganti, dan 2) model analitis atau persyaratan yang sudah ditetapkan dan tidak boleh diganti dengan yang lain. Ketentuan aplikasi adalah contoh-contoh peraturan umum yang mengikuti Prinsip dan memenuhi persyaratan.

7. Definisi

Seperti halnya pedoman-pedoman di Balitbang, pasal istilah dan definisi perlu ada di dalam standar yang memuat persyaratan perencanaan, serta dicantumkan rujukannya.

8. Notasi atau simbol dan satuan yang digunakan

Notasi atau simbol dan satuan pun perlu disampaikan untuk membantu pemahaman standar.

4.2 Pengelompokkan Bidang Geoteknik dan Kegempaan

Pengelompokkan bidang geoteknik dan kegempaan perlu dilakukan untuk membahas satu-persatu persyaratan perencanaan berdasarkan urgensi akan standarnya di Indonesia, sebagaimana sudah disampaikan pada 3.1. Pengelompokkan bidang yang telah disepakati secara konsensus diperlihatkan pada Tabel 3 dan uraiannya diberikan pada sub-sub pasal berikutnya.

Tabel 3. Pengelompokkan Bidang untuk Pengkajian Persyaratan Perencanaan Geoteknik dan Kegempaan

| No. | Bidang | Keterangan |
|-----|--|--|
| 1 | Stabilitas lereng dan timbunan | Termasuk masalah abrasi |
| 2 | Galian dalam | Termasuk <i>basement</i> |
| 3 | Fondasi | |
| 4 | Terowongan | - |
| 5 | Kegempaan | - |
| 6 | Struktur penahan (<i>retaining structure</i>) | Termasuk <i>sheet piles</i> , dinding penahan |
| 7 | Perbaikan tanah (<i>ground improvement</i>) | Termasuk <i>dewatering</i> , <i>reinforcement</i> , stabilisasi |
| 8 | Kegagalan hidraulik (<i>hydraulic failure</i>) | Termasuk <i>failure by uplift</i> , <i>heave</i> , <i>piping</i> dan <i>internal erosion</i> |
| 9 | Penyelidikan geoteknik | Termasuk metode pengujian dan interpretasi |

4.3 Stabilitas Lereng Galian dan Timbunan

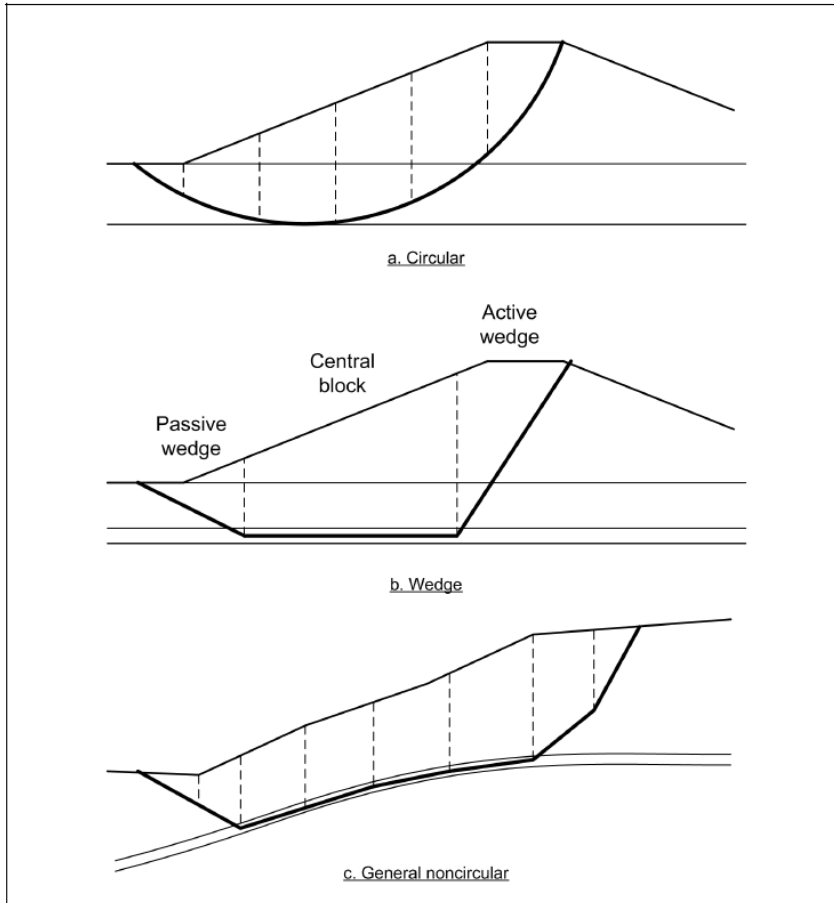
Acuan utama penyusunan persyaratan perencanaan untuk bidang stabilitas lereng galian dan timbunan adalah Eurocode (BS EN 1997-1:2004 General Rules). Persyaratan perencanaan stabilitas lereng dan timbunan di dalam SNI yang akan disusun nantinya terdiri dari sekurang-kurangnya hal-hal berikut:

4.3.1 Persyaratan Kondisi Batas

Persyaratan kondisi batas yang digunakan di dalam BS EN 1997-1:2004 adalah *Ultimate Limit State* atau ULS. Secara spesifik, kondisi batas ultimit untuk analisis stabilitas lereng galian diuraikan sebagai berikut:

- 1) Stabilitas global (*overall stability/global stability*) lereng termasuk struktur eksisting, struktur rencana harus diverifikasi dalam *ultimate limit states* (GEO dan STR) dengan nilai desain aksi, tahanan dan kekuatan yang memperhitungkan faktor parsial.
- 2) Dalam analisis stabilitas global, semua mode keruntuhan yang relevan harus diperhitungkan.
- 3) Dalam memilih metode perhitungan, berikut ini harus dipertimbangkan:
 - Perlapisan tanah.
 - Diskontinuitas (proses terjadi dan inklinasinya).
 - Rembesan dan distribusi tegangan air pori.
 - Stabilitas jangka pendek dan jangka panjang.
 - *Creep deformation* akibat geser.
 - Tipe keruntuhan (*circular* atau *non-circular surface, toppling, flow*).
 - Penggunaan metode numerik.
- 4) Bidang longsor dapat berbentuk planar, lingkaran (*circular*), baji (*wedge*), non lingkaran (*non-circular*) dan bentuk yang lebih

kompleks. Beberapa ilustrasi bidang longsor diberikan pada Gambar 5. Analisis stabilitas dapat dilakukan dengan analisis batas (*limit states*) atau menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*).



Gambar 5. Bentuk-bentuk bidang longsor (USACE, 2013)

- 5) Apabila material tanah atau timbunan relatif homogen dan isotropik, maka bidang longsor berbentuk lingkaran dapat diasumsikan.

- 6) Untuk lereng dengan tanah berlapis dimana kuat gesernya bervariasi, maka lapisan tanah dengan kuat geser yang rendah perlu diperhatikan. Analisis stabilitas dengan bidang longsor *non circular* perlu diperlukan.
- 7) Pada *jointed materials*, termasuk batuan keras dan tanah berlapis atau *fissured soils*, bentuk bidang longsornya dipengaruhi oleh diskontinuitasnya. Analisis baji atau *wedges analysis* dalam pemodelan 3D perlu dilakukan.
- 8) Apabila bidang longsor tidak dapat diasumsikan dalam 2D, maka penggunaan bidang longsor 3D perlu dipertimbangkan.

Secara spesifik, kondisi batas ultimit untuk analisis stabilitas lereng timbunan diuraikan sebagai berikut:

- 1) Dalam analisis stabilitas dari timbunan, semua kemungkinan mode keruntuhan harus dipertimbangkan.
- 2) Apabila material timbunan yang beratnya ringan seperti *expanded polystyrene*, *expanded clay* atau mortar-busa (*foamed concrete*) digunakan, maka kemungkinan pengaruh *buoyancy* perlu dipertimbangkan.
- 3) Setiap analisis timbunan yang terdiri dari material timbunan yang berbeda harus mengadopsi nilai kekuatan yang dihitung pada kondisi regangan yang kompatibel dalam materialnya.
- 4) Apabila jalan atau aliran air melewati tanah timbunan, perhatian khusus perlu dilakukan terkait dengan interaksi dengan elemen strukturnya.

Dalam analisis stabilitas pada tanah yang memerlukan perbaikan (*ground improvement*), pengaruh peningkatan proses seperti gangguan pada tanah lempung lunak sensitif harus dipertimbangkan.

4.3.2 Pertimbangan Perencanaan

Pertimbangan perencanaan berlaku untuk stabilitas global dan pergerakan tanah yang mendukung bangunan eksisting, bangunan baru, lereng atau galian harus dipertimbangkan. Beberapa tipikal struktur dimana analisis stabilitas global perlu dilakukan, adalah:

- Struktur dinding penahan tanah.
- Galian, lereng atau timbunan.
- Fondasi pada permukaan miring, lereng alami atau timbunan.
- Fondasi yang dekat dengan galian.

4.3.2.1 Lereng Galian

Beberapa opsi stabilisasi yang direkomendasikan bagi lereng galian tidak stabil namun berpotensi mengalami longsoran, adalah dengan memasang:

- Penutup beton dengan atau tanpa angkur.
- *Abutment gabion*, jaring kawat atau geotekstil.
- *Soil/ground nailing*
- Vegetasi.
- Sistem drainase
- Kombinasi dari cara-cara di atas.

4.3.2.2 Lereng Timbunan

Dalam hal analisis timbunan (*embankment*), persyaratan-persyaratan perencanaan berikut perlu menjadi bahan pertimbangan:

- 1) Dalam mengevaluasi fondasi dari timbunan, berikut ini perlu dipertimbangkan:
 - Mencapai lapisan daya dukung yang cukup.
 - Mempunyai proteksi yang cukup terhadap pengaruh iklim yang merugikan terhadap daya dukung tanah.

- Level muka air tanah sehubungan dengan drainase dari timbunan.
 - Menghindari pengaruh yang merugikan dari struktur & utilitas di sekitarnya.
 - Mencapai lapisan tanah yang permeabilitasnya cukup rendah.
- 2) Dalam perencanaan timbunan harus menjamin bahwa:
 - Daya dukung dari tanahnya baik.
 - Drainase dari lapisan tanahnya baik.
 - Permeabilitas dari material timbunan dalam bendungan serendah yang diperlukan.
 - Filter atau geosintetik ditentukan apabila diperlukan untuk memenuhi kriteria filter.
 - Material timbunan sesuai dengan kriteria.
 - 3) Untuk timbunan di atas tanah dasar yang kekuatannya rendah dan kompresibilitasnya tinggi, proses kontruksinya harus ditentukan dan menjamin bahwa kapasitas daya dukungnya tidak terlampaui sehingga menyebabkan penurunan yang berlebih atau pergerakan tidak terjadi selama konstruksi.
 - 4) Apabila timbunan di atas tanah kompresibel dilakukan lapis per lapis, maka pengukuran pisometer perlu dilakukan untuk menjamin bahwa tekanan air pori telah terdisipasi hingga nilai yang diizinkan sebelum lapisan timbunan berikutnya dilakukan.
 - 5) Untuk timbunan yang menahan air di level yang berbeda-beda, maka level fondasinya harus dipilih sehubungan dengan permeabilitas dari tanah atau pengukuran perlu dilakukan agar strukturnya kedap air.
 - 6) Apabila perbaikan tanah diperlukan, volume tanah yang perlu diperbaiki harus direncanakan dengan areal yang cukup untuk menghindari deformasi yang tidak diinginkan.

- 7) Permukaan lereng timbunan yang terekspos terhadap erosi harus dilindungi. Apabila berm direncanakan, fasilitas drainase harus diterapkan pada berm.
- 8) Lereng harus terlindungi selama konstruksi timbunan dan ditanami setelahnya apabila diperlukan.

4.3.2.3 Galian Dalam (*Basement*)

Eurocode 7 tidak mencantumkan secara eksplisit tentang Galian Dalam pada Bab/Section tersendiri, galian dalam merupakan bagian dari Section 11 (Overall Stability/Stabilitas Keseluruhan). Permasalahan Galian Dalam Eurocode 7 merujuk ke Code of practice of Earthworks BS 6031:1981. Eurocode 7 Section 11 (Overall Stability/Stabilitas Keseluruhan). Bab ini mengatur tentang hal yang berkaitan dengan stabilitas keseluruhan dari lereng alami, tanggul, penggalian dan struktur penahan tanah, gerakan tanah di sekitar fondasi pada tanah miring (lereng) dan dekat penggalian atau pantai.

Salah satu pedoman di Indonesia yang cukup detail membahas mengenai persyaratan perencanaan galian dalam dan dapat dijadikan acuan, adalah Pedoman Perencanaan Struktur dan Geoteknik Bangunan (PerGub DKI Jakarta, 2009). Namun perlu dicatat bahwa penerapan pedoman ini hanya sesuai untuk kondisi di DKI Jakarta dan belum tentu sama untuk semua wilayah di Indonesia.

