



PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
NOMOR 4 TAHUN 2008
TENTANG
EVALUASI TAPAK REAKTOR DAYA UNTUK ASPEK GEOTEKNIK
DAN PONDASI REAKTOR DAYA

DENGAN RAHMAT TUHAN YANG MAHA ESA

KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR,

Menimbang : bahwa untuk menindaklanjuti ketentuan Pasal 73 Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 5 Tahun 2007 tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Reaktor Nuklir, perlu menetapkan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir tentang Evaluasi Tapak Reaktor Daya Untuk Aspek Geoteknik Dan Pondasi Reaktor Daya;

Mengingat : 1. Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1997 Nomor 23, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3676);
2. Peraturan Pemerintah Nomor 43 Tahun 2006 tentang Perizinan Reaktor Nuklir (Lembaran Negara Tahun 2006 Nomor 106, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4668);
3. Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 5 Tahun 2007 tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Reaktor Nuklir;

MEMUTUSKAN :

Menetapkan : PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR TENTANG EVALUASI TAPAK REAKTOR DAYA UNTUK ASPEK GEOTEKNIK DAN PONDASI REAKTOR DAYA.

Pasal 1

Dalam Peraturan Kepala Badan Penawas Tenaga Nuklir ini yang dimaksud dengan :

1. Pemohon Evaluasi Tapak yang selanjutnya disingkat PET adalah Badan Pelaksana, Badan Usaha Milik Negara, koperasi, atau badan swasta yang berbentuk badan hukum yang mengajukan permohonan untuk melaksanakan kegiatan evaluasi tapak selama pembangunan, pengoperasian dan dekomisioning reaktor nuklir.
2. Badan Pengawas Tenaga Nuklir yang selanjutnya disingkat BAPETEN adalah instansi yang bertugas melaksanakan pengawasan melalui peraturan, perizinan, dan inspeksi terhadap segala pemanfaatan tenaga nuklir.

Pasal 2

Peraturan Kepala BAPETEN ini mengatur PET dalam melakukan evaluasi tapak Reaktor Daya untuk aspek geoteknik dan pondasi Reaktor Daya yang meliputi :

- a. aspek rekayasa geoteknik kondisi lapisan bawah permukaan dan tidak membahas aspek geologi, kecuali bila aspek tersebut berpengaruh langsung terhadap sistem pondasi;
- b. program investigasi untuk memperoleh informasi kondisi lapisan bawah permukaan yang memenuhi syarat untuk pembangunan Reaktor Daya;
- c. profil geoteknik dan parameter yang sesuai untuk analisis geoteknik yang diperlukan dalam desain Reaktor Daya;
- d. pemantauan parameter geoteknik tapak;

- e. metoda analisis yang sesuai untuk penilaian keselamatan tapak, khususnya untuk penilaian terhadap dampak gempa bumi, termasuk penentuan spektra respon spesifik tapak dan perkiraan potensi likuifaksi;
- f. metoda analisis yang sesuai untuk penilaian keselamatan efek interaksi statik dan dinamik antara tanah dan struktur, dan konsekuensinya pada daya dukung dan penurunannya;
- g. pekerjaan pondasi, termasuk konsekuensi pada profil dan parameter geoteknik, perbaikan material pondasi yang mungkin dilakukan dan pemilihan sistem pondasi yang sesuai dengan kapasitas tanah; dan
- h. struktur bangunan tanah, termasuk lereng, dan bangunan yang tertanam untuk penilaian keselamatan; dan
- i. metoda yang sesuai untuk analisis perilaku bangunan tersebut pada kondisi beban statik dan dinamik.

Pasal 3

- (1) Peraturan Kepala BAPETEN ini merupakan ketentuan teknis yang bertujuan untuk:
 - a. memberikan petunjuk kepada PET dalam melakukan evaluasi tapak berdasarkan aspek rekayasa geoteknik dan pondasi untuk keselamatan Reaktor Daya; dan
 - b. memberikan petunjuk bagi para perancang dalam melakukan analisis dan mendukung penilaian aspek geoteknik dan pondasi untuk keselamatan Reaktor Daya.
- (2) Peraturan Kepala BAPETEN ini juga digunakan untuk para evaluator dalam proses perizinan.

Pasal 4

Ketentuan teknis sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 tercantum dalam Lampiran yang tidak terpisahkan dari Peraturan Kepala BAPETEN ini.

Pasal 5

Peraturan Kepala BAPETEN ini berlaku pada tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di Jakarta
pada tanggal 1 Februari 2008

KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR,

ttd

SUKARMAN AMINJOYO

Salinan sesuai dengan aslinya
Kepala Biro Hukum dan Organisasi,
ttd
Guritno Lokollo

LAMPIRAN
PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
NOMOR 4 TAHUN 2008
TENTANG
EVALUASI TAPAK REAKTOR DAYA UNTUK ASPEK GEOTEKNIK DAN
PONDASI REAKTOR DAYA

SISTEMATIKA
EVALUASI TAPAK REAKTOR DAYA UNTUK ASPEK GEOTEKNIK DAN
PONDASI REAKTOR DAYA

BAB I PROGRAM INVESTIGASI

- A. INVESTIGASI GEOTEKNIK UNTUK SETIAP TAHAP
 - Tahap Pemilihan
 - Tahap Karakterisasi
 - Tahap pra-operasi
 - Tahap operasi
- B. SUMBER DATA
 - Dokumen historis dan dokumen terkini
 - Eksplorasi lapangan
 - Uji Laboratorium
- C. INVESTIGASI KONDISI BAWAH PERMUKAAN YANG RUMIT
 - Perkiraan kondisi lapisan bawah permukaan yang rumit
 - Deteksi rongga bawah permukaan
 - Evaluasi dan perlakuan kondisi bawah permukaan yang rumit

BAB II PERTIMBANGAN TAPAK

- A. KATEGORISASI TAPAK
- B. PARAMATER PROFIL
- C. RESPON SEISMIK MEDAN BEBAS DAN SPEKTRA RESPON SPESIFIK TAPAK
- D. POTENSI LIKUIFAKSI
 - Profil desain untuk potensi likuifaksi
 - Metoda evaluasi untuk potensi likuifaksi

BAB III PERTIMBANGAN PONDASI

- A. PEKERJAAN PONDASI
 - Pekerjaan pondasi awal
 - Perbaikan kondisi pondasi
 - Pilihan sistem pondasi dan konstruksi
- B. INTERAKSI TANAH-STRUKTUR
 - Analisis Statik
 - Analisis Dinamik
- C. STABILITAS
 - Parameter-parameter input
 - Daya dukung
 - Faktor keselamatan
 - Penggulingan (*Overturning*)
 - Pergeseran (*Sliding*)
- D. PENURUNAN dan PENGANGKATAN (*HEAVES*)
 - Analisis Statik
 - Analisis Dinamik
- E. EFEK GETARAN TERINDUKSI

BAB IV STRUKTUR BANGUNAN TANAH

- A. PRINSIP UMUM
- B. LERENG ALAMI
- C. BENDUNGAN DAN TANGGUL
- D. TANGGUL-LAUT, PEMECAH GELOMBANG, PELINDUNG GELOMBANG

BAB V STRUKTUR TERTANAM

- A. DINDING PENAHAN
- B. STRUKTUR BANGUNAN TERTANAM
- C. PIPA TERTANAM, PIPA PENYALUR (CONDUITS) DAN TEROWONGAN
 - Program investigasi
 - Pertimbangan konstruksi
 - Pertimbangan desain
 - Pertimbangan analisis

BAB VI PEMANTAUAN PARAMETER GEOTEKNIK

- A. TUJUAN PEMANTAUAN
- B. PEDOMAN PEMANTAUAN
- C. PERALATAN PEMANTAU

BAB VII JAMINAN MUTU DAN DOKUMENTASI

ANAK LAMPIRAN I Tabel Spasi dan Kedalaman Eksplorasi Bawah Tanah

ANAK LAMPIRAN II Padanan Kata

BAB I

PROGRAM INVESTIGASI

A. INVESTIGASI GEOTEKNIK UNTUK SETIAP TAHAP

1. Tujuan investigasi kondisi lapisan bawah permukaan adalah memberikan informasi atau data dasar untuk pengambilan keputusan yang akan dibuat mengenai sifat alami dan kesesuaian material lapisan bawah permukaan tanah. Pada setiap tahap evaluasi tapak, program investigasi harus memberikan data yang diperlukan untuk karakterisasi lapisan bawah permukaan tanah.
2. Program investigasi pada tahap yang berbeda sangat berlainan karena persyaratan data yang diperlukan bervariasi. Umumnya, data yang diperlukan memberikan informasi geologi dan rekayasa yang akan digunakan dalam analisis atau evaluasi keselamatan. Data tersebut dapat diklasifikasikan menjadi:
 - a. informasi geologi (stratigrafi dan struktur);
 - b. deskripsi sifat dan kedalaman material bawah permukaan;
 - c. karakterisasi tanah dan batuan; dan
 - d. informasi air tanah (rejim, lokasi dan karakteristik unit hidrologi, sifat kimia fisik air).
3. Hasil investigasi harus didokumentasikan sesuai dengan kondisi tapak (tanah atau batuan), proses evaluasi tapak terkait, dan analisis verifikasi yang diperlukan.
4. Berbagai metoda investigasi, seperti penggunaan dokumen terkini dan dokumen historis, eksplorasi geoteknik dan geofisik di lapangan dan pengujian laboratorium, dapat digunakan untuk semua tahap evaluasi tapak, tetapi pada tingkat yang bervariasi. Tingkat investigasi yang diperlukan untuk evaluasi tapak ditinjau dari kinerja lapisan material bawah permukaan dan pekerjaan tanah (*earthworks*), pada kondisi beban yang telah ditetapkan baik statik maupun dinamik diberikan di bawah ini.

Tahap Pemilihan

5. Tujuan investigasi selama tahap pemilihan tapak adalah untuk menentukan kesesuaian tapak. Selama tahap pemilihan, aspek geologi, geomorfologi, dan

geoteknik diinvestigasi dan biasanya diidentifikasi wilayah atau area yang tidak dipertimbangkan lebih lanjut. Informasi lapisan bawah permukaan pada tahap ini umumnya diperoleh dari dokumen terkini, dokumen historis, dan pengamatan lapangan termasuk survei geologi dan geomorfologi, dan digunakan dalam penilaian berikut:

- a. **Kondisi lapisan permukaan tanah yang tidak dapat diterima.** Tapak dengan kondisi geologi yang mempengaruhi keselamatan Reaktor Daya dan tidak dapat diperbaiki dengan perlakuan geoteknik atau dikompensasi dengan upaya konstruktif tidak dapat diterima. Bahaya geologi seperti patahan permukaan, aktivitas vulkanik, tanah longsor, proses erosi, amblesan dan tanah runtuh akibat rongga bawah tanah (baik secara alami atau buatan manusia) atau penyebab lain harus diidentifikasi dan dievaluasi. Tingkat investigasi harus disesuaikan dengan bahaya yang dipertimbangkan.
 - b. **Klasifikasi tapak.** Klasifikasi kondisi bawah permukaan dapat mengacu pada literatur geoteknik dan geologi. Tapak dapat diklasifikasikan menjadi tapak batuan, tapak tanah keras atau batuan lunak, tapak tanah sedang sampai lunak, atau kombinasi dari tapak tersebut sebagaimana dijelaskan pada Bab III. Berdasarkan kohesinya, jenis tanah dapat digolongkan menjadi tanah yang kohesif dan bukan kohesif. Meskipun demikian, klasifikasi ini mungkin tidak berlaku untuk tapak tertentu. Sebagai contoh, pada formasi kuarter mungkin terdapat batas yang rumit antara batuan dan lempung yang harus diinvestigasi dan dipantau dengan seksama.
 - c. **Rejim air tanah.** Lokasi dan rejim air tanah harus diestimasi.
 - d. **Kondisi pondasi.** Jenis tanah, kedalaman batuan dasar, dan sifat deposit dapat diperkirakan. Hal ini akan memberikan seleksi awal jenis pondasi yang akan dibuat.
6. Berdasarkan pada informasi lapisan bawah permukaan tanah dan kesesuaian pondasi, peringkat calon tapak dapat ditentukan. Pada tahap pemilihan juga perlu diperkirakan bahaya geologi, efek amplifikasi seismik, potensi likuifaksi, daya dukung, potensi penurunan, dan pengembungan, interaksi tanah-struktur, dan kondisi air tanah. Setelah tahap ini, tapak dipilih untuk dipertimbangkan lebih

lanjut berdasarkan aspek geoteknik.

Tahap Karakterisasi

Tahap Verifikasi

7. Selama tahap verifikasi, diasumsikan bahwa tata letak dan beban bangunan telah ditetapkan. Faktor berikut harus dipertimbangkan dalam evaluasi, dengan memperhitungkan kondisi normal dan ekstrim seperti gempa bumi dan banjir, yaitu :
 - a. bahaya geologi;
 - b. kondisi geologi dan lapisan bawah permukaan tanah;
 - c. potensi likuifaksi;
 - d. jenis pondasi yang layak;
 - e. daya dukung awal dan stabilitas pondasi lainnya;
 - f. tingkat penurunan awal;
 - g. kedalaman dan rejim air tanah;
 - h. tata guna tanah sebelumnya; dan
 - i. persyaratan penyiapan tapak.

Pada tahap ini program investigasi harus mencakup skala penuh tapak maupun skala yang lebih kecil sesuai dengan pertimbangan tata letak.

8. Teknik investigasi tapak dan kriteria yang berkaitan berikut ini harus diperhatikan:

- a. **Pengeboran (*Rotary borehole drilling*)**

Pengeboran meliputi seluruh lokasi pengeboran untuk memberikan gambaran yang menyeluruh mengenai kondisi tapak. Hal ini meliputi penempatan lokasi pengeboran sepanjang dua jalur yang berpotongan dengan satu titik pengeboran pada perpotongan jalur tersebut. Selama proses pengeboran, dilakukan pengambilan sampel untuk kualifikasi batuan atau tanah dan pengujian laboratorium. Disamping itu, lubang pengeboran dapat digunakan untuk pemasangan peralatan pada pengujian lapangan jangka panjang, termasuk pemantauan rejim air tanah. Konsekuensi dari lubang bor pada rejim air minum harus diinvestigasi. Apabila diperlukan, sumur uji (*test pit*) atau terowongan uji (*test tunnel*) harus digunakan untuk memfasilitasi pengujian langsung kondisi lapisan bawah permukaan.

b. Uji lapangan

Sesuai dengan kondisi lapisan bawah permukaan tanah, berbagai jenis uji lapangan sederhana dapat digunakan untuk mengukur sifat mekanik lapisan tanah atau batuan. Pengujian ini harus mencakup berbagai uji beban lapangan dan pengukuran piezometrik air tanah.

c. Survei refleksi dan refraksi seismik

Survei ini harus dilaksanakan untuk memberikan informasi kedalaman dan kondisi lapisan horizontal secara kontinyu untuk evaluasi kondisi lapisan bawah permukaan. Interpretasi dari survei ini memberikan informasi stratigrafi dan struktur geologi, lokasi muka air tanah, dan perkiraan kecepatan gelombang tapak. Pengeboran memberikan konfirmasi stratigrafi vertikal untuk survei.

d. Uji laboratorium

Uji laboratorium terbatas yang terdiri dari uji klasifikasi dan indeks, harus dilakukan untuk tanah atau batuan. Apabila diperoleh sampel tanah kohesif selama pengeboran, pengujian konsolidasi dan kekuatan geser harus dilaksanakan pada sampel yang tidak terganggu (*undisturbed sample*) untuk memperkirakan potensi penurunan dan parameter kuat geser tanah.

9. Selama investigasi lapangan, harus diperhatikan dalam mengidentifikasi karakteristik lapisan permukaan tanah yang tidak diinginkan, yang meliputi zona berongga, seperti batu gamping, tanah mengembang (*swelling soil*) dan batu serpih mengembang (*swelling shales*) dan adanya kantong-kantong gas, zona lemah atau cacat dalam batuan kristal, bidang geser potensial yang dibentuk oleh lapisan bawah permukaan yang tidak stabil.

