



**PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
NOMOR 1 TAHUN 2008
TENTANG
EVALUASI TAPAK REAKTOR DAYA UNTUK ASPEK KEGEMPAAN**

DENGAN RAHMAT TUHAN YANG MAHA ESA

KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR,

Menimbang : bahwa untuk mengatur lebih lanjut ketentuan Pasal 38 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 Kegempaan;

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
KEGEMPAAN.**

Pasal 1

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

1. Sesar/patahan aktif (*Active Fault*) adalah patahan yang mulai bergerak sejak zaman Kuartar (kurang 1,8 juta tahun lalu) dan cenderung berkemampuan akan menimbulkan gempa bumi.
2. Fungsi Atenuasi (*Attenuation Function*) adalah suatu fungsi yang menggambarkan korelasi antara intensitas gerakan tanah disuatu tempat dengan kekuatan gempa dan jarak hiposenter dari suatu sumber gempa.
3. Lapisan dasar (*Basement rock*) adalah batuan kopak yang telah terbentuk sejak periode Tersier atau lebih tua lagi dan tidak mengalami pelapukan.
4. Patahan kapabel (*Capable Fault*) adalah suatu patahan yang mempunyai potensi yang berarti pada pergeseran relatif pada atau dekat permukaan tanah.
5. Episenter (*Epicentre*) adalah titik di permukaan bumi tepat di atas fokus sumber gempa.
6. Sesar/patahan (*Fault*) adalah suatu patahan tanah yang telah mengalami pergeseran sehingga terjadi perpindahan antara bagian-bagian yang berhadapan dengan arah yang sejajar dengan bidang patahan.
7. Fokus adalah sumber gempa di dalam bumi.
8. Gelombang seismik adalah getaran gempa yang menjalar di dalam dan di permukaan bumi dengan cara longitudinal dan transfersal.
9. Gempa bumi (*earthquake*) adalah getaran yang disebabkan oleh proses pelepasan/pembebasan sejumlah energi yang telah terkumpul sekian lama secara tiba-tiba, baik oleh aktivitas tektonik (patahan, penujaman serta tubrukan lempeng-lempeng litosfer di darat maupun di laut), vulkanik maupun oleh runtuhannya material yang besar.

10. Tanah patahan (*Ground-faulting*) adalah bahaya ikutan gempa bumi yang pada umumnya terjadi atau mengikuti patahan (patahan aktif) yang telah ada sebelumnya.
11. Permukaan tanah (*Ground surface*) adalah suatu permukaan yang hampir datar di atas lapisan dasar dan di atasnya tidak ditemukan lagi lapisan-lapisan permukaan lain ataupun bangunan-bangunan lainnya.
12. Hiposenter (*Hypocentre*) adalah titik atau fokus di bawah permukaan bumi sebagai sumber gempa bawah permukaan.
13. Intensitas (*Intensity*) adalah besarnya guncangan dan jenis kerusakan di tempat pengamatan akibat gempa.
14. Kerak bumi adalah lapisan atas bumi yang terdiri dari batuan padat, baik tanah di daratan maupun di dasar laut.
15. Litosfer adalah lapisan paling atas bumi yang hampir seluruhnya terdiri dari batuan padat.
16. Tanah longsor (*Landslide*) adalah istilah yang umum oleh berbagai proses dan pembentukan yang luas, melibatkan pergerakan lereng ke bawah, di bawah gaya gravitasi, dari kumpulan tanah dan material batuan.
17. Likuifaksi (*Liquifaction*) adalah proses perubahan tanah granular jenuh dari keadaan padat menuju keadaan cair akibat peningkatan tekanan air pori sehingga tegangan efektif tanah menurun.
18. Magnitudo adalah banyaknya energi yang dilepaskan pada suatu gempa bumi yang tergambar dalam besarnya gelombang seismik di episenter.
19. Seismograf adalah peralatan yang menggambarkan gelombang gempa yang datang di stasiun pengamat.
20. Seismotektonik adalah suatu karakteristik tektonik seperti patahan, retakan, daerah terobosan batuan atau karakteristik geologi lainnya dan mempunyai kaitan dengan aktivitas kegempaan/seismisiti.

21. Seismogenik adalah suatu karakteristik geologi pada umumnya suatu patahan yang dapat diidentifikasi secara geologi atau geofisika dimana gempa bumi dapat terjadi atau gempa historis pernah terjadi.
22. Struktur seismogenik adalah struktur yang menunjukkan aktivitas gempa bumi atau yang membuktikan riwayat runtuhnya permukaan atau efek dari seismisitas purba.
23. Patahan permukaan (*Surface Faulting*) adalah sobekan permanen dari permukaan tanah akibat gerakan yang berbeda melintasi suatu patahan selama gempa.
24. Amblesan (*Subsidence*) adalah penurunan permukaan tanah, tidak terbatas pada ukuran, besaran (magnitudo) atau daerah yang terlibat.
25. Tektonik (*Tectonics*) adalah cabang dari geologi mengenai arsitektur yang luas dari bagian atas kerak bumi pada masa awal dan riwayat evolusi dari struktur regional atau perubahan bentuk permukaan bumi.
26. *Tsunami* adalah gelombang seismik laut yang panjang dihasilkan di dalam laut atau samudera oleh suatu yang bersifat merusak seperti pergeseran pada bagian dasar secara tiba-tiba oleh gempa bumi, erupsi gunung api, jatuhnya meteor, gravitasi bulan atau longsoran dasar laut.
27. Pemohon Evaluasi Tapak selanjutnya disebut 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.
28. Badan Pengawas Tenaga Nuklir yang selanjutnya disingkat BAPETEN adalah instansi yang bertugas melaksanakan pengawasan melalui peraturan, perizinan, dan inspeksi terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir.