Pertimbangan perencanaan galian dalam untuk *basement* menurut pedoman di atas perlu mempertimbangkan salah satu atau lebih kondisi sebagai berikut :

- a) Terdapat bangunan di sekitar zona tekanan aktif tanah
- b) Kondisi tanah adalah lempung lunak dan/atau *loose uncemented sand*

- c) Kondisi pelaksanaan pembangunan yang menggunakan *open-cut* dan/atau *ground-anchored wall*
- d) Bila dilakukan penurunan muka air tanah lebih dari 3.00 m

4.3.2.4 Keruntuhan Hidraulik (*Hydraulic Failure*)

Acuan yang dikaji untuk persyaratan perencanaan keruntuhan hidraulik adalah BS EN 1997-1 (2004), BMS Code Volume I (1992), AASHTO (2012), FHWA (2001) dan Panduan Geoteknik 4 (DPU, 2002). Perencanaan umum mengenai keruntuhan hidraulik yang dibahas di dalam ketiga standar adalah mengenai erosi, penggerusan (*scouring*) dan gaya angkat (*uplift*). Hanya BS EN 1997-1 (2004) yang aplikasinya ditujukan untuk perencanaan geoteknik, lainnya adalah untuk jembatan. BS EN 1997-1 (2004) membahas lebih lengkap moda keruntuhan hidraulik, yaitu keruntuhan akibat gaya angkat, *heave*, erosi internal dan piping. BS EN 1997-1 (2004) juga memberikan contoh situasi dengan kondisi *uplift* yang mungkin kritis, kondisi *heave* kritis dan kondisi yang dapat menyebabkan piping disertai ilustrasinya.

BMS hanya membahas mengenai penggerusan dan tidak membahas keruntuhan akibat gaya angkat (*failure by uplift*), keruntuhan akibat *heave* (*failure by heave*), keruntuhan akibat erosi internal (*failure by internal erosion*) dan keruntuhan akibat *piping* (*failure by piping*). Khusus mengenai penggerusan, dijelaskan secara singkat mengenai perencanaan untuk penggerusan dan faktor-faktornya. BMS tidak membahas likuifaksi

AASHTO sub section 2.6 hanya membahas mengenai penggerusan (*scouring*) dan menjelaskan bahwa penggerusan pada jembatan atau fondasi jembatan diselidiki untuk 2 kondisi, yaitu *design flood* dan *check flood*. AASHTO section 12 hanya membahas tentang uplift dan penggerusan pada pasal *Buried Structure and Tunnel Liners* dan

Long-Span Structural Plate Structures. AASHTO tidak membahas likuifaksi.

FHWA 2001 menjelaskan prinsip evaluasi, hanya akibat gaya angkat, pada perencanaan fondasi tapak, tiang, dan tiang bor (*drilled shaft*).

- Untuk fondasi tapak hanya menjelaskan tentang gaya angkat dan pengaruhnya pada evaluasi gelincir dan daya dukung.
- Untuk fondasi tiang (tunggal dan grup) dan *shaft* maka evaluasi terhadap tahanan angkat ultimit dengan menggunakan ASD dan LRFD adalah metode untuk mengestimasi tahanan gesek aksial ultimit atau *ultimate axial side resistance*, Q_s , namun dengan pengurangan nilai Q_s sebesar 20%.

Pada pedoman bidang kePUan, Panduan Geoteknik 4 tidak menjelaskan mengenai keruntuhan hidraulik, namun memberikan rambu-rambu terkait keberadaan muka air tanah (MAT) untuk perhitungan stabilitas timbunan. Panduan ini juga memberikan catatan untuk perencanaan timbunan pada areal yang terendam banjir. Namun demikian, tahapan perencanaan tidak diberikan di dalam panduan ini.

4.3.2.5 Abrasi

Abrasi adalah proses pengikisan pantai oleh tenaga gelombang laut dan arus laut yang bersifat merusak. Abrasi biasanya disebut juga erosi pantai. Kerusakan garis pantai akibat abrasi ini dipacu oleh terganggunya keseimbangan alam daerah pantai tersebut. Walaupun abrasi bisa disebabkan oleh gejala alami, namun manusia sering disebut sebagai penyebab utama abrasi. Salah satu cara untuk mencegah terjadinya abrasi adalah dengan penanaman hutan mangrove.

4.3.3 Kriteria Perencanaan

Kriteria perencanaan tidak disebutkan di dalam BS EN 1997-1:2004. Untuk itu, di dalam buku naskah ilmiah ini diambil kriteria perencanaan dari manual US Army & Corps of Engineers, USACE (2013) . Faktor keamanan minimum untuk lereng bendungan diberikan sebagai berikut:

- 1) Kondisi pada akhir konstruksi (termasuk tahapan konstruksi): 1.3 (hulu dan hilir)
- 2) Kondisi jangka panjang (*steady state seepage, maximum storage pool*): 1.5 (hilir)
- 3) Kondisi *maximum surcharge pool* : 1.4 (hilir)
- 4) Kondisi *rapid drawdown*: 1.1 – 1.3 (hulu). FK = 1.1 untuk penurunan dari *maximum surcharge pool*, FK = 1.3 untuk penurunan dari *maximum storage pool*.

Faktor keamanan minimum untuk lereng selain bendungan tergantung dari faktor ketidakpastian dari parameter kuat geser tanah dan tegangan air pori, dimana kedua faktor ini akan mempengaruhi nilai faktor keamanan dan konsekuensi *keruntuhan*nya (*consequences of failure*). Apabila faktor ketidakpastiannya kecil dan konsekuensi keruntuhan pun kecil, maka FK minimum = 1.3. Apabila faktor ketidakpastian atau konsekuensi keruntuhan meningkat, maka FK minimumnya akan lebih besar lagi.

Apabila faktor ketidakpastian yang besar dan konsekuensi keruntuhan yang besar pula, maka kondisi ini tidak diijinkan berapapun nilai faktor keamanannya.

Selain untuk bendungan, kriteria faktor keamanan untuk stabilitas timbunan jalan di atas tanah lunak dapat merujuk pada Pd T-11-2005-B Panduan Geoteknik 4 (DPU, 2002). Pd T-11-2005-B memberikan

kriteria FK minimum untuk kondisi jangka pendek atau selama masa pelaksanaan timbunan yang diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Faktor Keamanan Minimum untuk Perhitungan Stabilitas (Pd T-11-2005-B)

| Kelas Jalan | Faktor Keamanan |
|-------------|-----------------|
| I | 1,4 |
| II | 1,4 |
| III | 1,3 |
| IV | 1,3 |

DPU (2006) memberikan faktor keamanan minimum untuk analisis stabilitas sebesar 1,20, namun ditunjukkan pula bahwa pada kasus timbunan dengan tinggi 10 m digunakan $FK \geq 1,25$.

Penentuan kriteria stabilitas timbunan ini terkait dengan pemilihan jenis pengujian untuk mendapatkan parameter perencanaan serta pemilihan metode analisisnya. DPU (2006) menyarankan, sebagai berikut:

- Analisis tegangan total dilakukan, apabila:
 - Timbunan dengan tinggi $\leq 5\text{m}$ dari tanah kohesif dengan koefisien permeabilitas rendah, parameter kekuatan geser tanah timbunannya ditentukan dengan cara uji triaksial UU. Meningkatnya kekuatan akibat konsolidasi tidak dihipotesiskan untuk timbunan dengan tinggi hingga 5m. dan analisis stabilitas dengan metoda tegangan total.
 - Timbunan dengan tinggi $> 5\text{m}$ dari tanah kohesif dengan koefisien permeabilitas rendah, parameter kekuatan geser tanah timbunannya ditentukan dengan cara uji triaksial CU.
 - Timbunan dengan koefisien permeabilitas tinggi, parameter kekuatan geser tanah timbunannya ditentukan dengan cara uji triaksial CD.

- Analisis tegangan total, dilakukan apabila:
 - Timbunan kohesif dengan koefisien permeabilitas rendah parameter kekuatan geser tanah timbunannya ditentukan dengan cara uji triaksial CU.
 - Timbunan kohesif dengan koefisien permeabilitas tinggi parameter kekuatan geser tanah timbunannya ditentukan dengan cara uji triaksial CD.

Konstruksi-konstruksi timbunan di jalan tol Cipularang (2005) menggunakan faktor keamanan minimum tanpa beban gempa untuk timbunan di Kelas Jalan I dan II, $FK \geq 1,30$, dan Kelas Jalan III $FK \geq 1,25$ (tidak ada hunian sekitar). Analisis stabilitas jangka pendek tanah dasar lunak menggunakan parameter kuat geser tanah tak teralirkan (*undrained shear strength*) dari hasil pengujian triaksial UU atau CU. Analisis stabilitas jangka panjang tanah dasar keras menggunakan parameter kuat geser tanah efektif dari hasil pengujian triaksial CU atau CD.

Salah satu contoh yang digunakan adalah angka keamanan kemantapan lereng untuk analisis stabilitas galian tanah dalam PerGub DKI Jakarta (2009), pada Tabel 5.

Tabel 5. Faktor Keamanan Statik Lereng Galian (PerGub DKI, 2009)

| Kondisi Lingkungan dan Risiko | Keandalan Parameter Tanah | | | |
|---|---------------------------|-------|-----------|-------|
| | Kurang | | Cukup | |
| Sifat Galian : | Sementara | Tetap | Sementara | Tetap |
| Tidak ada hunian manusia atau bangunan di sekitar | 1.30 | 1.50 | 1.25 | 1.30 |
| Banyak bangunan disekitar | 1.50 | 2.00 | 1.30 | 1.50 |

Untuk sistem galian yang menggunakan dinding penahan seperti *sheet-pile*, *soldier-pile*, *diaphragm-wall*, *strut*, *tiebacks*, *rakers* dan lain-

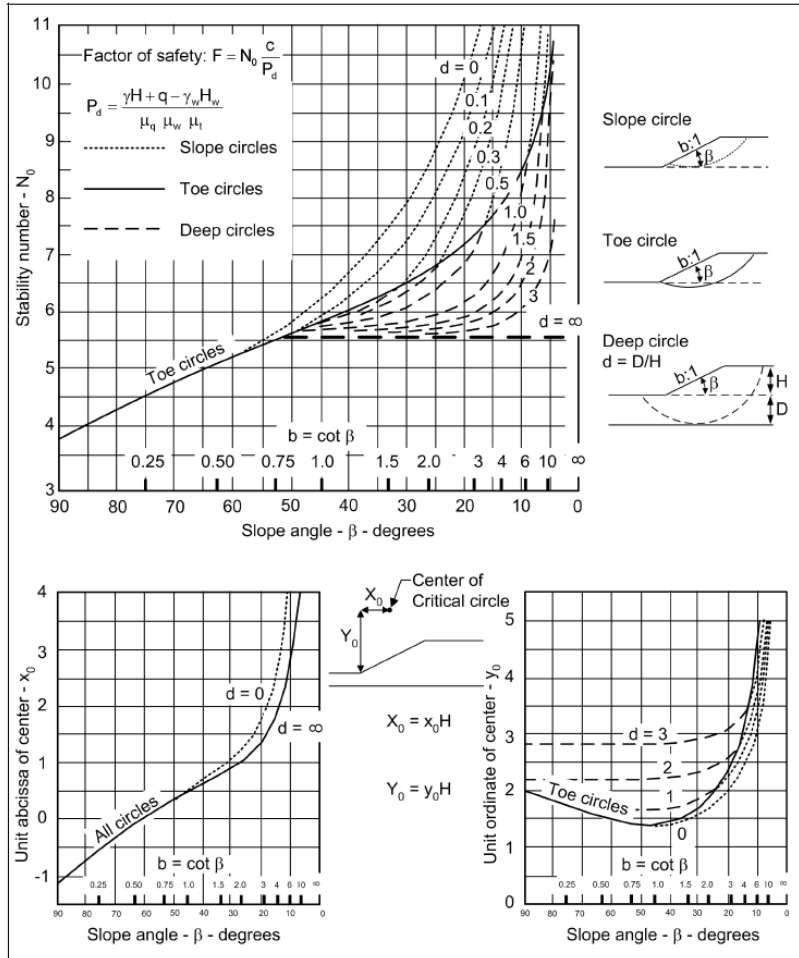
lain, maka stabilitas galian harus ditinjau baik terhadap bahaya kelongsoran global maupun bahaya *heaving*, *piping* dan perubahan muka air tanah untuk setiap tahapan pekerjaan galian. Demikian halnya untuk kekuatan elemen-elemen dinding dan bagian-bagiannya termasuk *strut*, *raker*, atau angkur tanah (*ground anchor*) harus mampu menahan tegangan dan deformasi yang terjadi. Nilai Minimum FK untuk sistem galian dengan dinding penahan dan angkur diberikan pada pasal 0.