Tahap Konfirmasi

10. Tujuan investigasi pada tahap konfirmasi adalah mengkonfirmasi secara rinci hasil-hasil yang diperoleh pada tahap sebelumnya. Untuk melakukan konfirmasi tersebut, dilakukan program eksplorasi lapisan bawah permukaan dan program uji laboratorium dengan menggunakan skema pengeboran berspasি (*grid boring scheme*) atau skema pengeboran lainnya yang sesuai dengan kondisi tapak dan Reaktor Daya yang akan dibangun. Jarak titik pengeboran (*grid spacing*) dapat bervariasi bergantung pada geometri kondisi lapisan bawah permukaan. Metoda

titik pengeboran seragam (*grid uniform*) disesuaikan dengan kondisi tanah dari tapak yang relatif seragam. Apabila terjadi ketidakmiripan atau ketidaksinambungan, harus dilakukan pengeboran tambahan pada jarak yang cukup pendek untuk mendeteksi fitur dan evaluasi yang tepat. Konsekuensi pengeboran pada rejim air tanah, mungkin pada air minum, harus dipertimbangkan.

11. Indikator potensi rongga dan kerentanan terhadap tanah runtuhan harus dipertimbangkan sekurang-kurangnya meliputi:
 - a. *sink, sink pond, uvala, hum* atau *pepino*, Gua dan gua kapur;
 - b. sungai bawah tanah;
 - c. sejarah amblesan tanah;
 - d. penambangan dan kegiatan terkait lainnya;
 - e. jembatan alam (*natural bridges*);
 - f. depresi permukaan;
 - g. mata air;
 - h. jenis batuan seperti batu gamping, dolomit, gipsum, anhidrit, halit, lava, batuan klastik dengan sementasi lemah, batu bara atau bijih tambang; dan
 - i. ketidakselarasan pada batuan dapat larut.
12. Selama tahap konfirmasi, karakteristik instalasi awal, seperti beban, dimensi fisik bangunan, kriteria rekayasa struktur awal, dan tata letak instalasi yang diinginkan sudah ditentukan. Oleh karena itu program uji lapangan dan uji laboratorium harus ditujukan untuk mengakomodasi karakteristik instalasi awal dan aspek geoteknik yang telah diidentifikasi pada tahap sebelumnya.
13. Kedalaman pengeboran bervariasi terhadap kondisi tapak, tetapi harus cukup untuk menggambarkan kondisi tapak secara menyeluruh yang mempengaruhi struktur dan untuk mengkonfirmasi kondisi tanah dan batuan yang ditentukan pada investigasi sebelumnya. Apabila tanah sangat tebal, kedalaman minimum untuk tujuan rekayasa ditetapkan sehingga memberikan perubahan tegangan vertikal selama dan sesudah konstruksi kurang dari 10% dari tegangan beban lebih efektif atau sekurang-kurangnya sampai suatu kedalaman yang setara dengan lebar dasar struktur bangunan pondasi untuk memungkinkan evaluasi potensi ketidakstabilan kedalaman tapak. Hubungan

- antara jenis struktur, jarak titik pengeboran, dan kedalaman minimum pengeboran ditampilkan pada Tabel dalam Anak Lampiran I.
14. Apabila tapak berupa tapak batuan atau apabila terdapat batuan kompeten pada kedalaman kurang dari kedalaman yang direkomendasikan di atas, pengeboran harus dilanjutkan sampai kedalaman yang melewati ketidaksinambungan atau zona lemah atau alterasi yang dapat mempengaruhi stabilitas pondasi. Untuk tapak batuan berserpih atau tapak batuan lunak, kedalaman pengeboran harus sama dengan kedalaman pengeboran untuk tapak tanah.
 15. Selama tahap konfirmasi, uji lapangan dan uji laboratorium harus dilaksanakan untuk mengestimasi daya dukung, menentukan penurunan struktur dan amplifikasi gelombang seismik tapak, menetapkan parameter interaksi tanah-struktur (dinamik dan statik), mengevaluasi potensi likuifaksi, dan mengevaluasi spektrum respon desain spesifik tapak. Di samping program pengeboran yang telah diuraikan di atas, harus dilakukan pula beberapa pengeboran untuk menetapkan model tanah atau batuan untuk studi interaksi tanah/batuan-struktur dinamik. Pengeboran yang diperlukan untuk studi amplifikasi tapak harus menembus lebih dalam dibandingkan dengan kedalaman pengeboran yang diperlukan untuk tujuan desain geoteknik normal.
 16. Apabila diidentifikasi adanya kebutuhan perbaikan kondisi lapisan bawah permukaan tanah, maka perbaikan tersebut harus dilaksanakan pada tahap konfirmasi ini dan efisiensi dari pelaksanaan kegiatan tersebut harus diperiksa dengan uji lapangan.
 17. Selama tahap konfirmasi, analisis awal yang meliputi analisis stabilitas statik, respon beban dinamik, potensi likuifaksi dan kestabilan lereng, tanggul dan bendungan harus dilakukan. Analisis harus didasarkan pada data eksplorasi lapangan dan uji laboratorium.
 18. Hasil investigasi pada tahap konfirmasi umumnya dikombinasikan dengan data dasar yang diperoleh dari tahap sebelumnya menjadi laporan geoteknik rinci. Laporan tersebut harus meliputi hal-hal berikut:
 - a. peta dan profil geologi;
 - b. deskripsi faktor geologi dan geologi tapak;

- c. program eksplorasi dan dasar-dasarnya;
 - d. rencana lokasi pengeboran dan penampang lintang;
 - e. rekaman pengeboran dan rekaman sumur uji (*test pit log*);
 - f. hasil uji lapangan;
 - g. hasil uji laboratorium;
 - h. hasil survei geofisik;
 - i. deskripsi dan hasil analisis; dan
 - j. deskripsi rinci rejim dan sifat fisika-kimia air tanah.
19. Hasil dari tahap verifikasi tapak harus memberikan informasi yang diperlukan untuk menetapkan parameter desain yang luas dan kesimpulan yang berkaitan dengan tapak dan karakteristik tapak. Tahap verifikasi harus konsisten dengan tata letak akhir bangunan pada tapak. Setiap informasi geoteknik lebih lanjut yang diperlukan akan dikaitkan secara langsung dengan keperluan desain untuk setiap bangunan, struktur dan fasilitas penunjang.
20. Apabila tata letak akhir bangunan, struktur dan fasilitas penunjang diketahui, sangat berguna untuk menentukan struktur terkait keselamatan dan struktur tidak terkait keselamatan. Program eksplorasi lapisan permukaan tanah dan program pengujian untuk struktur tidak terkait keselamatan harus mengikuti standar yang berlaku. Secara umum, harus dilakukan sekurang-kurangnya satu pengeboran pada setiap lokasi struktur terkait keselamatan. Apabila diperoleh kondisi yang sangat bervariasi, jarak titik pengeboran (*boring spacing*) harus dipilih untuk memperoleh pemahaman yang jelas mengenai perubahan sifat batuan dan tanah.

Tahap pra-operasi

21. Investigasi harus dilanjutkan sesudah dimulainya konstruksi sampai dimulainya operasi Reaktor Daya untuk melengkapi dan memperbaiki penilaian karakteristik tapak dengan memasukkan data geoteknik terbaru yang diperoleh selama penggalian dan konstruksi pondasi. Lapisan material bawah permukaan tanah yang tersingkap harus diamati dan dipetakan dengan cermat untuk dibandingkan dengan hasil investigasi pada tahap sebelumnya untuk mengkonfirmasi desain. Apabila diperlukan, uji lapangan lebih lanjut dapat dilaksanakan pada dasar galian. Data yang diperoleh mengenai proses

penurunan dan deformasi yang sebenarnya akibat beban struktur harus digunakan untuk memverifikasi perilaku pondasi yang diperkirakan sebelumnya. Karena tahapan konstruksi umumnya berlangsung dalam jangka waktu lama, data ini harus digunakan untuk merevisi model penurunan dan sifat-sifat tanah berdasarkan proses yang sebenarnya tersebut.

Tahap operasi

22. Selama tahap operasi Reaktor Daya, penurunan struktur dan nilai parameter lain seperti muka air tanah harus diukur dan dibandingkan dengan hasil investigasi pada tahap sebelumnya, untuk memperbarui penilaian keselamatan. Pilihan parameter yang akan diukur, jenis rekaman yang akan diperoleh, periode pengukuran dan seluruh kegiatan evaluasi tapak selama tahap operasi harus diuraikan dalam program perawatan.

B. SUMBER DATA

23. Sumber data yang diperlukan dalam program investigasi adalah:
 - a. dokumen historis dan dokumen terkini;
 - b. eksplorasi lapangan; dan
 - c. uji laboratorium.

Dokumen historis dan dokumen terkini

24. Investigasi ini memerlukan pemahaman geologi umum pada bidang yang sesuai. Hal ini diperoleh dari pengamatan lapangan dan tinjauan dokumen historis dan dokumen terkini, seperti:
 - a. peta topografi;
 - b. peta geologi dan peta geologi teknik;
 - c. peta tanah;
 - d. laporan geologi dan literatur geologi lain;
 - e. peta geofisik;
 - f. laporan geoteknik dan literatur geoteknik lain;
 - g. citra satelit bumi;
 - h. foto udara;
 - i. laporan sumur air dan laporan sumber air;

- j. rekaman sumur minyak dan gas;
 - k. peta hidrogeologi, data hidrologi dan pasang-surut, rekaman banjir, iklim dan curah hujan;
 - l. riwayat penambangan, rencana penambangan lampau dan rekaman amblesan;
 - m. data seismik dan rekaman riwayat gempa bumi ;
 - n. berita koran mengenai tanah longsor, banjir, gempa bumi, amblesan dan kejadian geologi lain yang penting ; dan
 - o. rekaman kinerja struktur bangunan di sekitarnya.
25. Sumber informasi lain yang dipertimbangkan adalah data dari nara sumber, data teknik dan geologi dari perguruan tinggi, survei geologi oleh pemerintah dan badan lain yang berwenang, pekerjaan lain yang dilakukan di sekitar tapak, dan observasi tambang yang sedang beroperasi.

Eksplorasi Lapangan

26. Berdasarkan pada skala investigasi, dua jenis eksplorasi yang harus dilakukan di lokasi, terdiri dari:
- a. uji geofisik; dan
 - b. uji geoteknik.
27. Uji geofisik menyediakan data atau informasi hasil pengujian melalui suatu interpretasi dari analisis balik. Survei ini dilakukan dengan sumber gelombang impuls yang memberikan respon hanya pada daerah deformasi elastik. Metoda ini umumnya mencakup daerah yang luas (baik kedalaman maupun permukaan) dan hanya menyediakan perkiraan kasar parameter (ketebalan dan sifat mekanik lapisan) yang memadai untuk evaluasi tapak. Survei ini mencakup semua atau sebagian dari teknik yang diberikan pada Tabel 1.
28. Uji geoteknik dilakukan pada lokasi yang ditunjuk, dengan kedalaman sekurang-kurangnya setara dengan lebar dasar struktur bangunan reaktor. Berdasarkan pada kondisi bawah permukaan tanah, jenis uji yang terdapat pada Tabel 2 dapat digunakan.

Uji laboratorium

29. Uji laboratorium dilaksanakan pada sampel yang diperoleh melalui metoda eksplorasi langsung. Keberhasilan dari uji laboratorium dipengaruhi oleh kondisi sampel yang tidak terganggu. Untuk mempertahankan kualitas sampel, perlakuan sampel sesudah pengambilan sama pentingnya dengan prosedur yang digunakan pada waktu sampling. Penanganan, penyimpanan di lapangan dan pengangkutan sampel ke laboratorium harus mendapat perhatian yang seksama. Sampel dapat diperoleh melalui :

- a. pengambilan langsung (*pit sampling*) atau penggalian; dan
- b. metoda pengeboran.

Untuk kondisi dimana sampel merupakan tanah non-kohesif, maka tanah tersebut harus dibekukan untuk memperoleh sampel yang tidak terganggu.

30. Tujuan uji laboratorium adalah untuk melengkapi data parameter tanah (misalnya rasio redaman material dari tanah yang tidak mudah diperoleh dengan uji lapangan, dan juga untuk sifat-sifat mekanik lain untuk regangan besar) dan mengkonfirmasi data uji lapangan untuk karakterisasi tentang tanah dan batuan pada tapak secara menyeluruh dan benar, pada seluruh rentang regangan yang diharapkan. Semua tahap investigasi tapak dan uji lapangan dan laboratorium yang terkait harus direncanakan dan dilaksanakan secara cermat sehingga sifat-sifat tanah dan batuan dinilai secara realistik dan tepat waktu.

Tabel 1. Teknik Investigasi Geofisik

Jenis uji	Material	Parameter yang diukur	Jenis Masalah	Keterangan
Refraksi & refleksi seismik	Tanah dan batuan	Kecepatan perambatan deformasi	Kategoriasi tapak	Investigasi permukaan
<i>Cross-hole seismic test</i>	Tanah dan batuan	Kecepatan gelombang P (<i>Pressure</i>) & S (<i>Shear</i>)	Kategorisasi tapak dan Interaksi tanah struktur	Investigasi kedalaman 1 lubang pemancar 1 lubang penerima
<i>Uphole/downhole seismic test</i>	Tanah dan batuan	Kecepatan gelombang P & S	Kategorisasi tapak Interaksi tanah struktur	Investigasi kedalaman 1 lubang untuk pemancar dan penerima

Metoda Nakamura	Tanah dan batuan	Getaran tingkat rendah (derau ambien)	Kategorisasi tapak, interaksi tanah struktur	
<i>Electrical resistivity</i>	Tanah dan batuan	Kadar air	Erosi internal	Investigasi permukaan atau kedalaman
<i>Nuclear logging</i>	Tanah dan batuan	Kadar air Kepadatan		Menggunakan logging
Mikrogravimetri	Tanah dan batuan	Percepatan gravitasi	Lubang amblesan, heterogenitas	Lapisan bawah permukaan yang rumit
Georadar	Tanah dan batuan	Kecepatan perambatan	Rongga	Lapisan bawah permukaan yang rumit
Teknik Magnet	Tanah dan batuan	Intensitas medan magnet	Daerah lembab	Perawatan tanggul dan bendungan
Investigasi seismik permukaan	Tanah dan batuan	Kecepatan gelombang permukaan	Kategorisasi tapak	

Tabel 2. Teknik Investigasi Geoteknik

Jenis uji	Material	Parameter yang diukur	Jenis Masalah	Keterangan
<i>Flat jack test</i>	Batuhan	Tegangan normal di lapangan	Deformabilitas, Konvergensi	Hasilnya meragukan pada batuan dengan sifat yang sangat bergantung waktu
<i>Hydraulic fracturing test</i>	Batuhan	Keadaan tegangan di lapangan	Deformabilitas, Konvergensi	Dipengaruhi oleh anisotropi kuat tarik
Uji geser langsung	Batuhan	Kekuatan geser	Masalah stabilitas	Biasanya memerlukan sejumlah pengujian yang cukup untuk kontrol data statistik
<i>Plate bearing test</i>	Lempung, pasir, kerikil, batuan	Modulus reaksi	Kontrol pemasatan Penurunan	Digunakan untuk galian dan tanggul
<i>Pressuremeter</i>	Lempung,	Modulus	Penurunan	Perlu lubang awal

<i>test</i>	pasir, batuan	elastisitas Kompresibilitas Tegangan di lapangan	Daya dukung	
<i>Static penetrometer test</i>	Lempung, pasir	Tahanan konus Kohesi tak teralirkkan <i>(undrained)</i> Kuat geser	Daya dukung Penurunan	Termasuk CPT <i>(Cone Penetrometer Test)</i>
<i>Dynamic penetrometer test</i>	Lempung, pasir, kerikil	Tahanan konus Kepadatan relatif	Likuifaksi	Termasuk SPT <i>(Standard Penetration Test)</i>
<i>Vane shear test</i>	Lempung lunak	Kekuatan geser	Daya dukung, stabilitas lereng	Tidak cocok pada lanau, pasir, dan tanah
<i>Pumping test, Constant Head, Variabel Head</i>	Lempung, pasir, kerikil	Permeabilitas lapangan	Transmisivitas tanah	Memerlukan piezometer

31. Program uji laboratorium bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan sampel tanah dan batuan. Sifat-sifat fisik dan teknisnya diperoleh dari data yang dipublikasikan atau melalui pengukuran. Tabel 3 merupakan contoh dari uji laboratorium.
32. Parameter karakterisasi tapak untuk kegunaan dalam profil desain harus secara cermat ditentukan berdasarkan hasil uji lapangan dan uji laboratorium. Setiap ketidaksesuaian antara uji lapangan dan uji laboratorium harus diselaraskan.