Pasal 2

Peraturan Kepala BAPETEN ini mengatur PET dalam melakukan evaluasi bahaya gempa bumi dan patahan permukaan pada tapak terhadap reaktor daya di setiap kondisi seismotektonik.

Pasal 3

Peraturan Kepala BAPETEN ini bertujuan memberikan ketentuan teknis bagi PET dalam menentukan:

- a. bahaya gerakan tanah terhadap reaktor daya pada tapak yang dipilih; dan
- b. potensi patahan permukaan yang dapat mempengaruhi kelayakan konstruksi dan keselamatan operasi reaktor daya pada tapak tersebut.

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 mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di Jakarta

pada tanggal 28 Januari 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 1 TAHUN 2008
TENTANG
EVALUASI TAPAK REAKTOR DAYA UNTUK ASPEK KEGEMPAAN

SISTEMATIKA

EVALUASI TAPAK REAKTOR DAYA UNTUK ASPEK KEGEMPAAN

BAB I REKOMENDASI UMUM

BAB II INFORMASI DAN PENYELIDIKAN YANG DIPERLUKAN (DATABASE)

- A. IKHTISAR
- B. DATABASE GEOLOGI, GEOFISIKA DAN GEOTEKNIK
 - B1. Investigasi Wilayah
 - B2. Investigasi Wilayah Dekat
 - B3. Investigasi Sekitar Tapak
 - B4. Investigasi Area Tapak
- C. DATABASE SEISMOLOGI
 - C1. Data Gempa Historis
 - C2. Data Gempa Instrumental
 - C3. Data Instrumental Spesifik Tapak

BAB III PEMBUATAN MODEL SEISMOTEKTONIK REGIONAL

- A. PENDAHULUAN
- B. STRUKTUR SEISMOGENIK
 - B1. Identifikasi
 - B2. Karakterisasi
- D. ZONA SEISMISITAS YANG MENYEBAR
 - C1. Identifikasi
 - C2. Karakterisasi

BAB IV EVALUASI BAHAYA GERAKAN TANAH

- A. PENDAHULUAN
- B. TINGKAT BAHAYA PERGERAKAN TANAH
- C. METODEDE UNTUK PENENTUAN GERAKAN TANAH
 - C1. Penggunaan Data Intensitas dan Magnitudo
 - C2. Metode Deterministik
 - C3. Metode Probabilistik
 - C4. Karakteristik Gerakan Tanah

BAB V POTENSI PATAHAN PERMUKAAN PADA TAPAK

- A. PENDAHULUAN
- B. PATAHAN KAPABEL (*CAPABLE FAULT*)
- C. INVESTIGASI YANG DIPERLUKAN UNTUK MENENTUKAN KAPABILITAS

BAB VI JAMINAN MUTU

BAB I REKOMENDASI UMUM

1. Untuk setiap tapak reaktor daya harus dilakukan penelitian bahaya getaran/gerakan tanah (*ground-shaking / ground motion*) dan patahan tanah (*ground - faulting*) yang ditimbulkan oleh gempa dan fenomena geologi yang lain. Penelitian tersebut dibahas dalam Peraturan ini dan menjadi dasar penilaian teknis pada evaluasi tapak untuk semua tingkat bahaya seismik.
2. Karakteristik seismologi, geofisika, dan geologi di sekitar wilayah tapak dan karakteristik geoteknik di tapak harus diselidiki dan dievaluasi seperti diuraikan pada Peraturan ini.
3. Wilayah tapak dapat meliputi daerah di luar batas nasional, dan untuk tapak yang terletak di dekat garis pantai, wilayah tapak dapat meliputi daerah lepas pantai. Dengan perkataan lain, database harus sehomogen mungkin untuk seluruh wilayah, atau paling tidak, cukup lengkap untuk mengkarakterisasi corak yang relevan untuk tapak dari sudut pandang seismotektonik yang terletak di negara lain atau daerah lepas pantai.
4. Ukuran wilayah yang diselidiki, jenis informasi yang dikumpulkan dan ruang lingkup serta rincian investigasi ditentukan oleh sifat dan kerumitan dari wilayah seismotektonik tersebut.
5. Ruang lingkup dan rincian informasi yang dikumpulkan dan investigasi yang dilakukan harus cukup untuk menentukan bahaya gerakan tanah dan perpindahan patahan.
6. Sekecil apapun bahaya seismik yang terlihat, untuk praktek keselamatan yang baik, setiap reaktor daya mengadopsi harga minimum percepatan tanah horizontal puncak (*peak horizontal ground acceleration*) sebesar 0,1 g sebagai nilai untuk menskalakan spektrum respon (*respon spectra*) sesuai dengan kategori seismik-2 (S_2), sebagaimana ditentukan di dalam Bab IV.
7. Pendekatan umum terhadap evaluasi bahaya gempa berorientasi pada pengurangan ketidakpastian pada berbagai langkah proses yang dilakukan. Pengalaman menunjukkan, bahwa cara yang paling efektif untuk mencapai ini adalah dengan mengumpulkan data yang andal dan relevan dalam jumlah yang memadai. Pada umumnya terdapat optimasi antara usaha yang diperlukan untuk