4.3.4 Metode Perencanaan

Eurocode tidak mensyaratkan secara spesifik metode apa yang perlu dirujuk untuk perencanaan, karena pembahasan detailnya hanya dapat dilihat pada pedoman-pedoman turunannya, salah satunya adalah British Standard. Namun demikian, pada pasal ini diberikan rekomendasi metode perencanaan yang direkomendasikan untuk stabilitas lereng galian dan timbunan, termasuk analisis pengaruh abrasi maupun keruntuhan hidraulik:

1. *Computer programs*, penggunaan program komputer yang telah terverifikasi dalam analisis stabilitas lereng biasanya digunakan untuk kondisi yang kompleks dengan data yang cukup tersedia dan kemungkinan konsekuensi keruntuhannya signifikan. Penggunaan program komputer akan lebih efisien dan cepat untuk geometri lereng dan kondisi beban yang bervariasi.
2. *Charts*, grafik atau charts ini relatif lebih sederhana penggunaannya, dan dapat digunakan untuk kondisi jangka pendek dan jangka panjang. Grafik stabilitas lereng dari Janbu (1968) dalam USACE (2013) diperlihatkan pada Gambarx.
3. *Hand Calculations*, perhitungan dengan cara ini biasanya dilakukan untuk memverifikasi hasil perhitungan dengan komputer. Perhitungannya dilakukan dengan cara *graphical* (*force polygon*)

method atau spreadsheet pada kasus yang disederhanakan versinya.



Gambar 6. Grafik stabilitas lereng Janbu (1968) untuk tanah dengan $\phi = 0$ (USACE, 2013)

PerGub DKI Jakarta (2009) memberikan rekomendasi untuk galian dalam, yaitu untuk analisa perhitungan keamanan galian, tes tanah harus dilakukan dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- a) Mencakup Tes triaksial CU (*Consolidated Undrained*) dengan pengukuran tekanan air pori, sehingga didapatkan parameter kuat geser kondisi tegangan total dan tegangan efektif.
- b) Test konsolidasi harus dilakukan dengan memberikan beban minimum sebesar 2 (dua) kali beban maksimum yang akan bekerja dan dengan mengakomodasi peninjauan *heave*.
- c) Bagian/daerah pengambilan contoh tanah mencakup kedalaman 1.50 kali lebar terkecil tapak besmen.
- d) Apabila pengambilan “contoh tanah tak terganggu” tidak memungkinkan, maka dapat dilakukan test lapangan yang sesuai

4.3.5 Prinsip Pendekatan dalam Perencanaan (*Design Situation*)

4.3.5.1 Stabilitas Global

Dalam analisis stabilitas global, perlu dipertimbangkan hal-hal berikut ini:

- Berat tanah, batuan dan air.
- Tegangan dalam tanah.
- Tekanan tanah.
- Tekanan air.
- Tekanan air tanah.
- Gaya rembesan.
- Beban mati struktur.
- Beban tambahan.
- Proses konstruksi.
- Pergerakan tanah sebelumnya
- Vibrasi.
- Variasi iklim termasuk perubahan temperatur, kondisi kering dan hujan lebat.
- Vegetasi.

- Aktivitas manusia dan hewan.
- Variasi kadar air atau tekanan air pori.

4.3.5.2 Timbunan

Dalam analisis timbunan perlu dipertimbangkan:

- Pengaruh proses konstruksi, seperti galian yang dekat dengan timbunan, vibrasi yang diakibatkan oleh peledakan, pemancangan tiang dan alat-alat berat.
- Pengaruh dari rencana struktur yang akan dibangun yang berada atau dekat dengan timbunan.
- Pengaruh erosi akibat limpasan (*overtopping*) dan hujan pada lereng dan puncak timbunan.
- Pengaruh suhu seperti penyusutan.

Perencanaan muka air di hilir lereng timbunan dan perencanaan muka air tanah dan kombinasinya harus didasarkan pada data hidrologi yang tersedia untuk memberikan kondisi yang paling tidak menguntungkan yang mungkin terjadi. Kemungkinan kegagalan drainase atau filter perlu dipertimbangkan.

4.3.5.3 Lereng Galian dan Timbunan

Stabilitas lereng dievaluasi dengan 4 (empat) kondisi desain (*design condition*) atau kondisi pembebanan (*loading conditions*) yaitu:

- 1) Kondisi pada saat konstruksi dan pada akhir konstruksi.
- 2) Kondisi *steady state seepage*
- 3) Kondisi *sudden drawdown*
- 4) Kondisi gempa (*earthquake*)

Kondisi ke 1) s.d 3) merupakan kondisi pembebanan statik (*static loading*), sedangkan kondisi ke 4) merupakan kondisi pembebanan dinamis (*dynamic loading*).

Evaluasi parameter kuat geser tanah (*shear strengths*) dalam analisis stabilitas lereng dengan ketiga kondisi pembebanan statik di atas:

- 1) Kondisi pada saat konstruksi dan pada akhir konstruksi:
 - a) *Free draining soils*: kuat geser terdrainase (*drained shear strengths*)
 - b) *Low permeability soils*: kuat geser tak terdrainase (*undrained shear strengths*)
- 2) Kondisi *steady state seepage*
 - a) *Free draining soils*: kuat geser terdrainase (stabilitas jangka panjang)
- 3) Kondisi *rapid drawdown*
 - a) *Free draining soils*: kuat geser terdrainase
 - b) *Low-permeability soils* – tiga fase perhitungan

4.3.6 Monitoring dan supervisi

4.4 Galian Dalam

4.4.1 Tinjauan Umum SPM yang Membahas Persyaratan Perencanaan Galian Dalam

Acuan yang dikaji untuk persyaratan perencanaan galian dalam adalah BS EN 1997- 1:2004, IBC (2012) dan Peraturan Gubernur DKI Jakarta (2009) tentang perencanaan struktur dan geoteknik bangunan. BS EN 1997- 1:2004 tidak mengulas galian dalam secara lengkap, yang diulas adalah penggalian (*excavation*), dimana yang dikaji adalah faktor keamanan global pada struktur yang dekat dengan lokasi penggalian. Selain itu dibahas pula mengenai stabilitas bagian bawah galian yang harus dicek berkaitan dengan adanya tekanan air pori di dalam tanah, juga *heave* akibat pengangkatan beban (*unloading*).

Di dalam IBC (2012), yang dibahas adalah persyaratan penggalian untuk struktur yang dekat dengan fondasi, dimana syaratnya adalah tidak boleh menghilangkan daya dukung lateral fondasi tanpa sebelumnya melakukan *underpinning* atau melindungi fondasi dari bahaya penurunan atau pergerakan lateral. Konsep perencanaan yang digunakan pada perencanaan adalah ASD.

Jika mengulas acuan yang berupa pedoman teknis, maka perencanaan galian dalam sudah dibahas di dalam pedoman perencanaan struktur dan geoteknik bangunan yang digunakan di DKI Jakarta. Pedoman ini sudah memberikan persyaratan-persyaratan pengujian untuk memperoleh parameter perencanaan, serta detail penyelidikan tanah dan pengujian yang dibutuhkan. Di dalam pedoman ini juga diberikan persyaratan faktor keamanan global galian dan galian dengan sistem penahan. Desain angkur tunggal dan rekomendasi faktor keamanan juga diberikan di dalam pedoman ini.

Dari hasil pengkajian disimpulkan bahwa pasal galian dalam mengacu pada **Eurocode**. Perlu ditetapkan terlebih dulu aturan pembebanan yang akan digunakan untuk perencanaan di Indonesia, dan asal acuannya. Di dalam konsep standar, Galian Dalam diubah menjadi *Stability of Cut and Fill* atau Stabilitas Galian dan Timbunan dengan usulan pembahasan mengenai:

- *Spread Foundations*
- *Pile Foundations*
- *Anchorage*
- *Retaining structures*
- *Hydraulic Failure*
- *Embankment*

4.4.2 Persyaratan Kondisi Batas

Pemeriksaan terhadap kegagalan stabilitas global harus mencakup semua kemungkinan kondisi batas . Biasanya, ini termasuk:

1. Kondisi Batas Ultimit (ULS):
 - a) Tipe kondisi batas - GEO, di mana kegagalan terjadi pada tanah saja, seperti kegagalan lereng alami atau tanggul jalan di tanah liat lunak.
 - b) Tipe kondisi batas- STR, dengan gabungan kegagalan atau gerakan besar di dalam tanah dan pada bagian struktural tertentu, seperti kegagalan dari penggalian-dalam yang didukung oleh dinding sheet pile berjangkar, di mana bidang kegagalan memotong melalui jangkar (atau, jarang pada *sheet pile*).
2. Kondisi batas Kemampuan Layan (Serviceability) (SLS), seperti gerakan yang berlebihan di dalam tanah (misalnya pada lereng alami atau buatan), karena deformasi geser dan penurunan tanah/settlement (misalnya pada tanah yang didukung disebelah penggalian-dalam), getaran (misalnya pada pemadatan tanah karena pengoperasian mesin penggetar) atau 'heave' dalam struktur yang didukung (misalnya pada tanah liat yang mengembang). Istilah 'gerakan berlebihan' termasuk gerakan yang menyebabkan hilangnya kemampuan layan atau kerusakan dalam struktur yang bersebelahan, jalan atau pelayanan:

4.4.3 Pertimbangan Perencanaan

Prinsip-prinsip dalam perencanaan galian dalam yang harus dipertimbangkan diuraikan sebagai berikut:

- 1) Stabilitas global dan gerakan tanah alam atau dibuat harus diperiksa dengan mempertimbangkan pengalaman

- 2) Stabilitas global dan pergerakan tanah pendukung bangunan yang ada, struktur baru, lereng atau penggalian harus dipertimbangkan.
- 3) Dalam hal stabilitas tanah tidak dapat diverifikasi secara jelas sebelum merancang, penyelidikan tambahan, pemantauan dan analisis harus ditentukan sesuai dengan ketentuan pada sub pasal Monitoring dan Supervisi.
- 4) Struktur-struktur tipikal yang perlu melakukan analisis stabilitas global, adalah:
 - a. Struktur penahan tanah
 - b. Penggalian, lereng galian dan timbunan
 - c. Fondasi pada tanah miring, lereng alam atau timbunan
 - d. Fondasi dekat lokasi penggalian, lereng galian atau struktur tertanam, atau bangunan lepas pantai

Catatan: masalah stabilitas tau pergerakan *creep* muncul terutama pada tanah-tanah kohesif dengan permukaan tanah miring. Meskipun demikian, ketidakstabilan juga timbul pada tanah-tanah non kohesif dan *fissured rocks* dimana inklinasinya, yang dapat dikenal dari adanya erosi, dekat dengan sudut gesernya. Bertambahnya pergerakan seringkali diamati pada kenaikan tekanan air pori.

- 5) Jika stabilitas suatu lokasi tidak dapat diverifikasi atau pergerakan muncul tak terduga, maka lokasi tersebut dapat disebut sebagai lokasi tidak stabil tanpa dilakukannya penanganan.
- 6) Perencanaan yang dilakukan harus memastikan bahwa seluruh aktivitas konstruksi di lokasi tetap mempertahankan kondisi batas ultimit dan kondisi batas layannya.

- 7) Permukaan lereng yang terekspos dan berpotensi mengalami erosi harus dilindungi jika dibutuhkan, untuk memastikan keamanannya.
- 8) Lereng harus ditutup, ditanami atau dilindungi dengan perlindungan buatan. Untuk lereng dengan trap (berm), perlu mempertimbangkan sistem drainase pada trap-trap lereng.
- 9) Proses konstruksi harus mempertimbangkan pengaruhnya terhadap stabilitas global lereng atau besar pergerakan yang mungkin terjadi.
- 10) Lereng yang berpotensi tidak stabil, dapat distabilisasi cara-cara pada 4.3.2.1.

4.4.4 Kriteria Perencanaan

4.4.4.1 Sistem Galian dengan Dinding Penahan

Untuk sistem galian yang menggunakan dinding penahan seperti *sheet-pile*, *soldier-pile*, *diaphragm-wall*, *strut*, *tiebacks*, *rakers* dan lain-lain, maka stabilitas galian harus ditinjau baik terhadap bahaya kelongsoran global maupun bahaya *heaving*, *piping* dan perubahan muka air tanah untuk setiap tahapan pekerjaan galian.

(Kekuatan elemen-elemen dinding dan bagian-bagiannya termasuk *strut*, *raker*, atau *ground anchor* harus mampu menahan tegangan dan deformasi yang terjadi. Nilai Minimum FK dapat diambil sesuai Tabel 6.

Tabel 6. Nilai Minimum Faktor Keamanan Galian dengan Sistem Dinding Penahan (PerGub DKI, 2009)

| Item | Faktor Keamanan | | Keterangan |
|--|-------------------|---------------|---|
| | Kondisi Sementara | Kondisi Tetap | |
| Stabilitas (Umum) (<i>Global slope stability</i>) | 1.30 | 1.50 | Parameter Tanah diperoleh melalui persyaratan yang ditentukan oleh Ahli Geoteknik |
| <i>Bottom Heave</i> pada level galian fondasi | 1.50 | 2.00 | |
| <i>Bottom Heave</i> pada tahap penggalian fondasi | 1.50 | 1.50 | |
| <i>Piping</i> | 1.50 | 2.00 | |

4.4.4.2 Analisis *Heave* pada Galian

Pada galian dengan dinding penahan tanah, pada dasar galian harus dilakukan analisis faktor keamanan terhadap *heave*, yaitu sehubungan dengan kemungkinan naiknya dasar galian, akibat dilampauinya daya dukung tanah pada taraf dasar galian oleh bobot sendiri lajur tanah selebar $0,707 B$ yang berbatasan dengan tepi lubang, ditambah dengan beban atas (*surchage*) dan dikurangi oleh tahanan geser sepanjang bidang batas lajur tanah, dimana B adalah lebar galian.