C. INVESTIGASI KONDISI LAPISAN BAWAH PERMUKAAN YANG RUMIT

33. Program investigasi tapak untuk Reaktor Daya harus mempertimbangkan adanya potensi kondisi lapisan bawah permukaan yang rumit. Jika pada suatu tapak ditemukan kondisi lapisan bawah permukaan yang rumit, maka kondisi tersebut dapat menimbulkan efek yang serius pada integritas pondasi Reaktor Daya. Kondisi lapisan bawah permukaan yang rumit meliputi potensi adanya lubang pada lapisan bawah permukaan yang terjadi secara alami ataupun buatan, yang dapat mengakibatkan terjadinya keruntuhan, *sinkholes* dan rekahan terbuka (*open joint*) yang mengakibatkan jenis bahaya lain seperti erosi bawah permukaan (*piping*) dan rembesan.

34. Persyaratan eksplorasi, pengujian dan analisis dapat bervariasi tergantung pada kondisi yang ditemui sehingga sulit untuk merinci program investigasi yang mencakup semua kondisi lapisan bawah permukaan yang abnormal. Meskipun demikian, elemen dasar dari program investigasi untuk kondisi lapisan bawah permukaan yang rumit seharusnya meliputi perkiraan, deteksi, evaluasi dan perlakuan.

Tabel 3. Jenis Uji Laboratorium

Indeks dan Klasifikasi	Jenis Uji	Jenis Material	Standard	Parameter yang ditentukan	Kegunaan
Kadar Air dan Kepadatan	Analisis Gradasi	Semua jenis tanah	ASTM D421 D422 D2217	Distribusi ukuran butir	Klasifikasi tanah
	Prosentase Butiran Tanah Halus	Semua jenis tanah	ASTM D114O	Prosentase berat tanah yang lolos saringan No. 200	Klasifikasi tanah
	<i>Atterberg Limits</i>	Lempung	AST D423 D424 D427	Batas plastis, batas cair, indeks plastisitas, factor shrinkage	Klasifikasi, kompresibilitas, dan plastisitas tanah
	<i>Specific Gravity</i>	Semua jenis tanah	ASTM D854	<i>Specific gravity</i>	Properties tanah
	Diskripsi Tanah	Semua jenis tanah	ASTM D2488	Diskripsi tanah berdasarkan pengamatan visual	Klasifikasi tanah
	Klasifikasi tanah	Semua jenis tanah	ASTM D2487	Klasifikasi USCS	Klasifikasi tanah
	Kadar Air	Semua jenis tanah	ASTM D2216 D2974	Kadar air	Kepadatan, daya dukung, konsolidasi
	Kepadatan Relatif	Tanah non-kohesif	ASTM D2049	Kepadatan minimum dan	Penurunan, daya dukung

				maksimum untuk tanah non-kohesif	
Konsolidasi dan Permeabilitas	Kompaksi/ Pemadatan	Tanah	ASTM D698 D1557	Kadar air optimum yang berkaitan dengan kepadatan maksimum	Kapadatan Maksimum
	Konsolidasi	Lempung (Tanah lunak)	ASTM D2435	Konsolidasi satu-dimensi, dan permeabilitas untuk tanah kohesif	Penurunan, konsolidasi
Sifat Fisik dan Kimia	Permeabilitas	Semua jenis tanah	ASTM D2434	Permeabilitas	Konsolidasi
	Mineralogi	Semua jenis tanah		Identifikasi mineral	Klasifikasi tanah
	Kandungan Organik	Semua jenis tanah	ASTM D2974	Prosentase berdasarkan berat kering kandungan karbon organik dan non-organik	Klasifikasi tanah
	Kadar garam	Semua jenis	ASTM D4542	Kandungan garam pada air pori	Korosi
Kuat Geser dan Kemampuan Deformasi	Pinhole Test		ASTM D4647		Korosi
	Tekan Bebas	Tanah kohesif	ASTM D2166	Kekuatan tekan bebas tanah kohesif	Penurunan, Daya dukung, Stabilitas
	Geser langsung	Semua jenis tanah	ASTM D3080	Kohesi dan sudut geser dalam pada kondisi teralirkan	Penurunan, Daya dukung
	Triaxial Compression UU (Unconsolidated Undrained)	Semua jenis tanah	ASTM D2850	Parameter kuat geser; kohesi dan sudut geser dalam	Penurunan, Daya dukung

	Triaxial Compression CU (Consolidated Undrained)	Semua jenis tanah	ASTM D2850 D4767	Parameter kuat geser; kohesi dan sudut geser dalam untuk tanah yang terkonsolidasi	Penurunan, Daya dukung
	Triaxial Compression CD(Consolidated Drained)	Semua jenis tanah	ASTM D2850	Parameter kuat geser; kohesi dan sudut geser dalam untuk pembebanan jangka panjang	Penurunan, Daya dukung
	Cyclic Triaxial Strain-Controlled	Tanah Kohesif	ASTM D3999	Young's modulus damping, dan respon tekanan pori pada tanah non-kohesif, modulus dan damping untuk tanah kohesif	Klasifikasi tapak, interaksi tanah-struktur, likuifaksi
	Cyclic Triaxial Stress-Controlled	Semua jenis tanah	ASTM D5311	Siklik untuk tanah kohesif dan non-kohesif	Klasifikasi tapak, interaksi tanah-struktur, likuifaksi
	Cyclic Simple Shear2	Semua jenis tanah		Modulus geser , damping, dan kekuatan siklik tanah kohesif dan non-kohesif	Klasifikasi tapak, interaksi tanah-struktur, likuifaksi
	Resonant Column	Semua jenis tanah	ASTM D4015	Modulus geser dan damping untuk tanah kohesif dan non-kohesif	Klasifikasi tapak, interaksi tanah-struktur, likuifaksi

*Standar lain yang setara dapat digunakan

Perkiraan kondisi lapisan bawah permukaan yang rumit

35. Perkiraan adanya rongga (*cavities*) dan ketidaksinambungan lapisan bawah permukaan yang dapat menyebabkan potensi keruntuhan dan perilaku geoteknik diskontinu merupakan langkah investigasi yang harus diperhitungkan. Juga harus diperkirakan bagian dari permukaan tanah yang dicirikan oleh formasi yang mempunyai potensi untuk keruntuhan tanah sebagai akibat dari proses pelarutan atau fenomena kars.
36. Evaluasi dan pemahaman yang tepat mengenai geologi wilayah dan geologi tapak dapat memberikan indikasi potensi keruntuhan. Batuan mudah larut biasanya berupa batuan sedimen yang dapat larut dalam air atau dalam larutan asam lemah (termasuk jenis karbonat, terutama batu gamping dan dolomit) atau evaporit (seperti halit, gypsum dan anhidrit). Ukuran rongga atau tingkat pelarutan lapisan bawah permukaan dipengaruhi oleh faktor-faktor geologi dan lingkungan. Faktor-faktor geologi meliputi potensi saluran terpendam, rangkaian statigrafi, karakteristik batuan dan sifat-sifat masa batuan. Sedangkan faktor-faktor lingkungan meliputi hidrologi air permukaan dan air tanah, iklim dan perubahan iklim.

Deteksi rongga bawah permukaan

37. Program eksplorasi lapisan bawah permukaan pada tapak seharusnya mencakup deteksi rongga bawah permukaan dan evaluasi ukuran rongga tersebut. Semua aspek program eksplorasi harus mempertimbangkan kemungkinan adanya area yang rentan terhadap keruntuhan tanah. Metoda konvensional eksplorasi tapak dapat diterapkan dan meliputi uji tekan hidrolik, penginderaan jarak jauh, pengeboran, pengambilan sampel, penggalian, *borehole logging* dan survei geofisik. Metodologi investigasi tapak standar harus digunakan untuk menunjukkan potensi kerumitan yang ditimbulkan oleh sistem rongga bawah permukaan.
38. Jika diperkirakan ada rongga bawah permukaan, program eksplorasi awal untuk mencari rongga bawah permukaan dapat didasarkan pada metoda probabilistik, seperti teori pencarian optimal.
39. Beberapa metoda geofisik berguna untuk deteksi rongga bawah tanah tetapi bukan untuk menentukan kedalaman, ukuran, atau geometri rongga. Metoda tersebut meliputi *surface electrical resistivity profiling*, mikrogravimetri, survei

- refraksi seismik, *seismic fan shooting*, dan *ground probing radar*.
40. Metoda geofisik yang dapat membantu penentuan kedalaman, ukuran dan geometri rongga bawah permukaan jika digunakan sebagai teknik survei dengan resolusi tinggi meliputi survei seismik *crosshole*, *crosshole* radar, survei tahanan listrik, resonansi akustik dengan sumber bawah permukaan, mikrogravimetri, refraksi seismik, pantulan seismik resolusi tinggi, dan *ground probing radar*. Beberapa metoda tersebut dapat diterapkan dalam hubungannya dengan teknik tomografi.
 41. Metoda geofisik harus digunakan dengan cermat dan biasanya bersamaan dengan teknik pengeboran dan pengambilan sampel untuk meningkatkan efektivitas. Hasil program eksplorasi untuk mendeteksi dan menentukan rongga bawah permukaan adalah peta yang menunjukkan rongga dan hubungannya dengan struktur tapak.
 42. Pendektsian dan penentuan setiap rongga atau fitur pelarutan pada tapak tidak mungkin atau tidak praktis dilakukan. Oleh karena itu, seharusnya dibuat keputusan mengenai kemungkinan adanya rongga terbesar yang tidak ditemukan tetapi dapat ditoleransi, berdasarkan pada pengaruh rongga pada kinerja struktur penting.

Evaluasi dan perlakuan kondisi bawah permukaan yang rumit

43. Resiko terbesar padakeselamatan pondasi Reaktor Daya terutama disebabkan adanya rongga terbuka dan fitur yang berisi larutan pada kedalaman yang dangkal (relatif terhadap ukuran pondasi) di bawah pondasi struktur bangunan. Kompresibilitas dan potensi erosi dari material pengisi harus dievaluasi untuk menentukan dampaknya pada daya dukung tanah, penurunan dan erosi pada masa yang akan datang oleh kemungkinan adanya perubahan rejim air tanah.
44. Stabilitas rongga alami di bawah level pondasi seharusnya dipertimbangkan. Faktor utama yang mempengaruhi stabilitas atap rongga adalah ukuran rongga, kedalaman, pola dan kondisi *joint* (*joint patterns and condition*), jenis batuan dan sudut *bedding* (*bedding angles*) di atas rongga. Peningkatan tekanan vertikal dari beban struktur dapat menyebabkan kondisi atap rongga tidak stabil. Tapak yang dicirikan oleh sistem dan potensi rongga besar dan rumit harus dihindari karena evaluasi secara realistik sangat sulit dilakukan. Pada daerah dengan ukuran dan

- geometri rongga yang dapat ditentukan secara andal, teknik analisis seperti metoda elemen hingga dapat digunakan untuk evaluasi stabilitas rongga.
45. Untuk tapak yang berkondisi lapisan bawah permukaan yang rumit, ditemukan di bawah pondasi, dari hasil evaluasi dapat menunjukkan bahwa perlakuan tanah diperlukan untuk memastikan keselamatan struktur. Persyaratan umum untuk perbaikan kondisi pondasi pada kondisi bawah permukaan yang rumit, disajikan pada Bab III.

BAB II

PERTIMBANGAN TAPAK

A. KATEGORISASI TAPAK

46. Untuk analisis respon seismik, tapak dapat dikategorisasikan menjadi 3 bagian dengan kriteria sebagai berikut:
- tapak Tipe 1 (tapak batuan) : $V_s > 1100 \text{ m/detik}$
 - tapak Tipe 2 (tapak tanah keras) : $300 \text{ m/detik} < V_s < 1100 \text{ m/detik}$
 - tapak Tipe 3 (tapak tanah sedang) : $V_s < 300 \text{ m/detik}$

Dimana V_s adalah estimasi terbaik kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada media pondasi di bawah pondasi struktur pada kondisi alami (sebelum konstruksi tapak), untuk regangan yang sangat kecil. Kategorisasi tapak berlaku dengan asumsi bahwa kecepatan rambat gelombang geser rata-rata tidak berkurang secara signifikan terhadap kedalaman. Dalam hal ini, harus dilakukan analisis khusus, sebagaimana tidak tercakup dalam Peraturan Kepala BAPETEN ini.

47. Investigasi tanah perlu dilakukan untuk menentukan tipe tapak, atau untuk menyediakan data komprehensif untuk analisis lebih lanjut apabila kategorisasi tapak di atas ternyata tidak berlaku.

B. PARAMATER PROFIL

48. Sekumpulan parameter harus ditentukan untuk melaksanakan evaluasi geoteknik yang diperlukan untuk konstruksi Reaktor Daya. Sekumpulan parameter dan data yang dihasilkan disebut 'profil'. Profil dapat didefinisikan sebagai deskripsi geometris dan mekanik dari material bawah permukaan dimana estimasi terbaik dan rentang variasi untuk karakteristik material pondasi ditentukan dan diuraikan sehingga langsung dapat diterapkan pada analisis berikutnya. Profil tersebut meliputi:
- deskripsi geometris, seperti deskripsi stratigrafi bawah permukaan, jangkauan lateral dan vertikal, jumlah lapisan dan ketebalan lapisan;
 - sifat fisika dan kimia dari tanah dan batuan dan nilai yang digunakan untuk klasifikasi;

- c. kecepatan gelombang geser (*S, Shear*) dan gelombang tekan (*P, Pressure*), hubungan regangan-tegangan, sifat kekuatan statik dan dinamik, konsolidasi, permeabilitas dan sifat mekanik lain yang diperoleh baik melalui uji lapangan maupun uji laboratorium;
 - d. muka air tanah, level desain muka air tanah dan level air maksimum yang disebabkan oleh banjir maksimum yang mungkin terjadi dan kondisi lain.
49. Sejumlah nilai parameter geoteknik diperoleh berdasarkan hasil dari program eksplorasi lapangan dan uji laboratorium yang dilakukan untuk memperoleh sifat material bawah permukaan yang relevan dan untuk menentukan model lapisan bawah permukaan. Dalam hal ini, berdasarkan informasi yang tersedia, pemilihan kelompok parameter yang tepat dan paling sesuai harus dilakukan untuk digunakan dalam model analisis geoteknik. Dalam analisis ini, pengaruh ketidakpastian parameter geoteknik pada derajat variasi hasil analitik harus diidentifikasi dengan menggunakan studi parameter.
50. Meskipun secara prinsip profil tanah adalah unik untuk tapak tertentu, berbagai profil desain yang terkait untuk tujuan yang berlainan harus digunakan untuk mendapatkan hipotesa yang berbeda dalam analisis. Profil desain untuk penilaian dari :
- a. spektrum respon spesifik tapak;
 - b. potensi likuifaksi;
 - c. tegangan pada tanah pondasi;
 - d. stabilitas pondasi;
 - e. interaksi tanah-struktur;
 - f. penurunan dan pengangkatan;
 - g. stabilitas pada struktur bangunan tanah; dan
 - h. tekanan tanah dan deformasi pada struktur tertanam;
- disajikan dalam bagian lain.