menyusun database yang rinci, handal dan relevan dengan derajat ketidakpastian, yang harus diambil oleh penganalisis pada setiap langkah dan proses yang dilakukan.

8. Tujuan akhir dari kompilasi data dan analisis bahaya seismik yang diterangkan di dalam Peraturan ini adalah untuk menentukan bahaya gerakan tanah (*ground motion*) dan pergeseran patahan (*fault displacement*) terhadap tapak reaktor daya. Setiap aspek identifikasi, analisis dan karakterisasi sumber gempa dan estimasi bahaya gerakan tanah, dapat sangat tergantung pada interpretasi subyektif para pakar. Perhatian khusus diambil untuk menghindari bias. Para pakar harus menghindari promosi suatu hipotesis atau model tertentu, tetapi harus mengevaluasi semua hipotesis dan model dengan menggunakan data yang ada, dan selanjutnya mengembangkan evaluasi terintegrasi yang menggabungkan baik pengetahuan maupun ketidakpastian.

BAB II

INFORMASI DAN PENYELIDIKAN YANG DIPERLUKAN (DATABASE)

A. IKHTISAR

9. Database yang komprehensif dan terintegrasi yang secara koheren menyediakan informasi yang diperlukan untuk mengevaluasi dan mengatasi masalah yang terkait dengan semua bahaya sehubungan dengan gempa, harus diperoleh.
10. Setiap elemen database dipastikan telah diselidiki semaksimal mungkin sebelum dilakukan upaya untuk integrasi berbagai elemen. Database yang terintegrasi memuat informasi yang relevan, yaitu bukan hanya data geologi, geofisika, geoteknik dan seismologi, tetapi juga informasi lain yang relevan untuk mengevaluasi gerakan tanah, patahan dan bahaya geologi lain pada tapak.
11. Investigasi seismik dilakukan pada empat skala, yaitu wilayah (*regional*), wilayah dekat (*near regional*), daerah sekitar tapak (*site vicinity*) dan area tapak (*site area*), sehingga secara bertahap diperoleh data dan informasi yang lebih rinci. Data terinci ini ditentukan oleh skala yang berbeda. Tiga skala investigasi yang pertama mengarah pada data dan informasi geologi dan geofisika yang lebih rinci. Penyelidikan area tapak ditujukan untuk pengembangan database geoteknik. Untuk mencapai konsistensi penyampaian informasi, data dikompilasi dalam Sistem Informasi Geografi (*Geographic Information System, GIS*). Untuk memudahkan komparasi semua data, hasil evaluasi dan interpretasi ditampilkan pada suatu skala yang konsisten.
12. Kompilasi database seismologi biasanya tidak begitu tergantung pada skala wilayah, wilayah dekat dan sekitar tapak. Artinya, bahwa ruang lingkup dan rincian informasi yang dikompilasi tidak tergantung pada skala untuk seluruh wilayah tapak. Meskipun demikian, struktur seismogenik di wilayah dekat dan sekitar tapak biasanya akan lebih penting untuk evaluasi bahaya gempa, tergantung pada tingkat aktivitas, magnitudo maksimum, dan atenuasi wilayah. Khusus untuk keadaan tektonik lajur *intraplate* dan

lajur *interplate Zona Megathrust*, harus diperhatikan kompilasi data seismologi pada jarak sumber yang lebih jauh, yang terjadi di luar batas wilayah tertentu. Di wilayah lepas pantai, investigasi geofisika secara memadai perlu dilakukan dalam rangka mengkompensasi kekurangan data seismologi.