Berhubung dasar galian hanya akan terbuka untuk jangka waktu yang relatif singkat, jika parameter terdrainase digunakan dalam perhitungan faktor keamanan, maka FK minimum dapat diambil sebesar 1.25. Untuk analisis tak terdrainase, FK minimum adalah tetap sebesar 1.5 sesuai Tabel 6.

4.4.4.3 Analisis “*Blow-In*” pada Galian

Untuk perencanaan galian dengan dinding penahan tanah, pada dasar galian harus dilakukan analisis terhadap “*blow-in*”, dengan $FK=1.25$.

Untuk galian dengan dinding penahan galian berupa dinding *sheetpile*, *soldier piles*, atau *diaphragm wall* yang diperkuat dengan *ground anchor*, maka perlu dilakukan analisis stabilitas dan kekuatan elemen-

elemen ini dengan ketentuan FK minimum dan Uji Pembebanan sesuai Tabel 7.

Tabel 7. Rekomendasi Faktor Keamanan Minimum untuk Desain Angkur Tunggal (PerGub DKI, 2009)

| Kategori Angkur | Angka Keamanan Minimum | | | Load Faktor untuk Proof Test |
|---|------------------------|-------------------------|--|------------------------------|
| | Tendon | Ground/ Grout Interface | Grout/tendon atau grout/ encapsulation interface | |
| Angkur sementara dengan umur layanan tidak lebih dari 6 bulan dan keruntuhan tidak akan mengakibatkan konsekuensi serius dan tidak akan membahayakan keselamatan publik. | 1.40 | 2.00 | 2.00 | 1.10 |
| Angkur sementara dengan umur layanan tidak lebih dari 2 tahun, walau konsekuensi keruntuhan serius, tetapi tidak akan membahayakan keselamatan publik tanpa cukup peringatan. | 1.60 | 2.50* | 2.50 | 1.25 |

* Angka sebesar 2.0 dapat diberikan jika ada *full scale test* lapangan.

4.4.5 Metode Perencanaan

Metode perencanaan galian dalam merujuk pada metode perencanaan pada 4.3.4.

4.4.6 Monitoring dan Supervisi

Monitoring dan supervisi galian dalam merujuk pada monitoring dan supervisi pada 4.3.6.

4.5 Fondasi

4.5.1 Tinjauan Umum SPM yang Membahas Persyaratan Perencanaan Fondasi

Dalam penyusunan persyaratan perencanaan fondasi, acuan yang ditelusuri adalah BS EN 1997-1 (2004), AASHTO (2012) dan FHWA (2001). Persyaratan perencanaan fondasi nantinya akan terdiri dari sekurang-kurangnya hal-hal berikut:

Tabel 8. Tinjauan Umum SPM Fondasi

| Judul SPM | Lingkup |
|---|---|
| Eurocode: BS EN 1997-1:2004 (Eurocode 7), Geotechnical design. | Prinsip-prinsip fondasi telapak dan fondasi tiang menggunakan kriteria batas ultimit dan layan |
| FHWA HI-98-032, May 2001: LRFD for Highway Bridge Substructure | Prinsip-prinsip fondasi telapak, fondasi tiang pancang dan tiang bor menggunakan kriteria perencanaan tegangan izin dan perencanaan beban dan kekuatan terfaktor (disertai komparasi faktor tahanan terhadap faktor keamanan) Dilengkapi dengan metode, tata cara dan contoh perhitungan |
| AASHTO, 2012: LRFD Bridge Design Specifications | Prinsip-prinsip fondasi dangkal (telapak) dan fondasi dalam (tiang pancang dan bor) menggunakan kriteria batas layan, kekuatan, kejadian ekstrim dan faktor tahanan Dilengkapi dengan metode dan tata cara perhitungan |
| SNI 03-3446-1994: Perencanaan teknik fondasi langsung untuk jembatan | Persyaratan dan ketentuan perencanaan menggunakan kriteria perencanaan tegangan izin (menggunakan faktor keamanan), disertai faktor beban dan faktor reduksi parameter tanah Dilengkapi dengan metode dan tata cara perhitungan |
| SNI 03-6747-2002: Tata cara perencanaan teknis fondasi tiang untuk jembatan | Persyaratan dan ketentuan perencanaan menggunakan kriteria batas ultimit disertai faktor reduksi parameter tiang dan parameter tanah Dilengkapi dengan metode dan tata cara perhitungan |
| SNI 03-3447-1994: Tata cara perencanaan teknis fondasi sumuran untuk jembatan | Persyaratan dan ketentuan perencanaan menggunakan kriteria perencanaan tegangan izin (menggunakan faktor keamanan), disertai faktor beban dan faktor reduksi parameter tanah Dilengkapi dengan metode dan tata cara perhitungan |

Secara konsep, metode AASHTO (2012) hampir sama dengan FHWA (2001) dan NCHRP-507. Dari 12 usulan metode di NCHRP-507 dan 6 metode yang diadopsi oleh AASHTO (2012), perlu dipilih mana yang akan diacu sebagai persyaratan perencanaan fondasi.

Satu hal yang membutuhkan kesepakatan adalah AASHTO (2012) menggunakan metode Tomlinson untuk menentukan faktor alfa di dalam standarnya, sedangkan di Amerika metode tersebut sudah jarang digunakan.

Untuk fondasi, jika akan mengadopsi standar asing, disarankan mengadopsi **AASHTO (2012)**, pertimbangannya:

- SPM Jembatan di PUSJATAN sudah mengacu pada AASHTO
- Mencakup seluruh jenis tiang
- Batasan serviceability limit state lebih lengkap
- Adanya penjelasan tambahan, termasuk distribusi tegangan

Selain itu, perlu ada pasal khusus mengenai beban dan kombinasi beban. Saran jika AASHTO dipilih, adalah:

- Perlu kesepakatan apakah mengacu pada LRFD atau ASD
- Jika dipilih ASD, maka perlu kesepakatan mengenai persyaratan ultimate limit state dengan faktor keamanan ASD (FK dapat mengacu pada FHWA HI-98-032)
- Perlu kesepakatan metode analitis mana yang akan digunakan beserta dasar pertimbangannya

4.5.2 Persyaratan Kondisi Batas

Persyaratan kondisi batas ultimit AASHTO dan Eurocode berbeda definisi untuk fondasi. Kondisi batas ultimit yang berlaku di AASHTO

adalah *strength limit state* dan *service limit state*. Untuk *strength limit state*, berlaku persyaratan sebagai berikut:

- Fondasi telapak: *nominal bearing resistance, overturning or excessive loss of contact*, gelincir pada dasar fondasi dan *constructability*
- Fondasi tiang pancang: tahanan kompresi aksial untuk tiang tunggal dan tiang grup, gaya angkat untuk tiang tunggal dan tiang grup, keruntuhan pons tiang sampai ke kedalaman tanah lunak di bawah tanah keras, tahanan lateral untuk tiang tunggal dan tiang grup dan *constructability*.
- Fondasi tiang bor: tahanan kompresi aksial untuk tiang tunggal dan tiang grup, gaya angkat untuk tiang tunggal dan tiang grup, keruntuhan pons tiang sampai ke kedalaman tanah lunak di bawah tanah keras, tahanan lateral untuk tiang tunggal dan tiang grup dan *constructability*.
- Kondisi terekstrim (*extreme event*), yang perlu dicek adalah kemungkinan adanya gerusan, benturan kendaraan atau kapal, beban gempa dan kondisi lain di lapangan, termasuk likuifaksi.

Untuk *service limit state*, Eurocode tidak memberikan nilai batasan pergerakan sedangkan AASHTO:

- Menyatakan kriteria pergerakan dan batas pergerakan
- Stabilitas global
- Transisi abutmen (penurunan pada oprit jembatan)

4.5.3 Definisi dan Ruang Lingkup Fondasi

AASHTO memberikan definisi dan ruang lingkup fondasi di dalam Tabel 9, pada tabel tersebut juga diberikan definisi dan lingkup dari Eurocode, FHWA dan SNI.

Tabel 9. Definisi dan Ruang Lingkup Fondasi

| Eurocode: BS EN 1997-1:2004 (Eurocode 7), Geotechnical design. | FHWA HI-98-032, May 2001: LRFD for Highway Bridge Substructure | AASHTO, 2012: LRFD Bridge Design Specifications | SNI |
|---|--|--|--|
| Fondasi telapak Fondasi tiang Tiang bor (EN 1536:1999) Tiang dengan perpindahan (<i>displacement pile</i> , EN 12699:2000), <i>driven</i> and <i>jacking pile</i> Dinding tiang (<i>sheet pile walls</i> , EN 12063:2000) Tiang mikro (<i>Micropiles</i> , EN 14199:2005) | Fondasi telapak Fondasi tiang pancang | Fondasi telapak Fondasi tiang pancang Fondasi tiang bor Tiang mikro (<i>Micropiles</i>) | Fondasi langsung Fondasi tiang Fondasi sumuran |

4.5.4 Persyaratan Umur Rencana

AASHTO memberikan persyaratan umur rencana fondasi di dalam Tabel 10, pada tabel tersebut juga diberikan definisi dan lingkup dari National Annex Eurocode, dan BMS (1992).

Tabel 10. Persyaratan Umur Rencana Fondasi

| Jenis bangunan | BS National Annex to EN 1990 | AASHTO 2012 | BMS |
|--|--|------------------------------------|--|
| Sementara | 10 tahun | 3 tahun | 20 tahun (jembatan sementara) |
| Permanen | 120 tahun (<i>"monumental building"</i> , termasuk highway bridges) | • 75 tahun (jembatan konvensional) | • 50 tahun (semua jembatan) • 100 tahun (jembatan khusus) |
| <i>Agricultural and similar structures</i> | 15-25 tahun | - | - |
| <i>Building structures and other common structures</i> | 50 tahun | - | - |

4.5.5 Metode Perencanaan

Metode analitis yang digunakan AASHTO banyak digunakan oleh Praktisi dan Akademisi (P&A) di Indonesia (Tabel 11). Penetapan

metode yang akan diacu dalam perencanaan Indonesia akan dilakukan di tahun 2015 pada saat penyusunan draft SNI persyaratan perencanaan geoteknik dan kegempaan.

Tabel 11. Metode Perencanaan Fondasi

| Lingkup AASHTO, 2012 | Metode analitis | Rujukan |
|--|------------------------|---|
| Daya dukung gesek dan ujung fondasi dalam untuk tanah lempung dan tanah campuran | Metode α | API, 1984 (P&A) B.M Das, 1990 (P&A) Tomlinson, 1987 (AASHTO+P&A) Skempton, 1951 (AASHTO) |
| | Metode λ | Vijayvergiya dan Focht, 1972 (AASHTO+P&A) Skempton, 1951 (AASHTO) |
| | Metode β | Burland, 1973, 1993 (P&A) Ersig & Kirby, 1979 (AASHTO) Skempton, 1951 (AASHTO) |
| Daya dukung gesek dan ujung fondasi dalam untuk tanah pasir | Metode Nurlund/Thurman | Hannigan et al, 2005 (AASHTO) |
| | Metode SPT | Mayerhof (AASHTO) Skempton, 1986 (P&A) |

4.6 Terowongan

4.6.1 Tinjauan Umum SPM yang Membahas Persyaratan Perencanaan Terowongan

Untuk persyaratan perencanaan terowongan, acuan yang dikaji adalah AASHTO (2012), FHWA (2009) dan JSCE (2007). AASHTO (2012) ditujukan untuk perencanaan terowongan untuk jembatan. Kondisi batas yang digunakan adalah Service Limit State, Strength Limit State dan Load Modifier dengan menggunakan faktor beban. Selain itu digunakan pula Resistance Factor untuk bermacam jenis struktur dan material. Persyaratan penurunan di dalam AASHTO (2012) mempertimbangkan beda penurunan arah memanjang, beda penurunan antara timbunan dan pipa serta penurunan footing.

Persyaratan stabilitas dan daya dukung mempertimbangkan stabilitas struktur-struktur pipa atau footing. Timbunan yang letaknya di sudut (*corner backfill*) harus memperhitungkan tekanan-tekanan yang bekerja.

FHWA (2009) adalah manual terowongan yang isinya secara garis besar adalah perencanaan dan konstruksi terowongan jalan. Metode perencanaan yang digunakan adalah metode empiris, metode analitis, dan metode numerik dengan elemen hingga maupun beda hingga.

JSCE (2007) berisi penjelasan mengenai tahapan perencanaan dan pelaksanaan proyek terowongan jalan di pegunungan secara menyeluruh. Dalam hal umur rencana, perlu adanya penetapan umur rencana karena semua standar/pedoman berbeda. AASHTO menetapkan sebesar 75 tahun, sedangkan FHWA (2009) bervariasi dari 100 – 150 tahun tergantung pada kondisi penerapan.