C. RESPON SEISMIK MEDAN BEBAS DAN SPEKTRA RESPON SPESIFIK TAPAK

51. Level input seismik yang harus dipertimbangkan dalam Peraturan Kepala ini adalah level SL-2 seperti yang diuraikan dalam Peraturan Kepala BAPETEN

Tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Reaktor Nuklir, yang dibahas terinci pada Peraturan Kepala BAPETEN Tentang Evaluasi Tapak Reaktor Daya untuk Aspek Kegempaan dan ditentukan sesuai dengan aturan yang diberikan di dalamnya.

52. Perhitungan respon tapak pada kondisi medan bebas seharusnya dilaksanakan, kecuali untuk tapak Tipe 1. Hal ini diperlukan untuk penilaian penurunan atau likuifaksi dan analisis interaksi tanah-struktur. Perhitungan ini mungkin juga diperlukan untuk pembuatan spektra respon spesifik tapak. Untuk melakukan perhitungan ini, data yang harus diperoleh adalah :
 - a. input gerakan tanah (*input ground motion*), sebagai hasil dari evaluasi seismik yang dibahas pada Peraturan Kepala BAPETEN Tentang Evaluasi Tapak Reaktor Daya untuk Aspek Kegempaan.
 - b. model tapak yang cocok, berdasarkan pada data berikut :
 - deskripsi geometri lapisan tanah;
 - kecepatan gelombang S dan P pada setiap lapisan;
 - kepadatan relatif tanah pada setiap lapisan;
 - kurva $G-\gamma$ dan $\eta-\gamma$ yang untuk setiap lapisan menjelaskan reduksi modulus geser (G) dan rasio redaman internal (η) dari tanah terhadap regangan geser (γ).
 - c. untuk deposit tanah dalam dimana kecepatan gelombang bertambah secara perlahan terhadap kedalaman, perubahan parameter yang disebutkan di atas terhadap kedalaman harus dideskripsikan.
53. Tergantung pada praktek rekayasa, input gerakan tanah dapat mewakili gerakan tanah permukaan baik pada lapisan tanah deposit atau pada singkapan batuan. Untuk tapak Tipe-3, input gerakan tanah harus disediakan pada singkapan batuan sekitarnya (tapak Tipe-1) atau, jika tidak memungkinkan, pada singkapan tanah keras di sekitarnya (tapak Tipe-2) atau, jika tidak memungkinkan, pada level bawah permukaan yang sesuai.
54. Dalam hal input gerakan tanah diberikan pada level permukaan, perhitungan dekonvolusi input gerakan tanah pada medan bebas harus dilakukan sebagai tahap awal analisis interaksi tanah-struktur yang konsisten, kecuali untuk tapak Tipe 1. Reduksi yang besar pada input gerakan tanah harus dijastifikasi secara

- cermat melalui studi parameter. Penggunaan input gerakan tanah pada level pondasi yang diberikan pada level permukaan sebagai pengganti dari input gerakan dekonvolusi merupakan praktek yang konservatif dan dapat diterima.
55. Jika input gerakan tanah tidak tersedia dalam bentuk yang sesuai untuk studi geoteknik, maka harus ditentukan suatu nilai yang memadai. Input gerakan tanah ini perlu dipilih untuk intensitas gempabumi, besar gempabumi, jarak episentral, percepatan maksimum, durasi, kandungan frekuensi (*frequency content*) dan parameter-parameter lainnya.
 56. Untuk menghitung respon tapak, model berikut dapat diterima :
 - a. sistem tanah viskoelastis yang terletak di atas suatu campuran (*half-space*) viskoelastis;
 - b. sistem lapisan horisontal;
 - c. material yang melepaskan energi melalui redaman internal;
 - d. gelombang merambat vertikal (gelombang geser dan tekan);
 - e. efek non-linier dapat didekati dengan metoda linier ekuivalen. Model linier ekuivalen untuk hubungan *constitutive* tanah harus konsisten dengan tingkat regangan pada profil tanah yang diakibatkan oleh respon terhadap input gerakan tanah. Proses perhitungan ini umumnya dilakukan melalui proses iterasi.
 57. Ketidakpastian pada sifat mekanik material tapak, sekurang-kurangnya pada nilai modulus geser, harus diperhitungkan melalui studi parameter. Salah satu metoda tersebut adalah memvariasikan modulus geser antara nilai estimasi terbaik dikalikan $(1+C_v)$ dan nilai estimasi terbaik dibagi $(1+C_v)$, dimana C_v didefinisikan sebagai koefisien variasi. Nilai minimum C_v adalah 0,5. Harus diperhatikan bahwa profil tanah yang diberikan tidak dapat dianggap konservatif untuk semua hal yang dipertimbangkan tanpa suatu penilaian, dengan kata lain profil yang konservatif untuk dekonvolusi belum tentu konservatif untuk analisis respon tapak.
 58. Jika tapak berada dekat dengan sumber seismik, model respon tapak harus ditentukan secara seksama agar kandungan frekuensi dari input gerakan tanah yang dihasilkan oleh suatu mekanisme gempabumi dapat diperhitungkan secara tepat.

59. Untuk tapak Tipe-3, spektra respon spesifik tapak harus ditentukan. Spektra respon spesifik tapak ini harus mewakili respon profil pada level permukaan.

D. POTENSI LIKUIFAKSI

Profil Desain untuk Potensi Likuifaksi

60. Masalah penilaian potensi likuifaksi diberikan pada Peraturan Kepala BAPETEN Tentang Evaluasi Tapak Reaktor Daya untuk Aspek Kegempaan. Tanah yang rentan likuifaksi umumnya tanah non-kohesif seperti pasir dan kerikil yang mengandung sebagian kecil lumpur dan lempung dan mengendap secara lepas di bawah muka air tanah.
61. Untuk tanah yang rentan likuifaksi, informasi profil desain yang diperlukan untuk mengevaluasi potensi likuifaksi adalah sebagai berikut:
 - a. **Rejim air tanah.** Data dari piezometer yang dipasang pada tapak digunakan untuk menetapkan muka air yang tepat untuk digunakan pada analisis likuifaksi. Rejim air tanah mencerminkan variasi musiman level air tanah. Suatu nilai konservatif yang memadai dapat diasumsikan untuk analisis, didukung oleh data yang telah atau akan tersedia. Data dari hasil inspeksi sumur-sumur dapat digunakan untuk menetapkan parameter permeabilitas.
 - b. **Distribusi ukuran butiran.** Untuk tanah non-kohesif, distribusi ukuran butiran harus diperoleh dari uji saringan tanah yang diambil pada beberapa titik lokasi dan kedalaman yang berbeda pada tapak. Kandungan halus yang tidak teridentifikasi dalam distribusi ukuran butiran dan plastisitasnya akan sangat berpengaruh dalam penentuan tahanan likuifaksi yang didasarkan pada rekaman CPT atau nilai SPT (*SPT blow-counts*)
 - c. **SPT (Standard Penetration Test).** Nilai SPT pada lokasi yang berbeda harus diplot pada berbagai kedalaman dengan skala yang sama. Dari nilai SPT ini, kuat siklik tak teralirkan (*undrained cyclic strength*) dapat dievaluasi berdasarkan hubungan secara empiris. Perhatian khusus harus diberikan pada uji ukuran butiran sampai diperoleh persentase kandungan yang halus, yang dapat memberikan pengaruh besar pada hubungan empiris ini. Meskipun demikian tanah dengan kandungan halus lebih dari 30% masih mempunyai kecenderungan untuk terlikuifaksi pada beberapa kasus. Untuk

kasus seperti ini indeks plastisitas tanah halus harus diukur sehingga kerentanannya dapat ditentukan dengan tepat berdasarkan nilai tersebut.

- d. **CPT (Cone Penetration Test).** Tahanan penetrasi CPT mempunyai kelebihan dari SPT dalam hal CPT dapat memberikan profil stratifikasi yang sangat rinci, yang memungkinkan penentuan luasan tanah yang dapat terlikuifaksi. Meskipun sampel tanah tidak dapat diambil pada CPT, jenis tanah dapat diperkirakan dengan menggunakan rasio antara friksi yang diukur pada *friction sleeve* yang terpasang di atas konus dan tahanan konus (*friction ratio*). Untuk keperluan analisis likuifaksi, kemampuan penetrasi pada CPT akan berkurang dengan bertambahnya kepadatan tanah, yang mana kegunaannya terbatas hanya pada pasir yang agak lepas. Untuk beberapa kondisi tapak, kombinasi SPT dan CPT dapat memberikan hasil evaluasi yang lebih tepat.
- e. **Kepadatan Relatif.** Kepadatan relatif lapangan dari tanah non-kohesif salah satunya dapat dievaluasi berdasar pada nilai SPT karena nilai ini merupakan indeks yang secara kasar dapat mengevaluasi kuat siklik tak teralirkkan atau untuk mengetahui derajat ketidakstabilan pada saat tekanan pori mencapai 100%. Pada uji laboratorium, kepadatan relatif sampel tanah ditentukan secara langsung berdasarkan pada kepadatan pasir minimum atau maksimum, dengan metoda pengujian standar yang tersedia.
- f. **Kuat siklik tak teralirkkan** (*undrained cyclic strength*). Kuat geser siklik tak teralirkkan dari material bawah permukaan dievaluasi secara langsung dengan uji beban siklik di laboratorium untuk sampel yang tak terganggu atau dicetak ulang (*remolded*). Uji triaksial siklik umumnya digunakan untuk mengevaluasi kekuatan siklik tak teralirkkan pada kebanyakan praktek rekayasa. Faktor koreksi digunakan untuk nilai kekuatan siklik yang diukur dengan uji triaksial untuk memungkinkan pendekatan pada kondisi sebenarnya di lapangan. Jumlah siklik yang diperlukan untuk mencapai kondisi kegagalan di lapangan (misalnya likuifaksi awal, prosentase regangan aksial, dsb.) pada suatu amplitudo tegangan siklik perlu dievaluasi. Tingkat tegangan siklik divariasikan dan sampel lainnya diuji. Pada uji ini, kualitas sampel yang tidak terganggu dapat mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap potensi likuifaksi. Selanjutnya dibuat kurva

eksperimental yang menunjukkan hubungan antara tegangan siklik dengan jumlah siklik seragam yang diperlukan untuk menyebabkan kegagalan likuifaksi pada suatu amplitudo tegangan imbas yang ditetapkan. Kurva serupa dapat diperoleh untuk sampel yang dicetak ulang (*remolded*) yang mempunyai variasi kepadatan relatif dan tekanan konsolidasi untuk tanah yang relatif muda yang tidak terlalu terpengaruh oleh efek sementasi atau efek pra-regang. Dalam praktek, kuat siklik tak teralirkkan yang diperoleh dinormalisasi dengan tegangan konsolidasi untuk mengetahui rasio tegangan. Pemilihan tegangan konsolidasi lapangan diperlukan secara tepat karena rasio tegangan cenderung berkurang dengan bertambahnya tegangan pengungkung untuk pasir dengan kepadatan sedang sampai padat.

- g. **Ketergantungan Regangan (Strain dependency) dari sifat-sifat tanah.** Kurva $G-\gamma$ dan $\eta-\gamma$ untuk masing-masing lapisan diperlukan untuk menjelaskan reduksi yang terjadi pada modulus geser dan rasio redaman tanah terhadap regangan geser.
 - h. **Sifat-sifat tanah lainnya.** Sesuai kebutuhan pada berbagai jenis analisis yang lebih teliti, sifat-sifat tanah lainnya yang mungkin diperlukan. Beberapa sifat tanah dapat diperoleh melalui uji laboratorium tambahan seperti uji *undrained monotonic loading* dan uji konsolidasi.
 - i. **Riwayat likuifaksi masa lalu.** Sebagai tambahan pada penentuan parameter profil desain untuk analisis likuifaksi dan karakterisasi kekuatan siklik (*cyclic strength*) material bawah permukaan dengan uji laboratorium, sangatlah penting untuk mengumpulkan dan secara cermat mempelajari data likuifaksi yang sudah terjadi pada tapak atau di sekitar tapak pada masa lalu. Suatu program investigasi yang rinci dan analisis likuifaksi yang spesifik pada lokasi terjadinya likuifaksi harus dilakukan.
62. Sebagai hasil pengumpulan data dan pelaksanaan pengujian yang sudah disebutkan di atas, harus ditetapkan nilai parameter profil desain yang diperlukan untuk evaluasi potensi likuifaksi yaitu:
- a. ketebalan dan variasi lapisan bawah permukaan;
 - b. kepadatan relatif rata-rata dan variasi untuk masing-masing lapisan;
 - c. jangkauan lateral masing-masing lapisan;

- d. muka air yang akan dihubungkan dengan gerakan tanah acuan untuk analisis likuifaksi;
- e. kurva hubungan rasio tegangan (*stress ratio*) terhadap jumlah pembebanan siklik untuk jenis tanah yang berbeda ;
- f. faktor koreksi untuk memperhitungkan deviasi kondisi laboratorium dengan kondisi lapangan sebenarnya;
- g. jumlah siklus seragam ekuivalen yang dipertimbangkan mewakili gerakan tanah acuan pada tapak;
- h. parameter tanah lain yang digunakan untuk analisis numerik; dan
- i. kriteria kegagalan untuk likuifaksi.

Metoda evaluasi untuk potensi likuifaksi

63. Tiga pendekatan untuk evaluasi potensi likuifaksi yang dapat digunakan, tergantung pada kondisi bawah permukaan dan besarnya resiko likuifaksi, adalah :
- a. pendekatan empiris, yang didasarkan pada kinerja sebenarnya selama gempabumi di masa lalu dan dapat dievaluasi dengan cepat dari data SPT atau data CPT ;
 - b. pendekatan analisis konvensional; dan
 - c. pendekatan analisis yang lebih canggih.

Pendekatan empiris

64. Pada metoda ini potensi likuifaksi dievaluasi dengan menggunakan grafik yang menghubungkan rasio tegangan dengan tahanan penetrasi SPT atau CPT yang secara empiris berdasarkan pada riwayat kasus likuifaksi masa lalu. Pada grafik ini tingkat skala gempabumi dan kandungan halus tanah perlu dipilih secara tepat karena hasil evaluasi sangat tergantung pada parameter-parameter ini.

Pendekatan analitik konvensional

65. Pendekatan konvensional terdiri dari langkah-langkah berikut:
- a. penetapan karakteristik kuat siklik (*cyclic strength*) material tanah pondasi pada masing-masing lapisan. Kriteria kegagalan didefinisikan dengan memperhitungkan sejumlah faktor yang meliputi kepadatan relatif, jumlah siklus tegangan, tegangan pengungkung, heterogenitas tanah, dan sebagainya

- (faktor koreksi untuk mengkonversi hasil laboratorium terhadap kondisi lapangan yang ditentukan) ;
- b. pilihan seperangkat akselerogram yang tepat;
 - c. perhitungan pada setiap lapisan tegangan yang dihasilkan oleh akselerogram. Riwayat tegangan ini diubah ke dalam sejumlah siklus seragam yang ekuivalen ; dan
 - d. penentuan potensi likuifaksi dengan membandingkan karakteristik kuat siklik pada setiap lapisan dengan siklus ekuivalen terhitung.
66. Harus diperhatikan bahwa gempabumi paling parah yang digunakan untuk analisis struktur, sistem dan komponen belum tentu merupakan gempabumi paling parah yang digunakan untuk mempertimbangkan likuifaksi material pondasi. Kejadian seismik pada jarak yang jauh dengan waktu yang lama dapat menghasilkan sejumlah besar siklus yang signifikan dengan percepatan rendah pada tapak, dan ini dapat menjadi kritis untuk likuifaksi.