B. DATABASE GEOLOGI, GEOFISIKA DAN GEOTEKNIK

B.1. Investigasi Wilayah

13. Tujuan pengumpulan data skala wilayah adalah untuk memberikan pengetahuan tentang kondisi geodinamika umum dari wilayah tersebut, dan untuk mengidentifikasi serta karakterisasi fitur geologi yang mungkin mempengaruhi atau berhubungan dengan bahaya gempa pada tapak. Yang paling relevan dari fitur geologi itu yaitu struktur geologi yang berpotensi terjadinya pergeseran dan atau deformasi pada atau dekat permukaan tanah; misalnya terdapat patahan aktif ("*capable faults*"). Data tersebut biasanya akan didapatkan dari sumber data geologi dan geofisika, baik yang dipublikasikan atau yang tidak dipublikasikan (data dari galeri seperti data yang diperoleh dari penampakan, *road cuts* atau sumur air yang ada) dan perlu disajikan pada peta dan tampang lintang yang sesuai. Ukuran wilayah ini akan bervariasi tergantung pada kondisi geologi dan tektonik, dan bentuk wilayah sumber gempanya mungkin tidak simetrik untuk memperhitungkan sumber gempa jauh yang signifikan. Biasanya jangkauan radius sumber gempa adalah 150 km atau lebih.
14. Dalam hal tertentu, untuk investigasi potensi tsunami (lihat Peraturan Kepala BAPETEN tentang Evaluasi Tapak Reaktor Daya untuk Aspek Banjir), harus dipertimbangkan sumber dan mekanisme gempa pada jarak yang sangat jauh dari tapak.
15. Apabila data yang berkaitan dengan lokasi, tingkat dan laju tektonisme yang sedang berlangsung tidak mencukupi untuk menjelaskan struktur seismogenik, maka perlu memverifikasi dan melengkapi database dengan mencari data geologi dan geofisika yang baru. Hal ini dapat melibatkan penyelidikan pada skala (detail) wilayah dekat dan sekitar tapak untuk mengkaji potensi fitur seismogenik yang terletak di luar wilayah dekat. Untuk

maksud tersebut, juga bermanfaat apabila dilakukan identifikasi efek tanah dari gempa-gempa yang lalu pada lingkungan geologi-geomorfologi (yaitu Palaeoseismologi, lihat angka 56).

16. Biasanya data tersebut disajikan pada peta berskala 1 : 500 000 dengan tampang lintang yang sesuai.

B.2. Investigasi Wilayah Dekat

17. Studi untuk wilayah dekat mencakup daerah geografi dalam radius tidak kurang dari 25 km, meskipun dimensi ini harus disesuaikan untuk mencerminkan kondisi lokal. Tujuannya adalah:
 - a. untuk menentukan karakteristik seismotektonik wilayah dekat berdasarkan database yang lebih rinci dibandingkan dengan yang dikumpulkan pada studi geologi wilayah;
 - b. untuk menentukan gerak patahan yang terkini dan patahan yang penting untuk kajian bahaya gempa, menentukan jumlah dan perilaku kejadian pergeseran, laju aktivitas dan bukti segmentasi.
18. Untuk melengkapi informasi yang dipublikasikan dan yang tidak dipublikasikan, maka dalam investigasi khusus skala wilayah dekat, pada umumnya meliputi definisi stratigrafi, struktur geologi dan riwayat tektonik dari wilayah dekat tersebut. Riwayat tektonik ini harus didefinisikan dengan baik untuk rezim tektonik saat ini, sebagai contoh: *Upper Pleistocene -Holocene* mungkin memadai untuk wilayah interplate (*Lajur Megathrust*), dan *Pliocene - Kuartar* untuk wilayah intraplate (*Lajur Benioff*). Penentuan umur dilakukan dengan menggunakan metode yang layak. Di samping pemetaan lapangan, harus juga digunakan berbagai macam sumber data, misalnya:
 - a. Data bawah-permukaan (*subsurface*) yang didapatkan dari penyelidikan geofisika (seperti teknik-teknik seismik refleksi dan refraksi, gravimetrik, teknik listrik dan magnetik) untuk mengkarakterisasi secara spasial mengenai struktur teridentifikasi yang dianggap relevan bagi suatu bahaya gempa pada tapak sehubungan dengan geometri, luasan dan laju tektonisme. Penggunaan data aliran panas bisa juga diperlukan, terutama apabila berhubungan dengan daerah lepas pantai (untuk tapak yang terletak pada atau dekat pantai).

- b. Data permukaan yang didapatkan dari studi formasi *Quaternary* atau *landforms* seperti analisis teras, studi pedologi dan sedimentologi. Penggunaan data dari penafsiran foto udara dan citra satelit dilakukan dalam proses ini.
 - c. Untuk memahami laju dan jenis tektonik yang sedang berlangsung, penggunaan data lain dari teknologi terkini seperti Sistem Penentuan Posisi Global (*Global Positioning System, GPS*) dan data interferometri, pengukuran laju tegangan harus digunakan.
19. Untuk sejumlah struktur relevan yang teridentifikasi dalam penyelidikan wilayah dekat, diperlukan untuk melaksanakan studi tambahan geofisik dan geologi pada level sekitar tapak untuk mendapatkan rincian karakterisasi yang diharapkan (lihat juga angka 56).
 20. Investigasi dibuat cukup rinci agar penyebab dari setiap fitur geologi dan geomorfologi yang relevan (berdasarkan kerangka-waktu yang sesuai untuk lingkungan tektonik lokal) - sebagai contoh fitur topografi linier atau struktur geologi yang terlihat pada foto, data geofisika - secara tepat dapat dicakup dalam model terkini yang dapat diterima dari evolusi geologi area.
 21. Data tersebut biasanya disajikan pada peta dengan skala 1 : 50.000 dengan tampang lintang yang sesuai.