Untuk terowongan, jika akan mengadaptasi standar asing, disarankan mengadaptasi **AASHTO**, pertimbangannya:

- SPM Jembatan di PUSJATAN sudah mengacu pada AASHTO
- Meski AASHTO tidak secara detail memberikan ketentuan untuk terowongan, namun FHWA yang lebih detail dalam bidang terowongan pun mengacu ke AASHTO
- Faktor keamanan dan kriteria perencanaan dapat mengambil dari pedoman/referensi yang lain.

4.6.2 Persyaratan Kondisi Batas

Pada perencanaan terowongan yang disyaratkan di dalam AASHTO dan FHWA, berlaku dua kondisi batas, yaitu *service limit state* dan *strength limit state*.

Service limit state

Struktur tertanam harus diselidiki pada Service Load Combination I, untuk:

- Defleksi struktur-struktur logam, pelat yang melapisi terowongan, pipa termoplastik
- Lebar retakan pada struktur beton yang diperkuat

Strength limit state

Struktur tertanam harus diselidiki untuk beban-beban konstruksi dan pada Service Load Combination I dan II, untuk:

- Struktur-struktur logam: area dinding, tekuk, *seam failure*, batas lentur untuk konstruksi, dan kelenturan struktur-struktur berbentuk kotak dan dalam serta bergelombang.
- Struktur-struktur beton: lentur, geser, dorong, tarik radial
- Pipa termoplastik: area dinding, tekuk, batas lentur
- Pelat yang melapisi terowongan: area dinding, tekuk, *seam strength*, kekakuan konstruksi

4.6.3 Definisi dan Ruang Lingkup Persyaratan Perencanaan Terowongan

AASHTO memberikan definisi dan ruang lingkup fondasi di dalam Tabel 12, pada tabel tersebut juga diberikan definisi dan lingkup dari FHWA dan JSCE.

Tabel 12. Definisi dan Ruang Lingkup Persyaratan Perencanaan Terowongan

| AASHTO 2012 | FHWA 2009 | JSCE 2007 |
|---|--|--|
| Persyaratan pemilihan sifat struktur dan ukuran struktur tertimbun, misalnya gorong-gorong, dan pelat baja yang digunakan untuk menyangga penggalian terowongan dalam tanah | Pedoman untuk pembuatan rencana, desain, pelaksanaan dan rehabilitasi terowongan jalan, dan mencakup berbagai jenis terowongan | Persyaratan umum perencanaan umum (<i>planning</i>), penelitian (<i>research</i>), perencanaan teknis (<i>design</i>), pelaksanaan (<i>construction</i>) dan manajemen konstruksi (<i>construction management</i>) untuk terowongan pegunungan, seperti terowongan jalan, terowongan jalan rel, terowongan air, dll. |

4.6.4 Metode Perencanaan

Metode perencanaan merujuk pada metode-metode dari JSCE (2007), sebagai berikut:

- 1) Empiris
- 2) Desain standar
Diterapkan untuk proyek pembangunan terowongan yang kondisi desainnya tidak berbeda secara signifikan dengan desain dan pelaksanaan yang sebelumnya.
- 3) Desain berdasarkan kondisi yang sama
Digunakan apabila proyek pembangunan terowongan memiliki kemiripan dengan proyek sebelumnya dalam hal tujuan dan spesifikasi.
- 4) Desain menggunakan metode analitis
Digunakan untuk proyek pembangunan terowongan yang memiliki persyaratan desain khusus.

4.7 Kegempaan

Acuan yang dikaji adalah BS EN 1998- 1:2004 Part 1, IBC (2012), AASHTO (2012), ICOLD dan SNI 1726-2012. Kegempaan di dalam BS EN 1998- 1:2004 Part 1 memiliki dua prinsip dasar, yaitu 1) non collapse dengan konsep perencanaan limit state, dan 2) *damage limitation* dengan konsep perencanaan *elastic boundary*. Sedangkan konsep beban gempa di SNI 1726-2012 adalah *ultimate limit state* yang mengacu ke IBC (2012) dan AASHTO (2012). Selain itu persyaratan gempa di dalam BS EN 1998- 1:2004 Part 1 diperuntukkan untuk bangunan gedung, meskipun tidak eksplisit disebutkan.

IBC (2012) dan SNI 1726-2012 menggunakan konsep *risk-targeted* (respon spektra), sedangkan BS EN 1998- 1:2004 Part 1, AASHTO (2012) dan ICOLD masih menggunakan konsep lama (PGA).

Untuk standar persyaratan perencanaan kegempaan, diusulkan agar konsep awalnya adalah PGA untuk 5 bidang (stabilitas lereng dan timbunan, galian dalam, fondasi, terowongan dan dinding penahan) dan disepakati berapa periode ulang yang digunakan. Selain itu, perlu kriteria kegempaan tersendiri untuk tiap-tiap struktur bangunan. Opsi yang diusulkan untuk standar persyaratan perencanaan kegempaan, adalah:

- 1) Kriteria perencanaan gempa untuk tiap-tiap bidang berbeda dan mengacu pada sumber yang berbeda-beda pula
- 2) Kriteria perencanaan gempa yang akan disusun adalah untuk stabilitas lereng dan timbunan, galian dalam, fondasi, terowongan dan *retaining structures*.

Persyaratan perencanaan kegempaan yang diusulkan, selengkapnya diberikan di dalam Tabel 13.

Tabel 13. Rangkuman Hasil Kesepakatan Acuan dalam FGD (Bidang Kegempaan)

| | Eurocode | IBC 2012 ASCE 7-10 | ASHTO | SNI | ICOLD |
|--|---|--|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> – Geoteknik Jalan – Stabilitas lereng dan timbunan – Galian dalam – Fondasi – Terowongan – Retaining structure | Two Level Seismic Design. No-collapse requirement: PE 10% in 50y (475y RP) Damage limitation requirement. 10% in 10y (95y RP) | | Life safety performance PE 7% in 75y (1000y RP) | Life safety performance PE 7% in 75y (1000y RP) | |
| <ul style="list-style-type: none"> – Geoteknik Air – Stabilitas lereng dan timbunan – Galian dalam – Fondasi – Terowongan – Retaining structure | Two Level Seismic Design. No-collapse requirement: PE 10% in 50y (475y RP) Damage limitation requirement. 10% in 10y (95y RP) | | | | Operating Basis Earthquake (OBE) RP: Approx. 145y Safety evaluation earthquake (SEE) RP: not specified, but typically 10,000y |
| <ul style="list-style-type: none"> – Geoteknik Gedung – Stabilitas lereng dan timbunan – Galian dalam – Fondasi – Terowongan – Retaining structure | Two Level Seismic Design. No-collapse requirement: PE 10% in 50y (475y RP) Damage limitation requirement. 10% in 10y (95y RP) | Maximum Considered Geometric Mean (MCE _G) Peak Ground Acceleration, PGA (2% in 50y) | | Gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometrik (MCE _G), Peak Ground Acceleration, PGA (2% in 50y) | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Kriteria perencanaan gempa untuk tiap-tiap bidang berbeda dan mengacu pada sumber yang berbeda-beda pula • Kriteria perencanaan gempa yang akan disusun adalah untuk stabilitas lereng dan timbunan, galian dalam, fondasi, terowongan dan <i>retaining structures</i>. | | | | | |

4.8 Data Geoteknik

Data geoteknik adalah judul yang disepakati bersama untuk pasal yang menguraikan mengenai penyelidikan geoteknik. Acuan utama pada pasal ini adalah Eurocode (BS EN 1997-1:2004) dan pedoman-pedoman pelengkap, yaitu NAVFAC, Geoguide 2 dan Geoguide 3.

Persyaratan perencanaan penyelidikan geoteknik nantinya akan terdiri dari sekurang-kurangnya hal-hal berikut:

- 1) Perencanaan penyelidikan geoteknik
- 2) Pengambilan contoh tanah dan batuan serta pengukuran muka air tanah
- 3) Penyelidikan lapangan untuk tanah dan batuan
- 4) Pengujian laboratorium untuk tanah dan batuan

IBC (2012) tidak mengulas mengenai penyelidikan geoteknik. Dari hasil pengkajian disimpulkan bahwa penyelidikan geoteknik sebaiknya tergantung kepada parameter minimum yang dibutuhkan dalam perencanaan pada masing-masing bidang di dalam standar.

Hal yang terjadi di lapangan adalah instansi-instansi di daerah seringkali tidak memiliki sumber daya yang cukup untuk melaksanakan seluruh pengujian yang direkomendasikan di dalam standar. Dengan demikian diusulkan agar standar tidak mengunci persyaratan jenis dan jumlah titik penyelidikan, namun menetapkan atau mengatur besaran faktor keamanannya.

BS EN 1997- 1:2004 mengulas penyelidikan geoteknik dengan memberikan tujuan penyelidikan, persyaratan khusus terkait penyelidikan, sampai dengan cara mengevaluasi hasil penyelidikan. Di dalam BS EN 1997- 1:2004 juga diberikan rambu-rambu untuk memilih penyelidikan tanah berdasarkan tahap perencanaan. BS EN 1997- 1:2004 juga sudah cukup detail memberikan

minimum jumlah penyelidikan atau pengujian serta memberikan rekomendasi rentang parameter yang dihasilkan berdasarkan pengalaman-pengalaman di lapangan.

Untuk pedoman, yang dinilai paling lengkap mengulas mengenai persyaratan perencanaan penyelidikan geoteknik adalah pedoman penyelidikan geoteknik untuk fondasi bangunan air (Pd T-03.1-2005-A, Pd T-03.2-2005-A dan Pd T-03.3-2005-A) dari Pusair. Sedangkan untuk geoteknik jalan, yang akan dikaji pada kegiatan lanjutan tahun 2015 adalah Panduan Geoteknik 2 dan Panduan Geoteknik 3 mengenai penyelidikan dan pengujian laboratorium.

Dari hasil pengkajian disimpulkan bahwa jenis, jumlah, kedalaman dan posisi titik penyelidikan bersifat spesifik dan tidak dapat diberlakukan secara umum. Sangat tergantung pada masing-masing tipe konstruksi dan fungsi struktur. Karena sifatnya yang spesifik, peraturan penyelidikan tanah direkomendasikan agar dimasukkan ke dalam sub bidang jenis struktur / konstruksi masing-masing, jangan dibuat dalam buku panduan yang terpisah sehingga lebih memudahkan pengguna.

Direkomendasikan agar kesepakatan dari para ahli tersebut untuk tiap jenis struktur yang berbeda dapat dijadikan sebagai standar yang bersifat nasional sehingga tidak menimbulkan dualisme dan bias dalam penyusunan proposal, TOR dan lain sebagainya. Untuk penyelidikan geoteknik, acuan yang disepakati adalah **Eurocode (BS EN 1997-2:2004)** dan pedoman-pedoman teknis pelengkap, seperti Panduan Geoteknik (2001)

Tabel 14 memperlihatkan hasil pengkajian persyaratan dalam penyelidikan tanah dari beberapa standar dan pedoman, juga berdasarkan pengalaman pelaksanaan di lapangan.

Tabel 14. Hasil Kajian Persyaratan Penyelidikan Tanah

| No | Item | Code | | | | | |
|----|------------------------------|---|----------|--|--|------------------|---|
| | | Eurocode 7 | IBC 2012 | SNI | Pedoman Pusair | BMS BridgeDesign | Lain-Lain |
| 1 | Jumlah titik penyelidikan | N/A | N/A | N/A | Untuk retaining wall jarak antar titik 30 - 60 m, untuk pondasi urugan dan pemotongan lereng antara 60 - 120 m | N/A | Radius 1 titik bor 20 - 30 m. Untuk pekerjaan jalan bisa diambil 50 - 200 meter (*Sowers) |
| 2 | Kedalaman titik penyelidikan | N/A | N/A | Sampai di bawah rencana galian untuk pekerjaan galian, dan minimal 1.5 kali lebar dasar timbunan untuk pekerjaan timbunan | Untuk retaining wall kedalaman minimum 2 - 3 kali tinggi dinding, untuk timbunan / galian minimum 1.5 - 2 kali tinggi timbunan / galian. | N/A | Bacaan N-SPT > 60 sebanyak 3 kali berturut-turut atau 2 kali kedalaman galian jika pada konstruksi galian (ambil yang terbesar) *Sowers |
| 3 | Posisi titik penyelidikan | Harus berpola agar dapat dihubungkan untuk pembuatan profil stratifikasi tanah | N/A | Diletakkan di lokasi galian dan timbunan, bila perlu diluar area pekerjaan untuk menyelidiki semua area yang terpengaruh oleh pekerjaan tersebut | Ditentukan oleh tenaga ahli | N/A | |
| | | Pada bangunan diusahakan pada titik kritis (titik yang akan dibebani secara maksimum) | N/A | | | N/A | |

| No | Item | Code | | | | | |
|----|--------------------------|---|----------|-----|---|------------------|---|
| | | Eurocode 7 | IBC 2012 | SNI | Pedoman Pusair | BMS BridgeDesign | Lain-Lain |
| | | Pada area yang terletak di lereng, selain pada area rencana juga harus diposisikan di luar area rencana sehingga dapat mencakup kondisi lereng secara keseluruhan | N/A | | | N/A | |
| 4 | Pengambilan Contoh Tanah | Dibagi menjadi 3 kategori : A, B dan C. Masing-masing kategori menghasilkan kualitas contoh tanah yang berbeda, dipilih sesuai kebutuhan | N/A | N/A | Menggunakan split spoon barrel, modified California, continuous auger, bulk | N/A | Tanah dominan pasir dan tanah dominan lempung dengan N-SPT >15 (very stiff) |
| | A. Terganggu | | | | | | |
| | B. Tak terganggu | | N/A | N/A | Menggunakan thin wall Shelby tube, piston, pitcher, Danisson, block | N/A | Tanah dominan lempung dengan N-SPT 1 - 15 (very soft to stiff) |
| 5 | Jenis penyelidikan | | | | | | |
| | A. Pondasi Dangkal | N/A | N/A | N/A | Stratifikasi tanah, muka air tanah, kuat geser, kompresibilitas & swelling, komposisi kimiawi, parameter indeks, pemetaan geologi | N/A | |

| No | Item | Code | | | | | |
|----|------------------------|------------|----------|-----|---|---------------------|-----------|
| | | Eurocode 7 | IBC 2012 | SNI | Pedoman Pusair | BMS BridgeDesign | Lain-Lain |
| | B. Pondasi Dalam | N/A | N/A | N/A | Stratifikasi tanah, muka air tanah, kuat geser, kompresibilitas & swelling, komposisi kimiawi, parameter indeks | N/A | |
| | C. Galian dan timbunan | N/A | N/A | N/A | Stratifikasi tanah, muka air tanah, kuat geser, kompresibilitas & swelling, komposisi kimiawi, parameter indeks | N/A | |
| | D. Material Timbunan | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | |
| | E. Terowongan | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | |

4.9 Struktur Penahan (*Retaining Structure*)

4.9.1 Tinjauan Umum SPM yang Membahas Persyaratan Perencanaan Struktur Penahan

Acuan yang digunakan untuk persyaratan perencanaan struktur penahan adalah BS EN 1997-1 (2004) , British Standards: BS EN 1990, UK National Annex for Eurocode_Basic of Structural Design, AASHTO (2012), BMS (1992) dan Pedoman perkuatan tanah dengan geosintetik (2008). Eurocode berisi prinsip-prinsip. AASHTO juga berisi prinsip-prinsip, tapi dilengkapi penjelasan-penjelasan (misalnya dengan gambar distribusi beban pada struktur penahan). SPM PU belum ada yang komprehensif mencakup seluruh struktur penahan.

Cakupan BMS sama dengan Eurocode dan AASHTO, tapi BMS yang dilanjutkan menjadi SNI hanya fondasi dangkal dan tiang. Secara konsep, BMS dan Eurocode menggunakan konsep tegangan batas umum kondisi batas layan serta memberikan persyaratan umur rencana. BS EN 1997-1 (2004) ditujukan untuk jalan, jembatan dan bangunan gedung, sedangkan BMS (1992) hanya untuk jembatan.

Untuk metode perencanaan, BMS sudah menggunakan konsep LRFD namun masih memperbolehkan penggunaan WSD untuk kondisi pembebanan A dan B. Sedangkan untuk kondisi pembebanan C disyaratkan hanya LRFD.

BS EN 1997-1 (2004) memberikan tiga opsi perhitungan dalam perencanaan, yaitu menggunakan model analitis, semi empiris dan numerik. Salah satu persyaratan penting di dalam BS EN 1997-1 (2004) adalah persyaratan geometri, dimana ground surface untuk menentukan tekanan tanah pasif: 10% dari tinggi, maksimum 0.5 m. Moda keruntuhan dinding penahan di dalam BS EN 1997-1 (2004) diberikan untuk dinding penahan tegak, dinding graviti, *embedded walls* dan angkur. Untuk nilai perpindahan, hanya diberikan dalam bentuk prinsip namun tidak menyebutkan nilai.

Dalam hal penetapan umur rencana, hanya AASHTO (2012) yang menyebutkan secara eksplisit umur rencana untuk struktur penahan. Untuk standar lainnya, dalam perbandingan ini diasumsikan umur struktur penahan sama dengan umur bangunan struktur.

Untuk struktur penahan, jika akan mengadopsi standar asing, disarankan mengadopsi **AASHTO (2012)**, pertimbangannya:

- SPM Jembatan di PUSJATAN sudah mengacu pada AASHTO
- Mencakup seluruh jenis retaining structure (sama dengan Eurocode)
- Batasan serviceability limit state lebih lengkap
- Adanya penjelasan tambahan, termasuk distribusi tegangan

Perlu ada pasal khusus mengenai beban dan kombinasi beban. Saran jika AASHTO dipilih:

- Perlu kesepakatan apakah mengacu pada LRFD atau ASD
- Jika dipilih ASD, maka perlu kesepakatan mengenai persyaratan kondisi tegangan ultimit dengan faktor keamanan ASD
- Bab 3 (Load and Load Factor) dari AASHTO (terutama subbab 3.11, *earth pressure*) juga perlu diacu.

4.9.2 Definisi dan Ruang Lingkup Struktur Penahan

AASHTO memberikan definisi dan ruang lingkup struktur penahan di dalam Tabel 15, pada tabel tersebut juga diberikan definisi dan lingkup dari Eurocode dan Pedoman Perkuatan Tanah dengan Geosintetik. Eurocode dan AASHTO mencakup lingkup yang paling lengkap untuk struktur penahan, sedangkan pedoman PU terpisah-pisah dan belum lengkap. Definisi jenis-jenis struktur penahan antara AASHTO dan Eurocode berbeda istilahnya saja.

Tabel 15. Definisi dan Ruang Lingkup Struktur Penahan

| AASHTO 2012 | Eurocode | DPU (2008) Pedoman Perkuatan Tanah dengan Geosintetik |
|--|--------------------------------|---|
| Prefabricated modular wall Rigid Gravity Wall Semi-Gravity Retaining Wall (Conventional) | Gravity wall | - |
| Anchored wall Non-gravity concrete walls | Embedded walls | - |
| Mechanically stabilized earth wall | Composite retaining structures | MSEW |

4.9.3 Umur rencana

Perlu adanya penetapan umur rencana karena semua standar/pedoman berbeda. Berhubung Eurocode mencakup desain untuk semua bangunan, umur rencana dalam Eurocode mencakup semuanya.

Hanya AASHTO 2012 yang menyebutkan secara eksplisit umur rencana untuk struktur penahan. Untuk standar lainnya, dalam perbandingan ini diasumsikan umur struktur penahan sama dengan umur bangunan struktur. Tabel 16 memperlihatkan umur rencana struktur penahan dari Eurocode, AASHTO dan BMS.

Tabel 16. Umur Rencana Struktur Penahan

| Jenis bangunan | BS National Annex to EN 1990 | AASHTO 2012 | BMS |
|----------------|--|--|--|
| Sementara | 10 tahun | 3 tahun | 20 tahun (jembatan sementara) |
| Permanen | 120 tahun (<i>"monumental building"</i> , termasuk highway bridges) | <ul style="list-style-type: none"> • 75 tahun (for most application) • 100 tahun (dinding yang menyangga abutmen jembatan) | <ul style="list-style-type: none"> • 50 tahun (semua jembatan) • 100 tahun (jembatan khusus) |

| | | | |
|---|-------------|---|---|
| Agricultural and similar structures | 15-25 tahun | - | - |
| Building structures and other common structures | 50 tahun | - | - |

4.9.4 Persyaratan Kondisi Batas

Pada perencanaan struktur penahan yang disyaratkan di dalam AASHTO dan Eurocode, berlaku dua kondisi batas, yaitu kondisi batas ultimit dan kondisi batas layan.

4.9.4.1 Kondisi batas ultimit

AASHTO dan Eurocode berbeda definisi dalam mengartikan kondisi batas ultimit. Eurocode menggunakan kondisi batas ultimit, sedangkan AASHTO mengelompokkannya menjadi *strength limit state* dan *extreme event*. Berikut adalah penjelasannya.

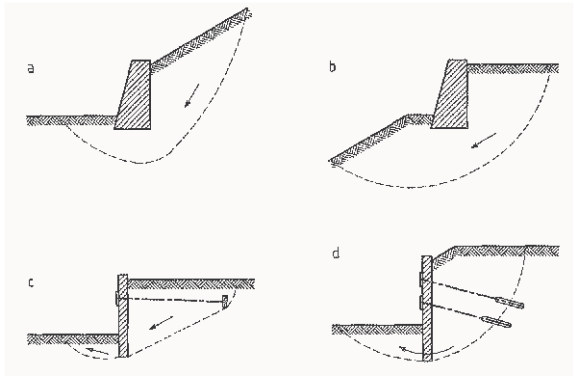
- *Strength limit state*, mencakup keruntuhan daya dukung , gelincir lateral, *loss of base contact* akibat beban eksentrik, keruntuhan cabut angkur atau perkuatan tanah dan keruntuhan struktural.
- *Extreme event*, mencakup keruntuhan stabilitas global, keruntuhan daya dukung, gelincir lateral, *loss of base contact* akibat beban eksentrik, keruntuhan cabut angkur atau perkuatan tanah dan keruntuhan struktural, gempa dan likuifaksi (*Extreme Event I*).

4.9.4.2 Kondisi batas layan

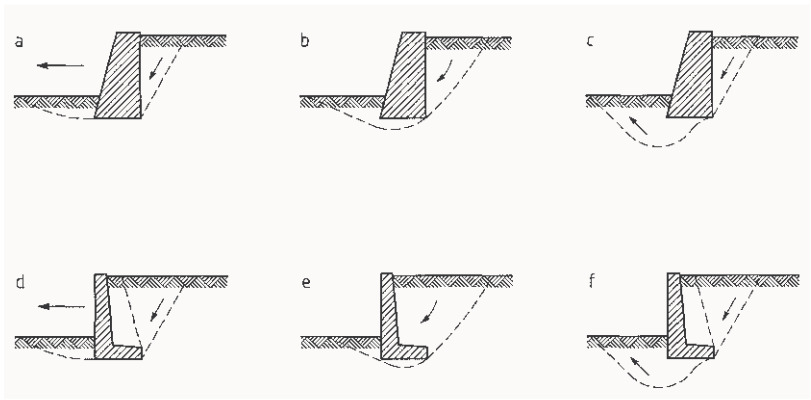
Eurocode tidak memberikan nilai batasan deformasi, dan AASHTO hanya memberikan nilai batasan deformasi untuk MSEW. Kondisi batas layan mengacu pada fondasi (4.5), yaitu penurunan, pergerakan horizontal, keruntuhan global, gerusan saat banjir rencana.

Kriteria deformasi vertikal dan lateral untuk struktur penahan harus dibuat berdasarkan fungsi dan jenis dinding, umur rencana, konsekuensi pergerakan tak terduga dan pengaruh lainnya terhadap stuktur yang berdekatan.

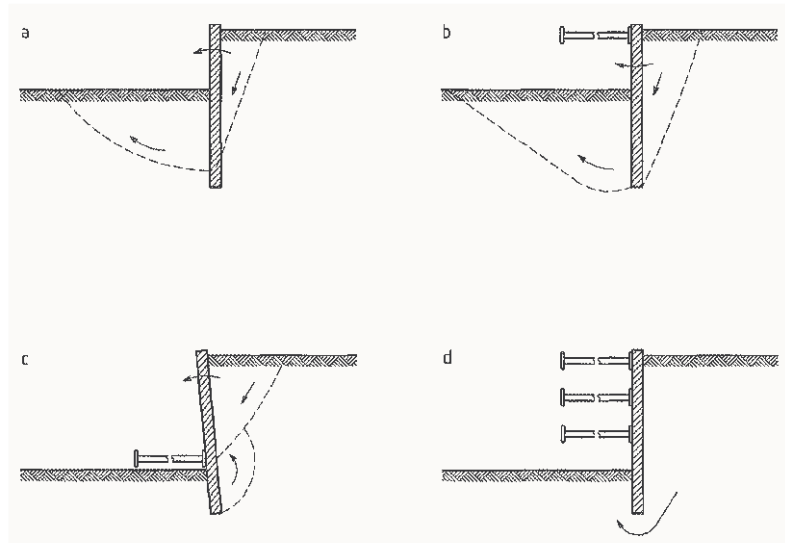
Stabilitas global harus dievaluasi dengan menggunakan metode analisis kesetimbangan batas. Gambar x sampai dengan x memperlihatkan ilustrasi-ilustrasi keruntuhan yang dapat terjadi pada struktur penahan.