Pendekatan analitik yang canggih

- 67. Model konstitutif tanah dimasukkan dalam analisis nonlinier bertahap untuk mengevaluasi peningkatan tekanan pori dan respon tanah dinamik secara langsung. Pada kebanyakan kasus, analisis tegangan efektif dilakukan karena dapat mensimulasikan perubahan tekanan pori yang tergantung waktu dan pengaruhnya pada perubahan sifat tanah. Pada analisis yang canggih ini, potensi likuifaksi dapat dinilai secara langsung sesuai dengan input gerakan seismik yang dipilih dalam bentuk peningkatan tekanan atau terjadinya regangan. Akan tetapi, hasilnya cukup bervariasi karena input gerakan seismik yang berbeda, model konstitutif dan parameter lain. Penilaian akhir harus dibuat dengan mempertimbangkan tingkat keragamannya.
- 68. Faktor keselamatan ditentukan dari perbandingan hasil analisis di atas dengan :
 - a. hasil dari pendekatan empiris; dan
 - b. solusi batas bawah yang diperoleh dengan menerapkan pendekatan analitik.
- 69. Pada umumnya dimungkinkan untuk menghitung solusi batas bawah dengan pendekatan analitik yang menggunakan asumsi konservatif untuk parameter profil desain. Untuk pasir lepas, sedikit penambahan tegangan seismik dapat menyebabkan tanah berada pada kondisi yang tidak stabil dengan kemungkinan

deformasi yang besar, sementara pada pasir sedang sampai rapat penambahan tegangan seismik yang besar hanya akan menghasilkan deformasi yang terbatas walaupun peningkatan tekanan pori mencapai 100 %.

70. Faktor keselamatan yang dapat diterima tidak dapat ditetapkan sebelumnya tetapi harus ditetapkan berdasarkan kasus demi kasus dengan menggunakan hasil yang diperoleh dari paragraf 67. Faktor keselamatan tersebut juga harus dipilih dengan cara yang sedemikian rupa sehingga regangan imbas dinamik atau regangan sisa tidak merusak kinerja pondasi.

BAB III

PERTIMBANGAN PONDASI

A. PEKERJAAN PONDASI

Pekerjaan pondasi awal

71. Bagian ini menguraikan aspek geoteknik dari pekerjaan pondasi awal. Pekerjaan pondasi awal didefinisikan sebagai kegiatan geoteknik yang dilakukan sebelum penempatan struktur pondasi beton. Kegiatan ini secara langsung mempengaruhi kinerja pondasi dengan kondisi beban terantisipasi dan oleh karena itu kritis terhadap keselamatan. Pekerjaan ini dapat meliputi:
 - a. pengujian prototipe (termasuk uji pembebanan, verifikasi terhadap teknik perbaikan material tanah pondasi);
 - b. penggalian untuk pondasi atau sistem pondasi;
 - c. *dewatering* dan kontrolnya;
 - d. pekerjaan galian pada batuan (*dental work*);
 - e. pemetaan penggalian;
 - f. perbaikan material pondasi (termasuk modifikasi material, drainase dan lain-lain);
 - g. penempatan dan pemanjangan timbunan; dan
 - h. penempatan lantai kerja bawah pondasi atau berbagai jenis lapisan pelindung.
72. Aspek pekerjaan tanah dari kegiatan ini harus meliputi persyaratan pengujian untuk kontrol konstruksi dan dokumentasi yang tepat. Pengujian harus dilakukan di lapangan dan di laboratorium dan harus disesuaikan dengan konstruksi sebenarnya.

Perbaikan kondisi pondasi

73. Perbaikan kondisi pondasi meliputi modifikasi perilaku mekanik material pondasi, seperti pemanjangan tanah, penggantian seluruh material lepas atau lunak dengan material yang lebih baik, atau penggunaan material tambahan yang meningkatkan perilaku statik dan atau dinamik. Pendekatan lain adalah penggunaan pondasi dalam, seperti yang diuraikan di bawah ini.

74. Perbaikan kondisi pondasi harus dilakukan pada kondisi sebagai berikut:
- material pondasi tidak mampu menahan beban bangunan dengan deformasi (penurunan) yang dapat diterima;
 - terdapat rongga yang dapat menyebabkan amblesan seperti yang dibahas pada Bab I; dan
 - pada skala ukuran bangunan, terdapat heterogenitas yang dapat menyebabkan kemiringan dan atau penurunan diferensial yang tidak dapat diterima.
75. Apabila perbaikan kondisi pondasi diperlukan, maka hal-hal berikut ini harus dilaksanakan:
- penentuan nilai parameter material lapisan bawah permukaan setempat;
 - penentuan sifat-sifat material pondasi yang diperlukan;
 - pemilihan teknologi tertentu untuk perbaikan pondasi (penggalian dan pemanatan timbunan, *dental works*, pemanatan dengan berbagai metoda, perkuatan dengan semen, *dewatering*, dll);
 - program uji prototipe dilaksanakan untuk verifikasi efektifitas metoda yang diusulkan untuk perbaikan kondisi lapisan awah permukaan secara eksperimental;
 - sesudah metoda yang diusulkan diverifikasi, maka selanjutnya disiapkan spesifikasi untuk operasi lapangan;
 - pada penyelesaian program perbaikan, investigasi dilaksanakan untuk menentukan apakah spesifikasi dipenuhi dan faktor keselamatan yang diperlukan tersedia untuk desain; dan
 - setiap perbaikan material pondasi harus dimasukkan ke dalam profil desain yang digunakan untuk penilaian.

Pilihan sistem pondasi dan konstruksi

76. Dua sistem pondasi untuk menyalurkan beban struktur bangunan atas ke dalam tanah adalah pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal digunakan apabila distribusi beban cukup merata dan lapisan atas tanah cukup memadai. Pada kondisi tanah lunak, pondasi dalam digunakan untuk menyalurkan beban ke lapisan tanah yang lebih keras. Oleh karena kerumitan desain, umumnya pondasi dangkal dipertimbangkan sebagai pilihan pertama, dan opsi pondasi

- dalam dipertimbangkan sebagai pilihan terakhir.
77. Kriteria pemilihan sistem pondasi adalah sebagai berikut :
- a. gaya-gaya yang disebabkan oleh struktur harus disalurkan ke tanah tanpa menimbulkan deformasi yang melebihi toleransi yang tidak dapat diterima;
 - b. deformasi tanah yang diakibatkan oleh input gerakan tanah SL-2 harus sesuai dengan persyaratan desain struktur;
 - c. resiko-resiko yang berhubungan dengan ketidakpastian evaluasi respon seismik harus dipertimbangkan pada desain dan konstruksi sistem pondasi;
 - d. resiko yang mungkin dari air tanah yang agresif/merusak harus diperhitungkan;
 - e. satu jenis pondasi harus digunakan untuk setiap struktur bangunan;
 - f. pilihan jenis pondasi tergantung pada jenis bangunan. Pondasi rakit harus digunakan untuk komponen/bagian nuklir (*nuclear island*) Reaktor Daya, karena akan memberikan penurunan yang homogen pada beban statik dan dinamik dan juga berperan sebagai penghalang antara lingkungan dan sisi dalam bangunan.
78. Analisis dan profil desain harus mewakili perilaku struktur dalam kondisi beban yang diantisipasi, sehingga sangat penting bahwa analisis sistem pondasi dan struktur harus mewakili kondisi seperti dibangun.

B. INTERAKSI TANAH-STRUKTUR

Analisis Statik

Parameter input

79. Dari analisis interaksi tanah-struktur statik, dapat ditentukan distribusi tekanan kontak dibawah pondasi dan tegangan imbas pada material bawah permukaan. Di samping parameter geometri dan elastik struktur, parameter material lapisan bawah permukaan tanah berikut harus dimasukkan dalam profil desain untuk melakukan perhitungan tekanan kontak pondasi:
- a. modulus elastik dan rasio *poisson* tanah dan variasinya terhadap kedalaman dan dengan tingkat regangan;
 - b. koefisien reaksi lapisan bawah permukaan (*sub-grade reaction*);
 - c. satuan berat material lapisan bawah permukaan tanah ; dan
 - d. rejim air tanah.

80. Disamping itu, apabila material lapisan bawah permukaan tanah merupakan tanah atau batuan lunak, informasi mengenai riwayat tegangan material lapisan bawah permukaan tanah harus diperoleh untuk memperkirakan penurunan dan pengangkatan dan untuk menilai bahaya kegagalan (pergeseran) pondasi. Untuk menghitung riwayat tegangan ini, sekurang-kurangnya hal berikut harus diperoleh yaitu :
- a. riwayat tegangan geologi dan tegangan pra-konsolidasi yang dihasilkan, *OCR (over-consolidation ratio)*, dan lain-lain;
 - b. riwayat pembebahan-tanpa pembebahan (*load-unload history*) akibat kegiatan seperti *dewatering*, penggalian, penimbunan dan konstruksi bangunan, dan juga geometri dari ruang yang terganggu;
 - c. parameter yang diperlukan untuk penetapan dan penerapan hukum konstitutif yang berlaku untuk material lapisan bawah permukaan tanah dan variasinya terhadap kedalaman; dan
 - d. geometri dan kekakuan rakit pondasi dan juga struktur atas bangunan. Program komputer dapat digunakan untuk melakukan perhitungan dan dapat mempertimbangkan sifat non-linier tanah. Penilaian penurunan diberikan terinci pada bagian berikut ini.

Metoda analisis

81. Pondasi yang banyak digunakan untuk Reaktor Daya adalah jenis pondasi rakit. Desain pondasi rakit harus dianalisis untuk jenis perilaku kekakuan struktur yang relevan seperti pondasi sangat kaku, pondasi lentur atau kekakuan struktur yang sebenarnya. Kekakuan struktur alas (*superstructure*) harus diperhitungkan apabila diperlukan dalam evaluasi ini. Untuk menghitung distribusi tekanan kontak di bawah pondasi rakit, material lapisan tanah pondasi bawah permukaan dapat dimodelkan dengan metoda elemen hingga (*continuum representation*) atau dinyatakan dengan serangkaian sistem pegas yang mempunyai kekakuan sesuai dengan koefisien reaksi lapisan bawah permukaan (*lumped representation*).
82. Untuk dua kondisi pondasi sangat kaku dan pondasi lentur (berdasarkan kondisi distribusi beban pada tanah), analisisnya dapat dilakukan dengan metoda yang sudah umum digunakan sebagaimana banyak tersedia dalam literatur. Untuk kondisi menengah, umumnya digunakan penyelesaian numerik dengan program

komputer. Pertimbangan harus diberikan terhadap kondisi dengan kekakuan struktur yang berubah pada saat pembangunan berlangsung. Disamping itu juga harus dipertimbangkan apabila material lapisan bawah permukaan menunjukkan perilaku non-linier pada saat pengurangan beban (*unloading*) dan pembebanan ulang (*reloading*), selama penggalian, *dewatering* dan penimbunan.

83. Untuk struktur yang letaknya berdekatan, dampak struktur yang berdekatan pada respon tanah pondasi harus dievaluasi. Dalam kasus ini, analisis tiga dimensi harus dipertimbangkan.

Analisis Dinamik

Elemen dasar analisis dinamik interaksi tanah-struktur

84. Tujuan analisis dinamik interaksi tanah-struktur adalah untuk menentukan respon dinamik dari struktur dengan memperhitungkan pengaruh sambungan antara struktur dan media pondasi pendukung, bila sistem kombinasi tersebut dikenai beban dinamik eksternal atau gerakan tanah akibat gempa bumi.
85. Untuk struktur yang terkena beban dinamik eksternal, seperti angin, ledakan atau eksitasi getaran paksa, penyelesaian respon dinamik dari sistem tanah-struktur mencakup langkah-langkah dasar berikut:
 - a. penentuan sifat dinamik struktur, yaitu langkah pemodelan struktur;
 - b. penentuan hubungan perpindahan gaya untuk media pondasi, yaitu langkah impedansi pondasi; dan
 - c. penentuan respon dinamik dari sistem tanah-struktur yang tersambung akibat pembebanan, yaitu langkah analisis respon interaksi.
86. Untuk struktur yang terkena gerakan tanah akibat gempabumi, penyelesaian respon dinamik dari sistem tanah-struktur yang tersambung memerlukan penentuan input gerakan tanah pada sistem, selain langkah-langkah yang diuraikan di atas. Penentuan input gerakan tanah, meliputi dua hal :
 - a. penentuan gerakan medan bebas, yaitu masalah respon tapak (dapat dilihat pada Bab II); dan
 - b. penentuan sebaran (modifikasi) gerakan medan bebas karena adanya struktur dan penggalian.
87. Secara umum analisis interaksi tanah-struktur harus dilakukan untuk tapak dengan kondisi material pondasi Tipe 2 atau Tipe 3 (lihat Bab II). Dukungan

dasar jepit (*fixed*) dapat diasumsikan dalam pemodelan struktur Reaktor Daya untuk analisis respon seismik tapak Tipe 1.

Langkah-langkah untuk analisis seismik interaksi tanah-struktur

88. Analisis seismik lengkap tentang interaksi tanah-struktur harus meliputi langkah-langkah sebagai berikut:
- analisis respon tapak ;
 - analisis sebaran pondasi ;
 - analisis impedansi pondasi ;
 - pemodelan struktur ; dan
 - analisis respon interaksi sistem tersambung (*coupled*).

Parameter-parameter input

89. Informasi berikut harus tersedia dalam profil desain untuk melaksanakan analisis seismik interaksi tanah-struktur, yang meliputi:
- nilai estimasi terbaik untuk profil kecepatan rambat gelombang (gelombang tekan (P), dan geser (S)) dengan jangkauan variasi yang ditentukan dengan teknik pengukuran di lapangan ;
 - jumlah dan ketebalan lapisan di atas campuran (*half-space*) viskoelastis. Pemilihan lapisan dilakukan sedemikian rupa sehingga setiap lapisan mempunyai karakteristik yang seragam yaitu jenis tanah dan kecepatan gelombang geser yang sama;
 - kondisi awal dari material lapisan bawah permukaan yang dinyatakan dengan kecepatan rambat gelombang geser (atau modulus geser) pada regangan kecil dan dengan rasio Poisson. Nilai ini ditentukan untuk setiap lapisan pondasi dari model;
 - perilaku tanah non-linier harus diperhitungkan dengan menggunakan sifat material linier ekuivalen. Parameter desain yang diperlukan oleh metoda linier ekuivalen adalah hubungan modulus geser dan redaman dengan regangan geser untuk setiap lapisan bawah permukaan;
 - muka air yang digunakan pada saat melaksanakan analisis dengan menggunakan gerakan tanah acuan ;
 - total satuan berat material setiap lapisan;

- g. kedalaman tiang pancang (*embedments*) pada lapisan bawah permukaan;
- h. dimensi dan geometri pondasi;
- i. kekakuan pondasi rakit; dan
- j. massa, kekakuan dan redaman struktur alas (*superstructure*).