B.3. Investigasi Sekitar Tapak

22. Studi sekitar tapak harus meliputi area geografi dalam radius biasanya 5 km. Dalam rangka memberikan database yang rinci untuk daerah yang lebih kecil ini, maka tujuan dari investigasi ini adalah untuk menentukan secara lebih rinci riwayat neotektonik suatu patahan, khususnya untuk menentukan potensi adanya patahan permukaan pada tapak (*fault capability*), dan untuk mengidentifikasi kondisi potensi ketidakstabilan geologi di area tapak.
23. Investigasi sekitar tapak harus memuat pemetaan geomorfologi-geologi, pencarian geofisika, pengeboran dan penggalian (lihat angka 56) dan menghasilkan data sebagai berikut:
 - a. peta geologi berikut tampang - lintang;
 - b. umur, jenis dan jumlah pergeseran dari semua patahan yang terletak

pada area tersebut;

- c. identifikasi dan karakterisasi lokasi yang menunjukkan potensi bahaya akibat fenomena alam (seperti: *Karst, subsidence, landslide*) dan kegiatan manusia. Perhatian khusus diberikan pada potensi gempa induksi (*induced earthquake*) yang dihasilkan dari pengisian air dam atau waduk yang besar, atau dari injeksi fluida ke atau ekstraksi dari tanah secara besar-besaran.
24. Data biasanya disajikan pada peta dengan skala 1 : 5000 dengan tampang lintang yang sesuai.

B.4. Investigasi Area Tapak

25. Studi area tapak harus meliputi keseluruhan area yang dicakup untuk rencana reaktor daya, yang biasanya seluas 1 km persegi. Tujuan utama dari investigasi ini adalah untuk mendapatkan pengetahuan rinci tentang potensi pergeseran tanah permanen dan mendapatkan informasi mengenai sifat dinamis material pondasi (seperti kecepatan rambat gelombang P dan S) yang digunakan dalam analisis respon tapak.
26. Database tersebut dikembangkan dari studi rinci tentang geologi, geofisika dan geoteknik yang dilengkapi lagi dengan pengujian *in-situ* dan laboratorium.
27. Investigasi area tapak harus dilakukan dengan menggunakan teknik geologi, geofisika, geoseismologi dan geoteknik seperti berikut ini:
- a. Investigasi Geologi dan Geoteknik
Investigasi dengan pengeboran atau penggalian (termasuk pengujian *in-situ*), teknik geofisika dan pengujian laboratorium dilakukan untuk menentukan stratigrafi dan struktur daerah tapak dan untuk menentukan ketebalan, kedalaman, kemiringan dan sifat statik dan dinamik berbagai lapisan bawah-permukaan, yang nantinya diperlukan untuk model rekayasa (Rasio Poisson, Modulus Young, Modulus Geser, densitas, kepadatan relatif, kuat geser, karakteristik konsolidasi dan pemuaian, distribusi ukuran butiran, dan sebagainya.)
 - b. Investigasi Hidrogeologi
Investigasi dengan teknik pengeboran atau teknik lain dilakukan untuk menentukan sifat geometri, sifat fisika dan kimia (*physico-chemical*

peroperties) serta perilaku keadaan tunak (*recharge*, *transmissivitas*) dari semua *aquifer* di area tapak, dengan tujuan khusus menentukan bagaimana interaksinya dengan pondasi.

c. Investigasi efek tapak

Perilaku dinamik dari batuan dan tanah pada tapak dikaji menggunakan data historis dan instrumental sebagai pedoman.

28. Semua data yang diperlukan untuk interaksi dinamik tanah-struktur diperoleh dari program investigasi ini. Untuk kelengkapan dan efisiensi, maka investigasi yang dijelaskan dalam angka 27, di atas diintegrasikan dengan investigasi yang diperlukan untuk interaksi dinamik tanah-struktur sebagaimana disyaratkan dalam Peraturan Kepala BAPETEN tentang Evaluasi Tapak Reaktor Daya untuk Aspek Geoteknik dan Pondasi Reaktor Daya.
29. Data tersebut biasanya disajikan pada peta dengan skala 1:500 dengan tampang lintang yang sesuai.