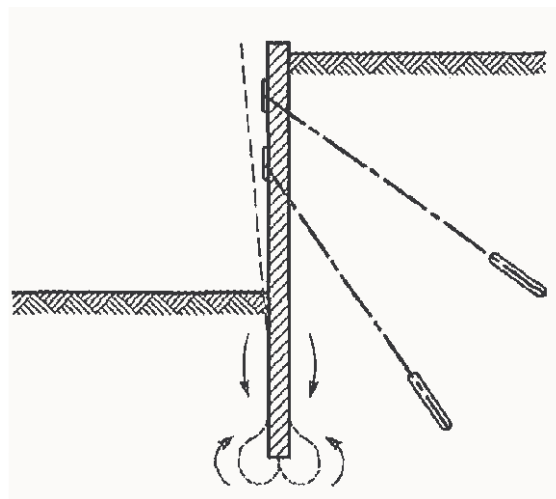
Gambar 7. Stabilitas Global pada kondisi Batas Ultimit



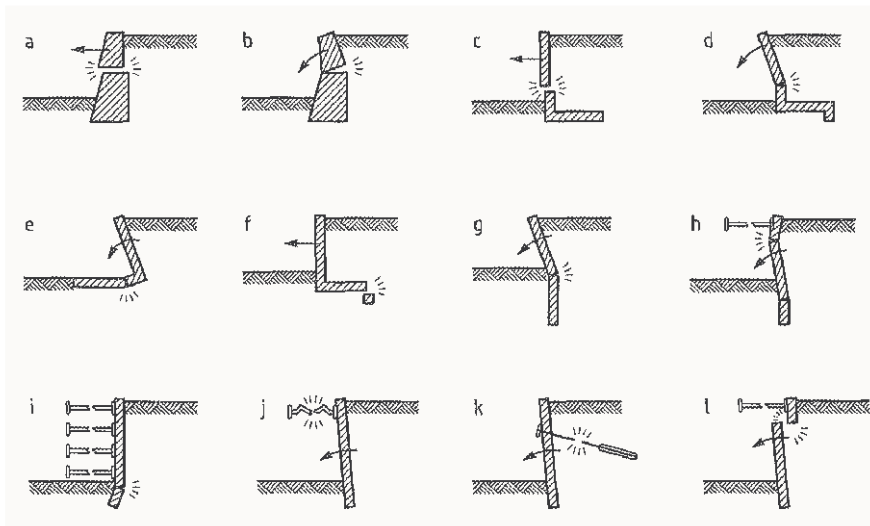
Gambar 8. Keruntuhan Fondasi pada Dinding Gravitasi



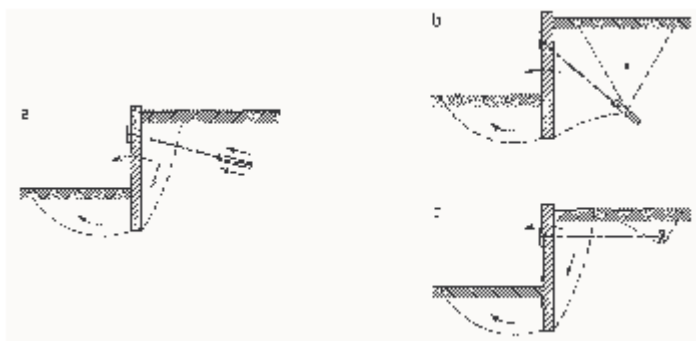
Gambar 9. Keruntuhan Rotasi pada *Embedded Walls*



Gambar 10. Keruntuhan Vertikal pada *Embedded Walls*



Gambar 11. Keruntuhan Struktural pada Struktur Penahan



Gambar 12. Keruntuhan Cabut Angkur

4.10 Perbaikan Tanah (*Ground Improvement*)

4.10.1 Tinjauan Umum SPM yang Membahas Persyaratan Perencanaan untuk Perbaikan Tanah

Acuan yang dikaji adalah BS EN 1997-1: 2004, IBC (2012), BMS Design Code (1992), sedangkan pedoman yang dikaji adalah Panduan Geoteknik (DPU, 2002), Pedoman Manajemen Pekerjaan Tanah (DPU, 2006) dan Pd-T-41-2000 tentang penimbunan dan bahan urugan pada pekerjaan jalan.

Dari hasil pengkajian disimpulkan bahwa BS EN 1997-1: 2004 mengulas prinsip-prinsip perencanaan timbunan, dewatering, rekayasa tanah dan perkuatan tanah. Untuk perencanaan, BS EN 1997-1: 2004 telah mengadopsi konsep Material Factoring Approach (MFA) yang menggunakan faktor keamanan parsial untuk masing-masing parameter perencanaan. Dalam hal kondisi batas layan, diberikan pula rambu-rambu untuk struktur di atas lempung dengan mempertimbangkan rasio kapasitas daya dukung terhadap *serviceability loading*. Di dalam bab perbaikan tanah juga dibahas mengenai angkur. BMS Code Volume 2 (1992) tidak membahas hal mengenai perbaikan tanah, sama halnya dengan IBC (2012).

Panduan Geoteknik 4 membahas upaya-upaya perbaikan tanah, rekomendasi opsi penanganan serta cara analisisnya, namun peruntukannya untuk tanah lunak. Konsep perencanaan yang diadopsi adalah Working Stress Design (WSD) dengan faktor keamanan global. Dua pedoman lain yang digunakan di Balitbang terkait perbaikan tanah juga mengadopsi konsep WSD. Pedoman yang sudah cukup lengkap membahas perencanaan opsi-opsi perbaikan tanah adalah Panduan Geoteknik DPU (2006). Di dalamnya dibahas mengenai perencanaan timbunan, galian dan timbunan di atas tanah lunak beserta rekomendasi faktor keamanan minimum dan persyaratan penurunannya.

Untuk bidang *ground improvement*, diusulkan untuk mengacu pada **Eurocode** dengan penyesuaian terhadap kondisi di Indonesia. Hal-hal yang belum tergambar di dalam Eurocode namun penting untuk dimasukkan ke dalam

standar adalah pembahasan mengenai opsi-opsi *ground improvement*: stabilisasi kimia, stabilisasi mekanik (salah satunya pemadatan), *hydraulic stabilization* (salah satunya *vertical drainage*), *deep vibration*, *grouting*, *deep mixing* serta monitoring dan supervisi. Pembahasan mengenai geosintetik agar dibuat terpisah pada pasal ini.

Tabel 18 merangkum hasil kesepakatan forum dalam penetapan acuan untuk penyusunan standar persyaratan perencanaan geoteknik dan kegempaan.

4.10.2 Persyaratan Kondisi Batas

Pada perencanaan perbaikan tanah yang disyaratkan di dalam Eurocode, berlaku dua kondisi batas, yaitu kondisi batas ultimit dan kondisi batas layan.

Kondisi batas ultimit mengacu pada pendekatan Material Factoring Approach (MFA), sedangkan kondisi batas layan perlu mengikuti ketentuan berikut:

- a) Untuk lempung lunak, lakukan analisis penurunan seketika dan *delayed settlement*
- b) Untuk tanah *fully saturated*, hitung penurunan seketika, penurunan konsolidasi dan penurunan akibat rangkai
- c) Untuk struktur di atas lempung, rasio kapasitas daya dukung terhadap pembebanan selama masa layan perlu dihitung dengan :
 - Rasio < 3 , lakukan perhitungan penurunan
 - Rasio < 2 , lakukan perhitungan penurunan dengan mempertimbangkan efek non linear stiffness tanah dasar

4.10.3 Definisi dan Ruang Lingkup Perbaikan Tanah

Dalam Eurocode, berisi persyaratan mengenai *fill*, *dewatering*, *ground improvement* dan *reinforcement*. Untuk *dewatering*, berisi prinsip perencanaan *dewatering*, termasuk pengaruh akibat penurunan muka air seperti *heaving*, *excessive settlement* terhadap bangunan sekelilingnya. Selain itu membahas pula jenis-jenis *dewatering*, *monitoring*

Untuk *fill*, berisi prinsip persyaratan material, prinsip pemilihan material, prosedur menggunakan material lokal yang tidak sesuai untuk timbunan, prosedur pemilihan cara mengurug dan memadatkan timbunan, pemeriksaan timbunan, dan membahas persyaratan timbunan batu (*rockfill*)

Untuk *ground improvement* dan *reinforcement*, berisi prinsip mengenai faktor-faktor yang harus dipertimbangkan ketika harus menggunakan metode *ground improvement*. Tabel 17 memperlihatkan lingkup perbaikan tanah di dalam standar dan pedoman.

Tabel 17. Lingkup Perbaikan Tanah di Dalam Standar dan Pedoman

| Teknik Perbaikan Tanah | Eurocode | AASHTO | PDDM | Geoguide | Keterangan |
|---------------------------------------|----------|--------|------|----------|------------|
| <i>Vibrocompaction</i> | NA | | ✓ | | |
| <i>Geosynthetics</i> | | | ✓ | | |
| <i>Deep soil mixing</i> | | | ✓ | | |
| <i>Dynamic compaction</i> | | | ✓ | | |
| <i>Blast densification</i> | | | ✓ | | |
| <i>Soil stabilization</i> | | | ✓ | | |
| <i>Stone columns</i> | | | ✓ | ✓ | |
| <i>PVD</i> | | | | ✓ | |
| <i>Pile</i> | | | | ✓ | |
| <i>Matrresses</i> | | | | ✓ | |
| <i>Sand compaction (sand columns)</i> | | | | ✓ | |
| <i>Kolom kapur/semen</i> | | | | ✓ | |
| <i>Electro osmosis</i> | | | | ✓ | |
| <i>Vacuum consolidation</i> | | | | ✓ | |
| <i>Shallow stabilization and</i> | | | | ✓ | |

| Teknik Perbaikan Tanah | Eurocode | AASHTO | PDDM | Geoguide | Keterangan |
|--|----------|--------|------|----------|---|
| <i>piles</i> | | | | | |
| <i>Cakar Ayam</i> | | | | ✓ | |
| <i>Removal and replacement, densification, reinforcement, altering the soil composition, and enhanced drainage</i> | | ✓ | | | Terkait penanganan likuifaksi: <i>Ground improvement to mitigate the liquefaction hazard is the likely alternative if it is not practical to design the foundation system to accommodate the lateral loads</i> |

Tabel 18 adalah rangkuman keseluruhan hasil pengkajian persyaratan perencanaan sembilan bidang yang telah disepakati secara konsensus. Hasil ini akan menjadi dasar penyusunan SNI geoteknik dan kegempaan pada kegiatan TA 2015 mendatang.

Tabel 18. Rangkuman Hasil Kesepakatan Acuan untuk 8 Bidang (Kegempaan dibuat Terpisah)

| No. | Bidang | Hasil Kajian | | | | | | |
|-----|--------------------------------|-----------------------------|--|-----------------------|-----------------------------------|--|--|---|
| | | Acuan utama yang disarankan | Lingkup | Kriteria/Umur Rencana | Konsep Perencanaan (WSD/ASD/LRFD) | Penentuan FK | | Saran (Tindak lanjut yang diperlukan) |
| 1. | Stabilitas lereng dan timbunan | Eurocode | Prinsip-prinsip dalam analisis stabilitas lereng dan analisis timbunan | Tidak disebutkan | ULS SLS | Overall Stability dengan partial factors (Actions, Resistances, Strength) Disesuaikan dengan kondisi di Indonesia | | Untuk hal-hal prinsip mengacu ke Eurocode, tanpa memperhitungkan faktor parsial. Untuk kriteria bisa merujuk ke guidelines terkait Perlu dimasukkan kriteria minimum faktor keamanan dan rekomendasi penggunaan parameter kuat geser tanah dalam analisis stabilitas lereng pada setiap kondisi |

| No. | Bidang | Hasil Kajian | | | | | |
|-----|--------------|--|---|---|--|-------------------|--|
| | | Acuan utama yang disarankan | Lingkup | Kriteria/Umur Rencana | Konsep Perencanaan (WSD/ASD/LRFD) | Penentuan FK | Saran (Tindak lanjut yang diperlukan) |
| 2. | Galian dalam | Eurocode | Eurocode: Overall stability lereng alami, tanggul, penggalian dan struktur penahan tanah, gerakan tanah di sekitar fondasi pada tanah miring (lereng) dan dekat penggalian atau pantai. | Tidak disebutkan | ULS dan SLS Eurocode memperhitungkan perlunya verifikasi kondisi kesetimbangan, kekuatan struktur, kekuatan tanah, daya tahan terhadap uplift dan heave akibat seepage | Overall Stability | Galian Dalam diubah menjadi Stability of Cut and Fill atau Stabilitas Galian dan Timbunan Usulan pembahasan galian dalam pada: <ul style="list-style-type: none"> – Spread Foundations – Pile Foundations – Anchorages – Retaining structures – Hydraulic Failure. – Embankments |
| 3. | Fondasi | AASHTO untuk jalan dan jembatan Bangunan air dan gedung sementara mengacu pada standar-standar yang sudah ada | Fondasi telapak dan fondasi tiang Fondasi untuk bangunan ketenagalistrikan tidak perlu dibahas, namun fondasi untuk bangunan sarana minyak dan gas perlu dikaji. | Bangunan sementara: 3 tahun Permanen: 75 thn (jembatan konvensional) | LRFD <ul style="list-style-type: none"> – Pengecekan desain dengan Strength – Limit State dan Extreme Event | Overall stability | Perlu kesepakatan mengacu pada LRFD atau ASD Jika dipilih ASD, maka perlu kesepakatan mengenai persyaratan ultimate limit state dengan faktor keamanan ASD (FK dapat mengacu pada FHWA HI-98-032) Perlu kesepakatan metode analitis |