Metoda Analisis

90. Analisis interaksi tanah-struktur harus dilakukan untuk investigasi :
 - a. pengaruh kondisi tanah pondasi pada respon dinamik dari struktur;
 - b. pengaruh dari struktur tertanam. (misalnya pengaruh sebaran);
 - c. pengaruh dari tekanan dinamik dan deformasi pada struktur yang tertanam;
 - d. pengangkatan (*up lift*) pada pondasi; dan
 - e. pengaruh interaksi struktur-tanah-struktur.
91. Pengaruh ketidakpastian parameter profil desain material pondasi terhadap analisis di atas harus dipertimbangkan. Pengaruh variasi ini adalah untuk memberikan suatu rentang hasil yang akan mencakup respon sistem interaksi tanah-struktur yang digunakan dengan memperhitungkan ketidakpastian. Pendekatan yang serupa dengan yang telah dijelaskan pada paragraf 57 harus digunakan.
92. Kontribusi dari berbagai jenis redaman (redaman material seperti viskositas dan redaman histeretik serta redaman radiasi) harus dipertimbangkan. Untuk sistem tanah-struktur yang terdiri dari komponen (sistem pondasi, struktur dan struktur bawah tanah) dengan karakteristik redaman yang berbeda, maka redaman komposit dapat digunakan. Nilai redaman maksimum umumnya digunakan tergantung pada model dan metoda analisis yang terpilih.
93. Beberapa metoda tersedia untuk menunjukkan media pondasi dalam analisis interaksi tanah-struktur. Empat metoda utama yang digunakan meliputi metoda *lumped parameter soil spring*, metoda *3D continuum half space sub-structuring*, metoda *3D finite element sub-structuring*, dan metoda *2D axisymmetric finite element direct (one-step)*.
94. Metoda interaksi tanah-struktur tersebut mempunyai model matematika dan asumsi implisit dan eksplisit yang mempunyai kemampuan dan keterbatasan dan juga kemudahan penerapan yang berbeda. Oleh karena itu, pemilihan metoda

- untuk setiap kondisi tapak harus dilakukan dengan seksama.
95. Dalam analisis interaksi tanah-struktur, pertimbangan harus ditekankan pada pengaruh lapisan tanah, tiang pancang (*embedment*), sifat tanah yang tergantung pada regangan, muka air tanah, dan kondisi penimbunan.
96. Oleh karena tanah pondasi dan struktur pondasi menunjukkan karakteristik dinamika tiga dimensi, masalah interaksi struktur-tanah-struktur menjadi fenomena tiga dimensi. Dengan demikian untuk menampilkan karakteristik struktur Reaktor Daya dan tanah pondasi yang memadai, analisis tiga dimensi harus dilakukan.

C. STABILITAS

97. Penilaian stabilitas pondasi harus dilakukan pada kondisi beban statik dan kombinasi beban statik dan beban dinamik akibat input gempabumi (percepatan seismik arah vertikal harus dipertimbangkan sebagai gerakan naik turun). Pertimbangan harus meliputi daya dukung, penggulingan (*overturning*), dan pergeseran.

Parameter-parameter input

98. Informasi yang diperlukan untuk melakukan analisis stabilitas adalah :
- data geometri pondasi;
 - beban pada pondasi dan kombinasi beban yang dipertimbangkan; dan
 - kondisi tanah, termasuk muka air tanah dan karakteristik mekanik:
 - satuan berat;
 - satuan berat material timbunan;
 - kohesi;
 - sudut tahanan geser efektif; dan
 - sudut tahanan geser antara tanah dan struktur; sudut ini harus lebih kecil dari atau sama dengan sudut tahanan geser efektif untuk pondasi yang dicor di tempat dan lebih kecil dari atau sama dengan $2/3$ dari sudut tahanan geser efektif untuk pondasi pracetak.
99. Gaya siklik seismik yang terjadi dalam material pondasi akibat input gempabumi harus dihitung dengan metoda dinamik yang sesuai untuk memperoleh nilai gaya maksimal tersebut, dan untuk memperkirakan jumlah siklus beban

ekuivalen jika diperlukan untuk penilaian daya dukung. Gaya ini dapat dikonversikan menjadi gaya statik ekuivalen untuk penilaian stabilitas.

100. Metoda ini juga harus diterapkan pada analisis pengangkatan dan penggulingan dan pada perhitungan beban lateral pada lapisan tanah bawah permukaan dan dinding penahan. Gaya statik ekuivalen harus ditentukan sesuai dengan hal yang sedang dipertimbangkan.
101. Ketinggian air harus diasumsikan sama dengan ketinggian air maksimum yang disebabkan oleh banjir yang mungkin terjadi untuk pembebanan statik. Muka air tanah diasumsikan menjadi ketinggian rata-rata muka air tanah untuk penentuan daya dukung pada kondisi beban seismik SL-2.

Daya dukung

102. Penggunaan prosedur klasik dari mekanika tanah untuk perhitungan akhir daya dukung beban dapat diterima apabila material bawah permukaan relatif seragam. Analisis kesetimbangan elastik-plastik dapat dilakukan untuk kasus bidang geser (*plane strain*) dan kasus poros simetrik (*axially symmetric*). Kesulitan utama adalah pemilihan model matematika perilaku tanah atau rumus konstitutifnya (tegangan-regangan-waktu). Solusi yang tersedia umumnya terbatas pada solusi yang dikembangkan untuk teori plastisitas klasik dari benda padat yang kaku-plastik. Benda padat ini diasumsikan menunjukkan tidak adanya deformasi sebelum kegagalan geser dan aliran plastis pada tegangan konstan setelah kegagalan. Solusi ini dapat diterima asalkan keadaan yang sebenarnya memenuhi asumsi yang sesuai dengan metoda. Dalam kasus kondisi lapisan bawah permukaan tanah yang heterogen, daya dukung akhir harus diperoleh dengan metoda geser permukaan.
103. Untuk kasus tanah yang bersifat kohesif, daya dukung jangka pendek dan jangka panjang harus dinilai.
104. Jika material lapisan tanah bawah permukaan mengandung heterogenitas, anisotropi, diskontinuitas, dll yang dapat dipertimbangkan, metoda permukaan geser harus digunakan untuk mengganti formula daya dukung. Dalam metoda ini, permukaan yang berpotensi geser dengan faktor keselamatan yang lebih kecil untuk pergeseran ditentukan lebih dahulu dalam material lapisan tanah bawah permukaan dan dianalisis dengan analisis permukaan

geser konvensional pada kondisi beban statik awal dan beban seismik ekuivalen. Apabila faktor keselamatan yang diperoleh lebih kecil daripada yang dapat diterima, maka harus dilakukan analisis tambahan. Analisis dinamik yang menggunakan riwayat-waktu percepatan (*acceleration time histories*) pada kondisi beban statik awal dapat dilakukan. Dalam analisis ini, gaya seismik vertikal harus diperhitungkan dengan cara yang konservatif.

Faktor Keselamatan

105. Potensi untuk kegagalan daya dukung dari material lapisan bawah permukaan untuk Reaktor Daya pada kondisi beban statik harus serendah mungkin sehingga terdapat marjin keselamatan yang tinggi pada kondisi beban statik (kasus pada umumnya). Marjin ini harus mencukupi untuk memenuhi kondisi beban seismik SL-2 dengan marjin yang memadai.
106. Apabila dengan asumsi konservatif, faktor keselamatan yang diperlukan tercapai, umumnya analisis lebih lanjut tidak diperlukan. Harus dicatat bahwa faktor keselamatan yang dapat diterima bergantung pada metoda analisis dan pertimbangan lain. Dalam metoda daya dukung konvensional, faktor keselamatan tidak boleh lebih rendah dari 3,0 pada kondisi beban statik, dan tidak lebih rendah dari 1,5 pada kondisi kombinasi beban yang mencakup input seismik SL-2 (efek penggulingan). Faktor keselamatan untuk metoda permukaan geser harus lebih besar dari 2,0 untuk analisis permukaan geser konvensional pada kondisi kombinasi beban yang mencakup input seismik SL-2. Apabila faktor keselamatan yang dihitung lebih rendah dari yang dapat diterima, harus dilakukan analisis tambahan.
107. Jika material dasar pondasi merupakan batuan retak (*fractured*), faktor keselamatan lokal juga harus diacu. Faktor keselamatan lokal didefinisikan sebagai rasio kekuatan terhadap tegangan kerja pada masing-masing titik dengan kemungkinan adanya pelelehan (*yielding*) atau geseran lokal sepanjang zona retak yang ada dan zona yang aus (*weathered*) dibawah pondasi. Faktor ini mengindikasikan tingkat zona pelelehan (*yielding*) atau kegagalan progresif dari material karena beban desain. Faktor ini berguna dalam penentuan letak dan tingkat perbaikan yang mungkin diperlukan pada material pondasi dan dalam pemilihan teknik perbaikan yang sesuai. Jika pada kondisi kombinasi beban yang

mencakup input seismik SL-2 faktor keselamatan ini lebih kecil dari 1, dalam daerah yang cukup luas yang dapat mempengaruhi kinerja struktur, maka kondisi pondasi harus diperbaiki. Walaupun demikian, stabilitas makro harus dinilai dengan faktor keselamatan untuk daya dukung dan pergeseran.

Penggulingan (*Overturning*)

108. Pada kondisi kombinasi tertentu dari gerakan tanah, muka air tanah, dan susunan geometri bangunan, prosedur konvensional dapat menghasilkan potensi pengangkatan pondasi. Hal ini tidak berarti bahwa pondasi akan terangkat, tetapi prosedur konvensional untuk menghitung respon struktur mungkin tidak berlaku pada kondisi tersebut. Dalam kondisi permukaan pondasi yang diperkirakan terangkat lebih besar dari 30% dari seluruh permukaan pondasi, metoda yang lebih canggih harus digunakan dalam analisis interaksi tanah-struktur dinamik. Pengangkatan pondasi yang diperkirakan harus dibatasi pada nilai yang dapat diterima dengan mempertimbangkan daya dukung tanah dan persyaratan fungsional.
109. Kondisi pengangkatan pondasi harus diperhitungkan dalam analisis daya dukung material pondasi.

Pergeseran (*Sliding*)

110. Pergeseran struktur yang berada di bawah pondasi harus diselidiki.
111. Pada pondasi yang tertanam, tekanan aktif tanah harus dianggap sebagai sebuah beban horizontal tambahan, sedangkan kapasitas tambahan pondasi yang mungkin ada harus dibatasi oleh nilai tekanan tanah pada kondisi diam (*at rest*).
112. Evaluasi keselamatan pergeseran pondasi Reaktor Daya harus mencakup bukan hanya penilaian kesetimbangan gaya antara tahanan dan beban desain tetapi juga perbandingan perpindahan (dievaluasi dengan metoda yang sesuai seperti analisis metoda elemen hingga atau terbatas) selama dan sesudah gerakan input SL-2 dengan nilai yang dapat diterima.

D. PENURUNAN DAN PENGANGKATAN (*HEAVES*) Analisis statik

113. Penilaian tentang penurunan pada kondisi beban statik harus dilakukan. Perubahan penurunan atau pengangkatan antar bangunan Reaktor Daya karena

adanya pipa-pipa, saluran-saluran dan terowongan-terowongan yang menjadi penghubung antar fasilitas harus ditentukan. Penurunan atau pengangkatan juga penting dalam hubungannya dengan deformasi pondasi yang dapat mengakibatkan terjadinya tekanan berlebih pada bangunan dan interferensi dengan operasi mesin seperti pompa dan turbin pada saat terlepas dari penyangganya.

114. Penurunan jangka pendek dan jangka panjang (terjadi selama masa operasi Reaktor Daya) harus diperkirakan.
115. Penurunan yang tergantung waktu dapat dihitung dengan teori konsolidasi klasik dan analisis non-linier canggih lainnya. Pada tanah yang jenuh, tiga komponen berikut harus dipertimbangkan :
 - a. penurunan tanpa pengaliran (*drainase*), untuk tanah yang sangat jenuh karena geseran ;
 - b. penurunan karena konsolidasi; dan
 - c. penurunan karena rayapan.
116. Langkah-langkah berikut diperlukan untuk mengevaluasi penurunan jangka panjang:
 - a. riwayat pembebanan yang terantisipasi dari material lapisan bawah permukaan harus ditetapkan (urutan penggalian, proses *dewatering*, penimbunan, proses konstruksi);
 - b. parameter berikut harus dipertimbangkan: tekanan prakonsolidasi, koefisien konsolidasi, modulus awal atau modulus tangensial, rasio Poisson, atau parameter lain yang membentuk rumus konstitutif tertentu; nilai parameter tersebut harus ditentukan untuk seluruh profil yang penting;
 - c. untuk setiap lapisan, model harus ditentukan sesuai dengan data dari uji laboratorium dan uji lapangan;
 - d. model tersebut harus dinilai dan diperbaiki dengan penafsiran pengukuran penurunan dan pengangkatan yang dilakukan selama penggalian, *dewatering*, penimbunan dan konstruksi; dan model tersebut harus dikoreksi dengan membandingkan antara hasil perkiraan dan pengamatan sehingga setiap penyesuaian yang diperlukan dapat dilakukan untuk perkiraan yang akan datang.

Analisis Dinamik

117. Penilaian konservatif dari penurunan diferensial dan total harus dilakukan untuk desain pondasi bangunan, struktur penghubung antara bangun-bangunan yang berdekatan dan pondasi untuk mesin.
118. Pada kondisi dimana tidak dilakukan analisis interaksi struktur-tanah-struktur (ISTS), analisis ISTS bangunan satu-persatu harus dilakukan dan perpindahan dari setiap bangunan harus dikombinasikan untuk memperoleh bagian dinamik dari perpindahan diferensial. Kedua komponen horisontal dan vertikal dan kombinasinya harus dipertimbangkan.
119. Untuk tapak dengan kondisi tanah lunak, penurunan sisa setelah gempabumi harus dinilai sesuai dengan metoda terbaru.

E. EFEK GETARAN TERINDUKSI

120. Pondasi dengan struktur terkena getaran atau dengan beban getaran harus didesain untuk memastikan bahwa getaran itu tidak akan menyebabkan penurunan yang berlebih. Untuk itu, pencegahan harus dilakukan untuk meyakinkan bahwa resonansi tidak akan terjadi antara frekuensi getaran dan frekuensi alami dari sistem tanah-pondasi. Apabila pencegahan ini tidak relevan, sumber getaran harus dipisahkan dari struktur penyangga dan dari tanah dengan menggunakan pegas atau sistem pegas dan peredam.

BAB IV

STRUKTUR BANGUNAN TANAH

A. PRINSIP UMUM

121. Desain struktur bangunan tanah dan struktur tertanam, yang berkaitan dengan keselamatan Reaktor Daya harus konsisten dengan desain Reaktor Daya itu sendiri. Khususnya desain terhadap bahaya eksternal harus dilaksanakan sesuai dengan kejadian yang dipilih dalam desain Reaktor Daya. Kejadian tersebut dan beban terkait harus didaftarkan dalam bentuk acuan struktur bangunan tanah atau struktur tertanam; daftar kejadian harus dilengkapi dengan kejadian khusus, yang jika ada, mungkin dapat mempengaruhi keselamatan struktur. Sebagai contoh:
- a. dalam hal konsistensi: tingkat keselamatan seismik yang dicapai oleh desain terkait keselamatan dari bendungan dan tanggul harus konsisten dengan desain fasilitas utama Reaktor Daya; atau
 - b. dalam hal kejadian khusus: stabilitas lereng harus mempertimbangkan hujan lebat, yang periode ulangnya harus konsisten dengan kejadian meteorologi yang dipilih dalam desain Reaktor Daya.

B. LERENG ALAMI

122. Stabilitas lereng alami di sekitar fasilitas penting Reaktor Daya harus diuji dari sudut pandang keselamatan Reaktor Daya. Evaluasi keselamatan akan sangat tergantung pada jarak dan fitur kemiringan. Jika kemiringan dinilai berjarak cukup jauh dari fasilitas penting sehingga runtuhan tidak akan pernah mencapai struktur yang terkait keselamatan, maka tidak diperlukan tindak lanjut. Oleh karena itu perlu dilakukan identifikasi potensi bahaya lereng berdasarkan jarak, sudut kemiringan, ketinggian, geologi, kadar air dan kondisi geoteknik material lereng lainnya, dsb.
123. Efek eksternal gempabumi dan hujan lebat harus dipertimbangkan secara terpisah dalam penilaian potensi bahaya lereng alami.
124. Jika lereng dianggap mempunyai potensi bahaya, analisis stabilitas harus dilakukan dengan cara yang tepat. Analisis pergeseran permukaan konvensional

umumnya dapat dipergunakan untuk mengevaluasi faktor keselamatan dari kegagalan pergeseran.