C. DATABASE SEISMOLOGI

30. Data seismik harus dikumpulkan dari semua rekaman gempa bumi yang telah terjadi di wilayah tersebut.

C.1. Data Gempa Historis

31. Semua data gempa historis *pre-instrumental* (yaitu kejadian yang tak tercatat secara instrumental) dikumpulkan dengan jangkauan waktu ke belakang sejauh mungkin. Informasi paleoseismologi pada gempa historis juga diperhitungkan (lihat angka 56).
32. Informasi selengkapnya untuk setiap gempa harus memuat:
 - 1) tanggal dan jam dari kejadian gempa;
 - 2) lokasi episenter makroseismik;
 - 3) kedalaman titik sumber yang diperkirakan;
 - 4) magnitudo yang diperkirakan;
 - 5) intensitas maksimum dan intensitas pada episenter makroskopik, bila berbeda, dengan penjelasan kondisi-kondisi lokal;
 - 6) kontur isoseismal;
 - 7) perkiraan ketidakpastian untuk setiap parameter di atas;
 - 8) intensitas gempa pada tapak, disertai dengan rincian-rincian yang ada

mengenai efeknya terhadap tanah;

- 9) pengkajian kualitas dan kuantitas terhadap data sebagai sumber perkiraan parameter-parameter di atas.

Skala intensitas yang digunakan dalam katalog diuraikan, karena tingkatannya dapat bervariasi tergantung pada skala yang digunakan. Perkiraan magnitudo dan kedalaman untuk gempa-gempa ini didasarkan pada hubungan empiris yang relevan antara data instrumental dan informasi makroseismik, yang bisa dikembangkan dari data yang dijelaskan dalam angka 31. Bila katalog dari suatu gempa historis yang relevan telah dikompilasi, maka kelengkapan dan keandalannya harus dikaji.

33. Bila katalog dari data gempa historis dan instrumental telah dikompilasi, maka pengkajian kelengkapan informasi yang dikandungnya (khususnya dalam hal intensitas makroseismik, magnitudo, tanggal, lokasi dan kedalaman pusat gempa) merupakan hal yang fundamental bagi evaluasi bahaya seismik yang memadai. Secara umum, suatu katalog bisa tidak lengkap untuk kejadian dengan magnitudo kecil disebabkan oleh ambang kepekaan perekaman, sedangkan untuk kejadian dengan magnitudo besar disebabkan oleh interval pengulangan kejadian yang lama (disebabkan oleh kelemahan katalog berupa waktu peliputan yang pendek). Metode yang cocok harus digunakan untuk mempertimbangkan ketidaklengkapan ini.

C.2. Data Gempa Instrumental

34. Semua data gempa instrumental yang ada harus dikumpulkan. Informasi yang didapat untuk setiap gempa meliputi:
 - a. waktu kejadian;
 - b. lokasi episenter dan hiposenter;
 - c. semua penentuan magnitudo, termasuk magnitudo dengan skala yang berbeda, setiap informasi tentang kehilangan momen dan tegangan seismik;
 - d. dimensi dan geometri dari *fore-shock* dan *after-shock*;
 - e. informasi lain yang mungkin berguna dalam memahami rezim seismotektonik, seperti mekanisme fokal (*focal mechanism*), penurunan tegangan, dan parameter-parameter sumber lainnya;
 - f. perkiraan ketidakpastian untuk setiap parameter di atas;

g. rincian makroseismic sebagaimana dibahas dalam angka 32.

Bila katalog dari suatu gempa instrumental yang relevan telah dikompilasi, keandalan dan kelengkapannya harus dikaji.

35. Selain katalog gempa yang disiapkan oleh Indonesia seperti Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG), Jakarta, harus diperhatikan juga katalog gempa instrumental di seluruh dunia yang disiapkan oleh berbagai organisasi internasional seperti *International Seismological Center, the United States National Earthquake Center* (Pusat Informasi Gempa Nasional Amerika) dan *Le Centre Seismologique Euro Mediterranean* di Perancis.

C.3. Data Instrumental Spesifik Tapak

36. Untuk melengkapi data gempa yang ada dengan informasi lebih rinci tentang potensi adanya sumber seismik, akan bermanfaat kalau dilakukan pengoperasian jaringan seismograf yang peka dengan kemampuan pencatatan untuk gempa-mikro. Periode pemantauan minimum yang diperlukan untuk mendapatkan data yang nyata dalam interpretasi seismotektonik adalah beberapa tahun untuk wilayah dengan seismisitas tinggi, atau lebih lama untuk wilayah dengan seismisitas rendah.
37. Gempa yang terekam dekat dengan jaringan tersebut dianalisis secara hati-hati sehubungan dengan studi seismotektonik untuk region dekat tersebut.
38. Bila memungkinkan, perekaman gerakan kuat (*strong motion record*) wilayah harus dikumpulkan dan digunakan untuk mendapatkan fungsi atenuasi gelombang seismik yang cocok dan untuk mengembangkan spektrum respon sebagaimana dibahas dalam Bab IV.
39. Pengukur percepatan gerakan kuat (*strong motion accelerometer*) harus dipasang secara permanen di dalam area tapak dan dipelihara secara terus-menerus agar selalu beroperasi dan dapat merekam kejadian gempa yang besar maupun kecil.