| No. | Bidang | Hasil Kajian | | | | | | Saran (Tindak lanjut yang diperlukan) |
|-----|------------------------|-----------------------------|---|---|---|--|---|---------------------------------------|
| | | Acuan utama yang disarankan | Lingkup | Kriteria/Umur Rencana | Konsep Perencanaan (WSD/ASD/LRFD) | Penentuan FK | | |
| 4. | Terowongan | AASHTO, FHWA dan JSCE | Struktur tertimbun, misalnya gorong-gorong, dan pelat baja yang digunakan untuk penyangga penggalian terowongan dalam tanah | 75 tahun | LRFD – Service Limit State – Strength Limit State | Tidak ada kriteria FK, hanya kondisi batas layan (deformasi) | SPM Jembatan di PUSJATAN sudah mengacu pada AASHTO Faktor keamanan dan kriteria perencanaan dapat mengambil dari pedoman/referensi lain | |
| 6. | Penyelidikan geoteknik | Eurocode NAVFAC, Geoguide | Penyelidikan lapangan dan laboratorium untuk pekerjaan geoteknik, tidak termasuk penyelidikan untuk desain gempa | Kriteria jenis, jumlah, kedalaman dan posisi titik penyelidikan bersifat spesifik dan tidak dapat diberlakukan secara umum. Sangat tergantung pada masing-masing tipe konstruksi dan fungsi struktur | Tidak disebutkan | Tidak disebutkan | Karena spesifik perlu dibahas pada masing-masing bidang Perlu kesepakatan jenis, jumlah, kedalaman dan posisi titik penyelidikan | |

| No. | Bidang | Hasil Kajian | | | | | |
|-----|---------------------|--|---|---|--|-------------------|---|
| | | Acuan utama yang disarankan | Lingkup | Kriteria/Umur Rencana | Konsep Perencanaan (WSD/ASD/LRFD) | Penentuan FK | Saran (Tindak lanjut yang diperlukan) |
| 7. | Retaining structure | AASHTO dan pedoman-pedoman mengenai struktur penahan | <ul style="list-style-type: none"> - Prefabricated modular wall - Rigid Gravity Wall - Semi-Gravity (Conventional) Retaining Wall - Anchored wall - Non-gravity concrete walls - MSEW | Bangunan sementara: 3 tahun Permanen: – 7 5 tahun (untuk sebagian besar kondisi) – 1 00 tahun (dinding yang menyangga abutmen jembatan) | Strength limit state (<i>Bearing resistance, Lateral sliding, Loss of base contact due to eccentric loading, Pullout, Structural</i>). Extreme event (<i>Overall stability, Bearing resistance Lateral sliding, Loss of base contact Pullout, Structural failure, gempa dan likuifaksi</i>) | Overall stability | Perlu kesepakatan FK Perlu adanya penetapan umur rencana Perlu pasal khusus beban dan kombinasi beban Pembahasan ground anchors termasuk di dalamnya |

| No. | Bidang | Hasil Kajian | | | | | | |
|-----|---------------------------|---|-----------------------------------|---|---|---|--|--|
| | | Acuan utama yang disarankan | Lingkup | Kriteria/Umur Rencana | Konsep Perencanaan (WSD/ASD/LRFD) | Penentuan FK | Saran (Tindak lanjut yang diperlukan) | |
| 6. | <i>Ground Improvement</i> | Eurocode dengan penyesuaian dengan kondisi di Indonesia | Geoteknik jalan, bangunan dan air | Prinsip-prinsip, kriteria dan metode <i>ground improvement</i> dijelaskan, namun tidak menyebut angka atau nilai | <ul style="list-style-type: none"> – ULS – SLS | Overall Stability dengan partial factors (Actions, Resistances, Strength) Disesuaikan dengan kondisi di Indonesia | Mencakup stabilisasi kimia, stabilisasi mekanik (salah satunya pemadatan), hydraulic stabilization (salah satunya vertical drainage), deep vibration, grouting, deep mixing serta monitoring dan supervisi. Geosintetik dibahas terpisah | |
| 7. | <i>Hydraulic failure</i> | Eurocode dan guidelines yang berkaitan | Geoteknik jalan, bangunan dan air | Prinsip-prinsip keruntuhan tanah akibat pengaruh tekanan air pori atau rembesan (<i>failure by uplift, failure by heave, failure by internal erosion dan failure by piping</i>) | LRFD Nilai batasan limit state tidak dibahas, namun dapat merujuk ke pedomannya (geoguide) | Hanya disebut di 1 pedoman, faktor keamanan global terhadap piping, $FK_p \geq 4$ | Bahasan mengenai hydraulic failure masuk ke dalam pasal Stability of Cut and Fill Nilai batasan limit state untuk tanah lunak mengacu pada Geoguide | |

5 Penutup

5.1 Persyaratan Perencanaan Geoteknik dan Kegempaan

Dalam menyusun standar persyaratan perencanaan untuk geoteknik dan kegempaan, perlu ditelusuri terlebih dahulu isi standar yang sudah ada dan digunakan secara luas, sebagai contoh Eurocode atau British European Norm (BS-EN) untuk Eropa dan AASHTO untuk digunakan di Amerika. Penelusuran isi standar bertujuan untuk menentukan bentuk standar yang paling tepat yang akan diaplikasikan di Indonesia dan pengelompokkan bidang yang akan dikaji di dalam standar.

Setelah mengkaji cakupan standar-standar di luar negeri, perlu ditelusuri juga status penyusunan Standar Pedoman Manual (SPM) di Balitbang Kementerian PU, khususnya di Pusjatan. Hal ini bertujuan untuk merekapitulasi standar-standar yang sudah tersedia dan yang belum tersedia sehingga menjadi prioritas utama pengkinian atau penyusunan. Dari hasil penelusuran juga diketahui bahwa standar (*code*) yang sudah ada di Indonesia hanya SNI 1726-2012 yang mengatur ketentuan gempa untuk bangunan gedung. Pedoman atau SNI Fondasi termasuk yang paling sedikit disusun (hanya 6 SNI).

Pengelompokan bidang di dalam standar diputuskan terdiri dari sembilan bidang yaitu stabilitas lereng dan timbunan, galian dalam, fondasi, terowongan, penyelidikan geoteknik, retaining structure, kegempaan, ground improvement dan hydraulic failure.

Dari hasil ulasan standar-standar yang sudah ada, pada umumnya standar mengatur prinsip-prinsip saja. Apabila ada yang bersifat aturan pelaksanaan, maka penjelasannya pun tidak sedetail penjelasan di dalam pedoman. Standar sekurang-kurangnya membahas mengenai: kriteria perencanaan (prinsip, bukan berbentuk nilai-nilai), pertimbangan perencanaan, umur rencana struktur,

konsep perencanaan atau kondisi batas (Working Stress Design, Allowable Stress Design atau Load and Resistance Factored Design), serta monitoring dan evaluasi.

5.2 Saran untuk Penelitian Lanjutan

Untuk persyaratan perencanaan bidang fondasi, perlu konsensus untuk menyepakati akan mengacu pada konsep LRFD atau ASD. Jika dipilih ASD, maka perlu kesepakatan mengenai persyaratan *ultimate limit state* dengan faktor keamanan ASD (faktor keamanan dapat mengacu pada FHWA HI-98-032). Karena fondasi merupakan bidang yang diprioritaskan penyusunan SPMnya, maka perlu segera disepakati metode analitis yang akan digunakan beserta dasar pertimbangannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Masyhur Irsyam MSE Ph.D dan Dr. M. Asrurifak atas masukannya yang berharga untuk penulisan buku naskah ilmiah ini.

Tim Penulis juga berterimakasih kepada Ir. Taufik Taib MT, Indra Noer Hamdhan, Budi Cahyadi MT, Rakhman Taufik, M.Sc, Fahmi Aldiamar, MT., Dian Asri Moelyani, M.Sc., Desyanti, MT dan Dinny Kus Andiany MT atas bantuannya dalam penulisan naskah ilmiah ini.

Penghargaan setinggi-tingginya juga diberikan kepada Sub Tim Teknis Balai Geoteknik Jalan dan Tim Narasumber yang tergabung di dalam SK Balitbang – HATTI atas ilmu dan pembelajaran yang berharga mengenai geoteknik dan kegempaan.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*. American Association of State Highway and Transportation Officials. ISBN: 978-1-56051-523-4. Publication Code: LRFDUS-6. 2012.
- ASCE 7. *Minimum Design Loads for Building and Other Structures*. American Society for Civil Engineer. 2002.
- Bond, Andrew & Harris, Andrew. *Decoding Eurocode 7*. London: Taylor & Francis, 616pp. 2008.
- Bowles, D.S, et.al. *ICOLD Bulletin on Dam Safety Management*. IPENZ Proceedings of Technical Groups 22/2 (LD).
- BSI. *Eurocode. Basis of structural design. BS EN 1990:2002*. British Standard Institution. Juli 2002.
- BSI. *Eurocode 7. Geotechnical design General rules. BS EN 1997-1:2004*. British Standard Institution. Desember 2004.
- BSI. *Eurocode 7. Geotechnical design Ground Investigation and Testing. BS EN 1997-2:2007*. British Standard Institution. Desember 2007.
- BSI. *Eurocode 8. Design of structure for earthquake resistance-Part 1 General rules, seismic actions and rules for buildings. BS EN 1998-1:2004*. British Standard Institution. Desember 2004.
- BSI. *BS 6031:1981. Code of Practice of Earthworks*. British Standard Institution. 1999.
- BSN. SNI 1726-2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Badan Standardisasi Nasional. 2012.
- Canadian Foundation Engineering Manual 4th ed.

- DPU¹. *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan Jilid 1 (Bridge Management System, BMS Bridge Design Code Volume 1)*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Direktorat Bina Program Jalan. 1992.
- DPU². *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan Lampiran A Persyaratan Tahan Gempa (Bridge Management System, BMS Bridge Design Code Volume 2)*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Direktorat Bina Program Jalan. 1992.
- DPU³. *Bridge Design Manual Volume 1 (Bridge Management System)*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. Desember 1992.
- DPU⁴. *Bridge Design Manual Volume 2 (Bridge Management System, Section 8 Design of Pile Foundations)*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. Desember 1992.
- DPU⁵. *Bridge Investigation Manual (Bridge Management System)*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga dan Australian International Development Assistance Bureau. Februari 1993.
- DPU⁶. *Bridge Inspection Manual (Bridge Management System)*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga dan Australian International Development Assistance Bureau. Februari 1993.
- DPU⁷. *Standard Specification for Bridge Construction Volume 1 (Bridge Management System)*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga dan Australian International Development Assistance Bureau. Januari 1993.
- DPU⁸. *Standard Specification for Bridge Construction Volume 2 (Bridge Management System)*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga dan Australian International Development Assistance Bureau. Februari 1993.

- Depkimpraswil¹. *Pt-T-09-2002-B. Panduan Geoteknik 2 Penyelidikan Tanah Lunak Desain dan Penyelidikan Lapangan*. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2002.
- Depkimpraswil². *Pt-M-01-2002-B. Panduan Geoteknik 3 Penyelidikan Tanah Lunak Pengujian Laboratorium*. Departmen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2002.
- Depkimpraswil³. *Pt-T-10-2002-B. Panduan Geoteknik 4 Desain dan Konstruksi*. Departmen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2002.
- DPU. 2006. *Manajemen Pekerjaan Tanah, Panduan Geoteknik untuk Jalan* ISBN:979-95959-1-6. Departemen Pekerjaan Umum dan JICA. 2006.
- FHWA. *Load and Resistance Factor Design (LRFD) for Highway Bridge Substructures Reference Manual Publication No. FHWA HI-98-032*. Federal Highway Administration. 2001.
- Honjo, Y, et.al. *The JGS Foundation Design Guideline: Geo-code 21*. Tidak bertahun.
- Honjo, Y. *Comprehensive Design Code Development in Japan:Geo-code 21 ver: 3 and Code Platform ver:1*. LSD 2003: Intenational Workshop on Limit State Design in Geotechnical Engineering Practice. 2003.
- ICC. *International Building Code*. International Code Council. ISBN:978-1-60983-040-3 (soft-cover edition). ISBN: 978-1-60983-039-7 (loose-leaf edition)USA 2012.
- JSCE. *Standard Specifications for Tunneling-2006: Mountain Tunnels*. Japan Society for Civil Engineer. 2007.
- NAVFAC. *Foundation and Earth Structures Design Manual 7.02. Naval Facilities Engineering Command*. September 1986.
- Peraturan Gubernur. *Peraturan Gubernur Provinsi Khusus Ibukota Jakarta Nomor x Tahun 2009 tentang Pedoman Perencanaan Geoteknik dan Struktur Bangunan di Provinsi Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta*. 2009.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. *PP Nomor 102 Tahun 2000 Tentang Standardisasi Nasional*. 2000.

US Army Corps. *EM 1110-2-1902. Slope Stability Engineer Manual. Department of the Army U.S Army Corps of Engineer Washington DC*. Oktober 2003.

Vivo, M. *ICOLC International Commission on Large Dams*.

Wikipedia.org. http://en.wikipedia.org/wiki/International_Building_Code.
Tanggal unduh 12 Februari 2014.