125. Efek seismik umumnya dipertimbangkan dengan gaya inersia statik ekuivalen yang menggunakan suatu nilai koefisien seismik. Untuk mengevaluasi gaya statik ekuivalen, amplifikasi seismik pada lereng juga harus diperhitungkan jika diperlukan. Percepatan maksimum gempa permukaan (*peak ground acceleration, PGA*) harus digunakan untuk memperkirakan gaya inersia, walaupun beberapa nilai yang lebih rendah yang dijastifikasi berdasarkan studi tambahan mungkin juga dipergunakan. Faktor keselamatan harus sama dengan atau lebih besar dari 1,5. Jika faktor keselamatan tidak cukup besar, maka analisis respon dinamik berdasarkan gerakan seismik desain harus dilakukan. Jika diperlukan, deformasi sisa dievaluasi untuk menilai keselamatan akhir untuk kasus dengan faktor keselamatan mendekati satu.
126. Apabila faktor keselamatan hasil evaluasi cukup rendah sehingga menunjukkan potensi kegagalan pergeseran yang besar, maka tindakan yang memadai untuk penstabilan dan penguatan lereng atau pencegahan longsoran yang terkait keselamatan harus didesain dan diimplementasikan. Jika tidak, perencanaan tapak Reaktor Daya harus disusun ulang.

C. BENDUNGAN DAN TANGGUL

127. Istilah tanggul harus digunakan untuk struktur sepanjang aliran air dan istilah bendungan digunakan untuk struktur yang lebih tinggi dari 15 m yang diperlukan untuk menyediakan air atau reservoir Reaktor Daya. Untuk mendesain tanggul dan bendungan yang tepat harus mengacu pada Peraturan Kepala mengenai desain yang sesuai.
128. Sebelum konstruksi, selain uji geoteknik dan geofisik, permeabilitas tapak yang berdekatan dengan daerah pondasi harus diperhatikan. Permeabilitas ini harus dikontrol selama masa operasi Reaktor Daya.
129. Disamping jenis kegagalan yang biasa, desain struktur bangunan tanah harus mempertimbangkan semua jenis kegagalan yang mungkin terjadi, yang tergantung pada dua parameter: tekanan pori di dalam tanggul/bendungan dan erosi internal yang disebabkan oleh aliran air di dalam tanggul/bendungan.

130. Desain bendungan dan tanggul yang berkaitan dengan konsekuensi kegalannya terhadap keselamatan (misalnya: hilangnya air pendingin untuk reaktor), harus konsisten dengan desain Reaktor Daya, khususnya untuk evaluasi bahaya alam (gempabumi, periode ulang hujan atau banjir) dan marjin desain yang dihasilkan dari metoda perhitungan.
131. Disamping metoda desain rekayasa yang umum, analisis spesifik harus dilakukan untuk menghitung parameter struktur yang relevan (perpindahan, tekanan pori) yang nilainya harus dibandingkan dengan nilai pengukuran di lapangan pada setiap tahapan konstruksi.
132. Surveilan (inspeksi periodik), pemantauan tanggul dan bendungan dan pekerjaan perawatan harus selalu dilaksanakan selama tahap konstruksi dan selama pengoperasian untuk mencegah adanya kemungkinan kerusakan seperti erosi internal tanggul.

D. TANGGUL-LAUT, PEMECAH GELOMBANG, PELINDUNG GELOMBANG

133. Tanggul-laut, pemecah gelombang dan pelindung gelombang (*revetments*) merupakan struktur teknik sipil untuk melindungi fasilitas penting Reaktor Daya terhadap gempuran gelombang di laut atau di danau selama badai dan tsunami. Struktur ini harus didisain secara tepat sehingga dapat mencegah erosi tanah, banjir dan kegagalan struktur yang mengancam keselamatan fasilitas yang penting.
134. Efek eksternal dari gelombang, tsunami, dan gempabumi harus dipertimbangkan dalam menilai potensi kegagalan tanggul-laut, pemecah gelombang, dan pelindung gelombang. Efek dinamik gelombang harus dievaluasi dengan memperhitungkan tinggi air statik maksimum yang diperoleh dari evaluasi bahaya banjir.
135. Stabilitas struktur harus dievaluasi secara teliti dari segi kelangsungan fungsi masing-masing struktur tersebut di atas dan juga efek samping dalam hal terjadinya kegagalan struktur. Metoda evaluasinya serupa dengan metoda untuk kegagalan pergeseran lereng yang telah disebutkan sebelumnya. Dalam pelaksanaannya, sifat-sifat material tanggul-laut, pemecah gelombang, pelindung gelombang dan material timbunan yang umumnya terdiri atas blok beton,

kerikil dan partikel ukuran besar lainnya harus diperkirakan dengan tepat. Tanah berpasir kadangkala ditemukan pada dasar dari struktur tanggul-laut, pemecah gelombang, dan pelindung gelombang. Tanah berpasir tersebut memerlukan evaluasi potensi likuifaksi.

136. Konsekuensi kegagalan struktur tanggul-laut, pemecah gelombang, dan pelindung gelombang pada saluran, pipa dan fasilitas bawah tanah lainnya yang terkait keselamatan, yang lewat di dekat atau melalui fasilitas harus dipertimbangkan dengan semestinya. Jika diduga ada efek berbahaya, maka langkah penanggulangan harus dilakukan untuk melindungi fasilitas atau perencanaan harus diatur ulang.

BAB V

STRUKTUR TERTANAM

A. DINDING PENAHAN

137. Dinding penahan diklasifikasikan dalam dua kelompok:
- a. dinding gravitasi (*Gravity walls*) yang mana berat dinding dan tanah yang terkait memegang peranan penting untuk stabilitasnya; dan
 - b. dinding tertanam (*Embedded walls*), seperti turap, stabilitasnya ditentukan oleh tekanan pasif tanah dan/atau angkur.
- Umumnya dinding penahan tersusun dari gabungan dua kategori tersebut.
138. Parameter input untuk penilaian stabilitas serupa dengan parameter yang digunakan untuk menilai stabilitas pondasi, dan umumnya dilengkapi dengan data geometrik tanah di belakang dinding penahan, khususnya kemiringan permukaan. Penentuan muka air tanah harus diperhatikan secara khusus. Data tanah harus disediakan pada kedalaman tertentu konsisten dengan analisis yang telah dilakukan untuk penilaian stabilitas.
139. Untuk analisis stabilitas, tekanan tanah di belakang dinding dapat berupa tekanan aktif. Apabila beberapa persyaratan membatasi perpindahan dinding yang diizinkan, maka tekanan tanah harus merupakan tekanan tanah pada kondisi diam.
140. Tekanan aktif tanah yang disebabkan oleh gempabumi dievaluasi dengan memperhitungkan gaya gravitasi pada arah yang tidak dikehendaki. Komponen vertikal percepatan gempa harus dipertimbangkan sebagai gerakan ke bawah atau ke atas. Tekanan pasif tanah diuji dengan cara yang serupa sehingga menghasilkan efek yang lebih tidak diharapkan.
141. Dalam analisis stabilitas, moda kegagalan yang meliputi pergeseran permukaan dan juga kegagalan yang berkaitan dengan kapasitas dinding penahan tanah harus diperhatikan. Faktor-faktor keselamatan terkait dengan modus tersebut adalah faktor keselamatan lereng alami dan daya dukung pondasi.
142. Tanah di sekeliling pondasi harus tidak berpotensi mengalami likuifaksi akibat gempabumi SL2.

B. STRUKTUR BANGUNAN TERTANAM

143. Struktur bangunan tertanam adalah bangunan dengan pondasi yang cukup dalam sehingga terjadi interaksi yang signifikan antara dinding bawah tanah dengan tanah sekitarnya. Dua konsekuensi yang harus diperhatikan yaitu :
 - a. dinding bawah tanah yang berfungsi sebagai dinding penahan; hal ini telah diuraikan sebelumnya dan tidak dibahas lagi; dan
 - b. situasi dengan konsekuensi yang berasal dari bangunan itu sendiri, ini akan dibahas lebih lanjut dalam bagian berikut ini.
144. Parameter input untuk penilaian struktur bangunan tertanam serupa dengan parameter untuk penilaian pondasi dan dinding penahan, dan harus dikumpulkan sebagaimana mestinya. Informasi pendukung untuk dinding bawah tanah yang mencakup informasi persyaratan keselamatan dan kemampurawatan harus dikumpulkan, khususnya kekedapan, yang harus dipenuhi untuk berbagai pembebahan. Untuk itu, desain pondasi harus memperhitungkan keretakan beton (batas tegangan besi tulang dan beton) dan perhatian khusus harus diberikan pada desain sambungan konstruksi bangunan. Untuk selanjutnya ketentuan mengenai pengungkung diatur dalam Peraturan Kepala Bapeten mengenai Desain Sistem Pengungkung Reaktor Daya.
145. Efek air tanah pada struktur bangunan tertanam harus diperhitungkan dalam persyaratan desain, untuk stabilitas dan kekedapan. Pada kasus apapun drainase harus diimplementasikan untuk setiap pondasi yang berada di bawah muka air tanah atau tekanan hidrostatik air tanah harus diperhitungkan. Pada daerah pantai, efek variasi salinitas air tanah yang berpotensi merusak material pondasi dan isolasi harus dipertimbangkan.
146. Sebuah bangunan dapat dianggap sebagai tertanam hanya jika timbunan telah dipadatkan sesuai dengan spesifikasi dan metoda terbaik atau jika upaya-upaya yang memadai telah dilaksanakan. Dalam kasus tersebut, efek penanaman pada impedansi pondasi dan interaksi tanah-struktur harus diperhitungkan. Apabila bangunan tersebut tidak tertanam secara mekanik, maka hanya konsekuensi kedalaman pondasi yang harus diperhitungkan, tanpa menghiraukan efek interaksi tanah dengan dinding bawah tanah.

147. Analisis stabilitas bangunan telah diuraikan dalam Bab tentang pondasi. Untuk pondasi yang tertanam secara mekanik, friksi antara tanah dan dinding harus diabaikan untuk analisis stabilitas pada kondisi beban seismik.

C. PIPA TERTANAM, PIPA PENYALUR (CONDUITS) DAN TEROWONGAN

Program investigasi

148. Program investigasi tapak harus mempertimbangkan tata letak pipa atau *conduits* tertanam. Lubang pengeboran dan lubang uji harus dilakukan dengan jarak yang memadai sepanjang jalur pemipaan. Perhatian khusus harus diberikan untuk mengidentifikasi daerah diskontinuitas atau perubahan material tanah pondasi sepanjang jalur pemipaan.
149. Kedalaman investigasi lubang pengeboran atau sumur uji tersebut bergantung pada stratigrafi material tanah pondasi di bawah pipa, tetapi harus diperdalam sampai lapisan tanah yang dikehendaki di bawah struktur kedalaman pondasi.
150. Penilaian potensi efek lingkungan korosif terhadap material pipa harus dimasukkan ke dalam program investigasi tapak.

Pertimbangan konstruksi

151. Jaringan pipa tertanam harus diletakkan pada kedalaman yang memadai untuk mencegah terjadinya kerusakan akibat beban permukaan (misal: beban lalu lintas jalan raya) atau harus didesain untuk tahan terhadap berbagai beban yang diperkirakan akan diterima pipa.
152. Jaringan pipa harus diletakkan pada material berupa butiran yang dipadatkan dengan baik di atas material tanah pondasi yang memenuhi syarat, sehingga tidak menimbulkan kerusakan atau distorsi pada jaringan pipa, yang disebabkan oleh penurunan atau likuifikasi material tanah pondasi. Teknik perbaikan pondasi dapat digunakan untuk kondisi lapisan bawah permukaan tanah yang lunak.

Pertimbangan desain

153. Sistem tertanam dan terowongan yang terkait dengan keselamatan harus didesain tahan terhadap efek gempabumi.
154. Sistem pemipaan tertanam yang panjang lebih terpengaruh oleh perpindahan relatif akibat regangan daripada efek inersia. Regangan ini terutama disebabkan

oleh rambatan gelombang seismik dan beda perpindahan antara titik pengangkur dan tanah sekitar jaringan pipa tertanam. Berikut ini adalah beban akibat seismik yang harus dipertimbangkan untuk jaringan pipa, conduits, dan terowongan tertanam yang panjang yaitu :

- a. regangan akibat rambatan gelombang gempa;
- b. beda perpindahan pada zona dengan material yang berbeda;
- c. deformasi dan goncangan dari tanah atau titik pengangkur relatif terhadap tanah; dan
- d. kerusakan tanah misalnya likuifikasi, longsoran dan penurunan.

Pertimbangan analisis

155. Analisis sistem pemipaan akibat goncangan gempabumi harus memperhatikan dua jenis beban berikut:
 - a. deformasi relatif akibat rambatan gelombang seismik melalui tanah di sekitarnya atau perbedaan deformasi antara tanah dan titik pengangkur; dan
 - b. tekanan tanah lateral pada penampang lintang elemen struktur bangunan.
156. Kecuali kalau ada jastifikasinya, dapat diasumsikan bahwa bagian pipa tertanam linier yang panjang, yang berada jauh dari titik pengangkur, belokan tajam, atau persilangan, bergerak bersama dengan tanah di sekitarnya dan bahwa tidak ada pergerakan struktur yang tertanam relatif terhadap tanah di sekitarnya. Dalam hal ini regangan aksial maksimum dapat diperkirakan dengan mengabaikan friksi antara jaringan pipa dan tanah di sekitarnya. Jika terjadi slip antara pipa dengan tanah di sekitarnya, regangan aksial untuk bagian yang lurus dan jauh dari titik pengangkur, belokan tajam, atau persilangan harus diperkirakan dengan mempertimbangkan adanya friksi.
157. Estimasi regangan aksial bergantung pada jenis gelombang yang dihasilkan oleh beda perpindahan tanah maksimum. Jenis-jenis gelombang yang harus dipertimbangkan adalah gelombang tekan, gelombang geser, dan gelombang permukaan.
158. Selain menghitung gaya dan regangan dalam pipa tertanam akibat efek perambatan gelombang, gaya dan regangan akibat pergerakan relatif maksimum antara titik pengangkur (seperti titik tambahan/pelengkap struktur bangunan)

dan tanah yang berdekatan, yang terjadi sebagai hasil respon dinamik titik pengangkur harus juga dihitung. Dalam menghitung gaya dan regangan maksimum dalam pipa tertanam, gerakan titik pengangkur yang berdekatan harus dipertimbangkan secara konservatif.

159. Analisis terowongan harus mempertimbangkan tegangan dan deformasi yang disebabkan oleh seluruh beban yang diperkirakan termasuk gerakan gempabumi. Tegangan dapat dianalisis secara empiris atau numerik menggunakan metoda elemen hingga.
160. Selain terowongan dan cerobong (*shafts*) dalam, tegangan dan regangan gelang (*hoop*) juga akan membesar akibat rambatan gelombang seismik. Untuk itu tegangan dan regangan gelang ini harus dipertimbangkan di dalam desain tersebut.

BAB VI

PEMANTAUAN PARAMETER GEOTEKNIK

A. TUJUAN PEMANTAUAN

161. Eksplorasi lapisan bawah permukaan tanah, uji lapangan dan uji laboratorium harus memberikan parameter dan karakteristik tapak yang sesuai untuk memperkirakan kinerja sistem pondasi pada berbagai kondisi beban. Penggunaan parameter tersebut memudahkan penetapan kriteria desain pondasi untuk kinerja struktur dan material pondasi pada kondisi pembebahan yang terantisipasi. Untuk keperluan verifikasi kinerja pondasi dan struktur bangunan tanah, perilaku yang sebenarnya di lapangan harus dipantau mulai dari awal kegiatan tapak sampai tahap setelah konstruksi.
162. Pemantauan beban dan deformasi yang sebenarnya memungkinkan dilakukannya pemeriksaan di lapangan terhadap perilaku pondasi dan struktur bangunan tanah yang diperkirakan. Oleh karena kegiatan konstruksi pada umumnya memerlukan waktu lama, data hasil pemantauan dapat direvisi terhadap model penurunan permukaan tanah berdasarkan kinerja yang sebenarnya. Oleh karena itu, prediksi kinerja jangka panjang dapat dibuat dengan tingkat kepercayaan yang dapat diterima.