BAB III

PEMBUATAN MODEL SEISMOTEKTONIK REGIONAL

A. PENDAHULUAN

40. Penghubung antara database dan model perhitungan untuk menentukan tingkat bahaya adalah model seismotektonik wilayah yang didasarkan pada penggabungan yang koheren dari database wilayah. Dalam pembuatan model ini, harus dipertimbangkan semua interpretasi seismotektonik yang ada pada wilayah terkait yang bisa ditemukan dalam literatur. Lebih dari itu, database yang baik sangat penting dalam pembuatan model seismotektonik yang handal. Harus menjadi perhatian bahwa metode terancangipun tidak akan menghasilkan model yang baik bila databasenya kurang baik atau tidak lengkap.
41. Prosedur baku adalah prosedur untuk menggabungkan elemen database geologi, geofisik dan seismologi dalam rangka menyusun model seismotektonik yang koheren yang terdiri dari sekumpulan struktur seismogenik yang diskrit (lihat Bab II).
42. Struktur seismogenik yang teridentifikasi mungkin tidak dapat menjelaskan semua aktivitas gempa yang teramati. Kenyataan ini karena struktur seismogenik dapat ada tanpa manifestasi permukaan atau bawah permukaan yang dikenal, dan akibat skala-waktu. Sebagai contoh pergerakan patahan bisa mempunyai interval pengulangan yang lama dibandingkan dengan periode pengamatan seismologi.
43. Setiap model seismotektonik kurang lebih terdiri atas dua jenis sumber gempa:
 - a. Sumber yang mempunyai struktur seismogenik yang dapat diidentifikasi menggunakan database yang ada, dan
 - b. Seismisitas menyebar (*diffuse seismicity*) yang biasanya terdiri dari gempa kecil sampai menengah) yang tidak terkait dengan struktur tertentu yang diidentifikasi dengan database yang ada.

Berdasarkan data sumber di atas, lajur sumber gempa dapat dibedakan secara umum dalam 4 (empat) kelas:

- a. Lajur subduksi, yaitu semua gempa yang terjadi di sekitar pertemuan antara dua lempengan samudera dan benua;
 - b. Lajur menyebar, yaitu gempa yang terjadi di semua wilayah yang tidak terkait dengan sesar, biasanya terjadi di busur belakang;
 - c. Lajur sumber gempa patahan kerak bumi dangkal (*shallow crustal faults*) yaitu gempa yang terjadi berkaitan dengan aktivitas patahan;
 - d. Lajur sumber gempa latar belakang (*background - earthquake*) yaitu suatu daerah yang tidak diketahui aspek kegempaanannya tetapi mempunyai sedikit rekaman tektonik, dan berpeluang menimbulkan gempa.
44. Identifikasi, evaluasi dan karakterisasi struktur seismogenik dijelaskan dalam Bab III. Evaluasi dan karakterisasi kedua jenis sumber seismik meliputi juga kajian ketidakpastian. Jenis seismisitas menyebar, secara khusus merupakan masalah yang rumit dalam evaluasi bahaya seismik, dan secara umum akan memuat ketidakpastian yang besar karena sumber gempanya tidak bisa dipahami secara sempurna. Definisi lengkap dari sumber-sumber gempa ini mengandung interpretasi ahli yang tidak pasti. Disarankan untuk mengkaji dengan benar ketidakpastian dalam interpretasi tersebut untuk dimasukkan dalam analisis bahaya gerakan tanah pada tapak. Pengkajian ini melibatkan interpretasi alternatif dan pembobotan untuk setiap alternatif sesuai dengan derajat kontribusi/dukungannya yang diberikan pada data. Kajian ketidakpastian ini bisa dilakukan dengan analisis menggunakan "*logic tree*".
45. Meskipun upaya telah dilakukan untuk mendefinisikan seluruh parameter untuk setiap elemen dalam model seismotektonik, pembuatan model harus berdasarkan pada data. Selain itu, setiap kecenderungan untuk menginterpretasi data yang hanya dalam konteks mendukung beberapa konsep yang belum matang, harus dihindarkan.
46. Bila memungkinkan, agar dibuat model alternatif yang menjelaskan dengan cukup baik semua data seismologi, geofisika dan geologi yang teramati. Karena suatu perbedaan tidak dapat dipecahkan dengan suatu tambahan investigasi dalam suatu jangka waktu tertentu, kajian akhir tentang bahaya

harus mempertimbangkan semua model dengan bobot-bobot yang sesuai, untuk menjelaskan ketidakpastian yang terkandung di dalam model seismotektonik.