B. PEDOMAN UNTUK PEMANTAUAN

163. Tahap konstruksi umumnya meliputi kegiatan penggalian, penimbunan dan pembangunan instalasi. Perilaku tanah harus dipantau selama tahap tersebut. Selama tahap penggalian dan penimbunan, deformasi material lapisan bawah permukaan (pengangkatan dan penurunan, perpindahan lateral) harus dipantau dan evaluasi beban harus dilakukan. Pemantauan harus terus dilaksanakan selama umur instalasi.
164. Rejim air tanah di bawah bangunan dan di area yang berdekatan harus dipantau untuk verifikasi kondisi yang diuraikan dalam asumsi desain, terutama jika dipasang sistem drainase dalam atau *dewatering* permanen.
165. Defleksi, perpindahan dan parameter yang relevan dari struktur yang terkait dengan keselamatan, termasuk struktur penahan dan struktur bangunan tanah harus dipantau.

166. Perilaku seismik tapak dan material lapisan bawah permukaan harus dipantau. Keperluan instrumentasi untuk pemantauan tekanan air pori di lapangan harus pula dipertimbangkan untuk studi likuifaksi.
167. Peralatan pemantau harus dipilih secara seksama sehingga sistem pemantauan memberikan informasi yang diinginkan secara akurat, selama umur instalasi. Pemilihan peralatan harus juga memperhatikan umpan balik pengalaman sebelumnya. Jumlah peralatan yang dipergunakan harus memperhitungkan nilai ekspektasi rasio kegagalannya.

C. PERALATAN PEMANTAU

168. Peralatan pemantau berikut harus digunakan untuk mengamati perilaku material tanah pondasi dan material terkait.

Tabel 4. Peralatan Pemantauan

Jenis peralatan	Cara kerja	Lokasi	Parameter yang diukur	Tujuan
Piezometer	Tekanan hidrolik	Lubang bor	Tekanan pori, muka air tanah	Pemantauan muka air tanah
GPS	Bantuan satelit	Tapak	Topografi tapak	Evaluasi tapak
Settlement monument	Topografi	Permukaan tanah	Perpindahan dan penurunan	Penurunan struktur
Gammagraphy Photogrammetry	Superposisi gambar	Permukaan tanah	Deformasi topografi	Deformasi struktur
Patok geser (<i>In situ settlement plates</i>)	Topografi	Permukaan tanah	Perpindahan	Penurunan struktur
Inclinometer, tiltmeter	Mekanik	Lubang bor	Vertikalitas	Stabilitas lereng
Seismometer	Accelerometer triggers	Medan bebas, bangunan	Riwayat waktu percepatan	Operasibilitas Instalasi; perilaku seismik struktur; spektra respon lantai
Peralatan hidrolik	Hidraulic U-tube, Glotzl cells	Pondasi rakit dan di bawahnya	Deformasi dan tegangan pondasi rakit	Perilaku sistem tanah-struktur

Peralatan lainnya dapat digunakan untuk pemantauan tanah dan bangunan (seperti : ekstensometer, *load and pressure cells* dsb) tergantung kepada kondisi tapak, persyaratan dan jenis instalasi.

BAB VII

JAMINAN MUTU DAN DOKUMENTASI

169. Program jaminan mutu harus dibuat untuk mengendalikan pelaksanaan investigasi dan penilaian tapak serta kegiatan rekayasa yang dilaksanakan dalam setiap tahap kegiatan evaluasi tapak untuk Reaktor Daya seperti dijelaskan dalam Bab II.
170. Program jaminan mutu ini harus mencakup organisasi, perencanaan, pengendalian kerja, kualifikasi dan pelatihan personil, verifikasi dan dokumentasi kegiatan untuk menjamin tercapainya kualitas kerja yang dipersyaratkan.
171. Program jaminan mutu ini merupakan bagian dari keseluruhan program jaminan mutu untuk proyek pembangunan dan pengoperasian Reaktor Daya. Akan tetapi dengan mempertimbangkan bahwa kegiatan investigasi tapak umumnya dimulai jauh sebelum pelaksanaan proyek pembangunan dan pengoperasian Reaktor Daya yang sebenarnya, maka program jaminan mutu tersebut harus dibuat sedini mungkin konsisten dengan kegiatan evaluasi tapak Reaktor Daya.
172. Dalam banyak kasus, penetapan evaluasi dan parameter yang terkait tapak mencakup analisis teknik dan rekayasa serta penilaian yang memerlukan pengetahuan dan pengalaman yang luas, mungkin tidak dapat diverifikasi langsung melalui inspeksi dan pengujian atau dengan teknik lain yang dapat diidentifikasi dan dikendalikan secara akurat. Oleh karenanya, evaluasi tersebut harus dinilai dan diverifikasi oleh individu atau kelompok yang tidak terlibat dalam pelaksanaan kegiatan. Penilaian tersebut harus dilakukan pada setiap tahap proses evaluasi tapak
173. Sesuai dengan kepentingan penilaian rekayasa dan pengalaman dalam rekayasa geoteknik, umpan balik pengalaman sebelumnya memegang peranan yang sangat penting. Untuk penilaian masalah seperti potensi likuifaksi, stabilitas lereng dan keselamatan umum struktur bangunan tanah dan struktur tertanam, umpan balik pengalaman dari suatu kegagalan pada kondisi yang sebanding sebelumnya harus didokumentasikan dan dianalisis untuk memberikan bukti bahwa kegagalan serupa tidak akan terjadi lagi

174. Banyak Reaktor Daya yang sedang beroperasi dapat memberikan sejumlah data yang berkaitan dengan sistem pemantauan (tujuan pemantauan, jenis sensor, umur sensor) dan masalah-masalah yang biasa dihadapi. Sejauh mungkin, pengalaman operasi Reaktor Daya tersebut harus didokumentasikan.
175. Hasil kegiatan investigasi tapak harus dikumpulkan dalam laporan yang mendokumentasikan semua hasil pekerjaan di lapangan, uji laboratorium, analisis dan evaluasi geoteknik.
176. Uji lapangan dan uji laboratorium harus dilakukan selama pelaksanaan pekerjaan dan selama pengoperasian Reaktor Daya untuk mengendalikan kehandalan prediksi tersebut.
177. Rekaman semua pekerjaan di lapangan, uji laboratorium, evaluasi dan analisis geoteknik yang dilaksanakan pada setiap tahapan kegiatan evaluasi tapak harus disimpan sampai tahap dekomisioning.

KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR,

ttd

SUKARMAN AMINJOYO

ANAK LAMPIRAN I

PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR

NOMOR 4 TAHUN 2008

TENTANG

EVALUASI TAPAK REAKTOR DAYA UNTUK ASPEK GEOTEKNIK DAN

PONDASI REAKTOR DAYA

Tabel Spasi dan Kedalaman Ekplorasi Bawah Tanah

Jenis Struktur	Spasi Pengeboran	Kedalaman Minimum pengeboran
Umum	<p>Untuk kondisi geologi yang seragam, spasi pengeboran direkomendasikan berdasarkan jenis struktur bangunan, minimal 1 pengeboran dilakukan untuk setiap struktur bangunan yang penting. Jika kondisi geologi bervariasi, spasi pengeboran harus diperkecil sesuai kebutuhan agar gambaran statigrafi tanah atau batuan dapat diperoleh dengan jelas. Jika ditemukan adanya rongga atau kondisi diskontinu, pengeboran yang normal harus dilengkapi dengan pengeboran tambahan agar ciri-ciri tersebut dapat terdeteksi dengan baik</p>	<p>Kedalaman pengeboran harus ditentukan berdasarkan jenis struktur dan kondisi geologi. Seluruh pengeboran harus mencapai kedalaman yang cukup untuk mendapatkan gambaran kondisi geologi dan pengambilan sampel. Kebutuhan kedalaman maksimum pengeboran untuk tujuan teknik, d_{max}, adalah sampai kedalaman dimana perubahan tegangan vertikal selama dan setelah konstruksi akibat kombinasi beban pondasi kurang dari 10% tegangan efektif setempat.</p> <p>Pengeboran harus cukup dalam untuk memperoleh dan mengevaluasi potensi masalah stabilitas kedalaman tapak.</p>
Struktur bangunan, dinding penahan tanah, bendungan dari beton	<p>Prinsip pengeboran: minimal satu pengeboran dibawah struktur yang berkaitan dengan keselamatan, atau minimum 1 pengeboran setiap 900 m^2 atau dengan spasi 20 m</p>	<p>Minimal satu pengeboran harus sampai pada kedalaman lapisan batuan atau sampai kedalaman d_{max}. Pengeboran yang lainnya sampai kedalaman dibawah elevasi pondasi yang sama dengan lebar bangunan.</p>
Bendungan dari tanah, tanggul	<p>Prinsip pengeboran: satu pengeboran setiap interval 30 m linier terhadap sumbu bendungan dan pada lokasi kritis</p>	<p>Satu pengeboran tiap interval 60 m harus sampai pada kedalaman d_{max}. Pengeboran yang lain dilakukan sampai lapisan yang</p>

	yang tegaklurus sumbu untuk mendapatkan potongan melintang kondisi geologi dan kondisi air tanah.	berpengaruh terhadap perilaku pondasi
Galian dalam, kanal	Prinsip pengeboran: satu pengeboran setiap interval 60 m sepanjang garis sejajar dan pada lokasi kritis yang tegaklurus garis sejajar untuk mendapatkan potongan melintang kondisi geologi dan kondisi air tanah.	Satu pengeboran tiap interval 60 m harus sampai pada kedalaman lapisan batuan atau d-max. Pengeboran yang lain dilakukan sampai lapisan paling bawah yang berpotensi mengalami keruntuhan.
Pemipaian	Prinsip pengeboran: Satu pengeboran setiap interval 20 m linier untuk pipa tertanam, dan minimal satu pengeboran untuk pondasi pipa yang diatas tanah.	Satu pengeboran tiap interval 60 m harus sampai pada kedalaman lapisan batuan atau d-max. Pengeboran yang lainnya sampai kedalaman 5 kali diameter pipa yang tertanam, untuk pipa diatas tanah tergantung pada struktur pondasinya.
Terowongan	Prinsip pengeboran: Satu pengeboran setiap jarak 30 m linier, dan dapat bervariasi untuk terowongan pada batuan, tergantung pada jenis dan karakteristik batuan	Satu pengeboran tiap interval 60 m harus sampai pada kedalaman lapisan batuan atau d-max. Pengeboran yang lainnya sampai kedalaman 5 kali diameter terowongan di bawah dasar terowongan.

KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR,

ttd

SUKARMAN AMINJOYO

ANAK LAMPIRAN II
PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
NOMOR 4 TAHUN 2008
TENTANG
EVALUASI TAPAK REAKTOR DAYA UNTUK ASPEK GEOTEKNIK DAN
PONDASI REAKTOR DAYA

PADANAN KATA

Padanan Indonesia – Inggris

Amblesan	- subsidence
Amplifikasi	- amplification
Batu lempung berserpih	- shales
Batuan mudah larut	- soluble rock
Bahaya geologi	- geological hazard
Daya dukung	- bearing capacity
Debris	- debris
Deformasi	- deformation
Dekonvolusi	- deconvolution
Deposit	- deposit
Dewatering	- dewatering
Efek amplifikasi seismic	- seismic amplification effect
Faktor keamanan	- safety factor
Fitur	- feature
Interaksi tanah-struktur	- soil-structure interaction
Kandungan frekuensi	- frequency content
Kantong gas	- gas pocket
Kekuatan siklik tak teralirkan	- undrained cyclic strength
Kepadaan relatif	- relative density
Kohesif	- cohesion
Konsolidasi	- consolidation
Kuat geser	- shear strength
Larutan	- solution
Bawah permukaan	- subsurface
Lereng	- slope
Likuifaksi	- liquefaction
Linier ekuivalen	- equivalent linear
Material lepas	- loose material
Tanah lunak	- soft soil

Medan bebas	- free field
Non-kohesif	- cohesionless
Pekerjaan tanah	- earthwork
Pelindung-ombak	- revetment
Pembebanan ulang	- reloading
Penurunan	- settlement
Penurunan diferensial	- differential settlement
Penggalian	- excavation
Penimbunann	- backfill
Pengangkatan	- uplift
Pengurangan beban	- unloading
Permeabilitas	- permeability
Perpindahan	- displacement
Pergeseran	- sliding
Plastisitas	- plasticity
Pondasi	- foundation
Rasio redaman	- damping ratio
Rayapan	- creep
Redaman	- damping
Refraction	- refraksi
Reflection	- refleksi
Regangan sisa	- residual strain
Rekahan terbuka	- open joint
Rembesan	- seepage
Respon spectra	- respon spectra
Rezim air tanah	- groundwater regime
Rongga	- cavity
Sampel	- sample
Sample tidak terganggu	- undisturbed sample
Sample yang dicetak ulang	- remolded sample
Sesar permukaan	- surface fault
Spesifik tapak	- site specific

Stabilitas	- stability
Stabilitas lereng	- slope stability
Stratigrafi	- stratigraphic
Struktur tertanam	- buried structure
Surveilan (inspeksi periodik)	- periodic inspection
Tanggul-laut	- sea-wall
Tekanan pada kondisi diam	- at rest pressure
Tekanan pengungkung	- confining pressure
Tekanan pori	- pore pressure
Uji lapangan	- in situ testing
Uji labaratorium	- laboratory test

Padanan Inggris - Indonesia

Amplification	- amplifikasi
At rest pressure	- tekanan pada kondisi diam
Backfill	- penimbunan
Bearing capacity	- daya dukung
Buried structure	- struktur tertanam
Cavity	- rongga
Cohesion	- kohesif
Cohesionless	- non-kohesif
Confining pressure	- tekanan pengungkung
Consolidation	- konsolidasi
Dam	- bendungan
Damping ratio	- rasio redaman
Debris	- debris
Deconvolution	- dekonvolusi
Deformation	- deformasi
Deposit	- deposit
Differential settlement	- penurunan diferensial
Displacement	- perpindahan
Earthwork	- pekerjaan tanah

Equivalent linear	- linier ekuivalen
Excavation	- penggalian
Feature	- fitur
Foundation	- pondasi
Free field	- medan bebas
Frequency content	- kandungan frekuensi
Gas pocket	- kantong gas
Geological hazard	- bahaya geologi
Grain size distribution	- distribusi ukuran butir
Groundwater regime	- rezim air tanah
Heaves	- sembulan karena kegagalan daya dukung
In situ testing	- uji lapangan
Laboratory test	- uji labaratorium
Liquefaction	- likuifaksi
Loose material	- material lepas
Open joint	- rekahan terbuka
Permeability	- permeabilitas
Plasticity	- plastisitas
Periodic inspection	- surveilan (inspeksi periodik)
Pore pressure	- tekanan pori
Relatif density	- kepadaan relatif
Reloading	- pembebanan ulang
Refraksi	- refraction
Refleksi	- reflection
Remolded sample	- sample yang dicetak ulang
Residual strain	- regangan sisa
Respon spectra	- respon spectra
Revetment	- pelindung-ombak
Safety factor	- faktor keamanan
Saluble rock	- batuan mudah larut
Sample	- sampel
Sea-wall	- tanggul-laut

Seepage	- rembesan
Seismic amplification effect	- efek amplifikasi seismic
Settlement	- penurunan
Shales	- batu lempung berserpih
Shear strength	- kuat geser
Site specific	- spesifik tapak
Sliding	- pergeseran
Slope	- lereng
Slope stability	- stabilitas lereng
Soft soil	- tanah lunak
Soil-structure interaction	- interaksi tanah-struktur
Solution	- larutan
Stability	- stabilitas
Stratigraphic	- sratigrafi
Subsidence	- amblasan
Subsurface	- bawah permukaan
Surface fault	- sesar permukaan
Swelling	- tanah mengembang
Udrained cyclic strength	- kekuatan siklik tak teralirkan
Undisturbed sample	- sample tidak terganggu
Unloading	- pengurangan/pengosongan beban
Uplift	- pengangkatan

KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR,

ttd

SUKARMAN AMINJOYO