B. STRUKTUR SEISMOGENIK

B.1. Identifikasi

47. Tujuan mengidentifikasi struktur seismogenik pada akhirnya adalah untuk menentukan gerakan tanah atau bahaya patahan permukaan pada suatu tapak, tergantung tingkat kepentingannya.
48. Dalam hal bahaya gerakan tanah, perhatian diberikan pada struktur seismogenik yang kombinasi lokasi dan potensi gempanya akan mempengaruhi level gerakan tanah pada tapak.
49. Dalam hal bahaya patahan permukaan, perhatian diberikan pada struktur seismogenik dekat tapak yang mempunyai potensi pergeseran relatif pada atau dekat permukaan tanah (yaitu patahan kapabel, lihat Bab V).
50. Identifikasi struktur seismogenik dilakukan berdasarkan pada data geologi, geofisika dan seismologi yang memberikan bukti langsung atau tidak langsung bahwa struktur tersebut merupakan sumber gempa di bawah kondisi tektonik saat ini. Korelasi rekaman gempa historis dan instrumental dengan fitur geologi dan geofisika adalah sangat penting khususnya dalam mengidentifikasi struktur seismogenik. Kekurangan korelasi tidak harus berarti bahwa sebuah struktur itu bukan seismogenik.
51. Bila investigasi yang dijelaskan dalam Bab II menunjukkan bahwa hiposenter gempa atau sekelompok hiposenter gempa bisa dikaitkan secara potensial dengan fitur geologi, maka alasan pengkaitan harus dikembangkan dengan mempertimbangkan karakteristik fitur tersebut, yaitu geometri dan luasan geografinya, serta hubungan strukturnya dengan kerangka tektonik regional.
52. Informasi seismologi lain seperti ketidakpastian hiposentral, mekanisme pusat gempa, kondisi tegangan dan distribusi gempa pendahuluan dan susulan (*fore and aftershock distribution*) juga digunakan dalam mempertimbangkan pengkaitan antara hiposenter gempa dengan fitur geologinya.

53. Bila data tertentu kurang atau jarang, maka komparasi rinci dari corak geologi yang diberikan dengan corak lainnya di dalam suatu wilayah adalah penting, misalnya meliputi umur, arah pergerakan, dan riwayat pergerakannya.
54. Penggabungan struktur seismogenik ke dalam model seismotektonik didasarkan pada data yang tersedia dan harus memasukkan ketidakpastian dalam definisi struktur ini. Pemilihan asumsi yang tidak mendukung hubungan antara data kegempaan dengan fitur geologi (khususnya bila fitur tersebut jauh dari tapak) tidak dipandang sebagai suatu cara kajian ketidakpastian yang cocok.

B.2. Karakterisasi

55. Untuk struktur seismogenik yang telah diidentifikasi dengan tepat untuk menentukan paparan pada tapak dari bahaya gempa, seperti dibahas di depan, karakteristik yang menyertainya harus ditentukan. Dalam penentuan ini, harus digunakan dimensi struktur, jumlah dan arah pergeseran, gempa- historis maksimum, data palaeoseismologi, dan komparasi dengan struktur yang mirip dengan data historis yang ada.
56. Gempa akan menghasilkan efek lingkungan yang dijelaskan dalam skala intensitas. Beberapa dampak gempa (seperti: patahan, likuifaksi, pengangkatan garis pantai, atau efek kumulatifnya, dapat digunakan untuk mengenali gempa masa lalu. Studi terhadap rekaman gempa masa lalu disebut palaeoseismologi. Studi palaeoseismologi berguna untuk area yang rekaman gempa-historisnya kurang tersedia. Studi palaeoseismologi dilakukan dengan menggunakan database seperti dijelaskan dalam Bab II untuk tujuan:
 - a. Identifikasi struktur seismogenik didasarkan pada pengenalan efek gempa masa lalu di suatu wilayah;
 - b. Penyempurnaan kelengkapan katalog gempa untuk kejadian besar dengan menggunakan identifikasi dan penentuan umur gempa-fosil dapat dilakukan dengan cara penggalian parit uji (*trenching*). Sebagai contoh, penggalian parit uji sepanjang patahan kapabel yang teridentifikasi bisa digunakan untuk memperkirakan besarnya pergeseran (seperti dari tebal irisan koluvial atau "*colluvial wedge*") dan pengulangan (menggunakan penentuan umur endapan) dari gempa besar;

- c. Estimasi potensi gempa maksimum untuk struktur seismogenik yang diberikan, biasanya didasarkan pada pergeseran setiap kejadian parit uji atau didasarkan pada efek kumulatif (*seismic landscape*);
 - d. Kalibrasi analisis bahaya probabilistik, dengan menggunakan interval pengulangan gempa besar.
57. Bila terdapat informasi yang cukup tentang riwayat seismologi dan riwayat geologi dari pergerakan patahan atau struktur (seperti segmentasi, penurunan tegangan/*stress* rata-rata, dan lebar patahan) untuk memperkirakan dimensi kerusakan maksimum dan/atau pergeseran gempa masa depan, maka Korelasi empiris langsung bisa digunakan untuk mengevaluasi potensi magnitudo maksimum.
 58. Bila tidak ada data yang sesuai, potensi magnitudo maksimum untuk struktur seismogenik bisa diperkirakan dari dimensi total. Meskipun demikian, untuk menerapkan pendekatan ini, digunakan fraksi panjang total struktur yang bisa bergerak dalam gempa tunggal. Fraksi yang digunakan tergantung pada karakteristik patahan, terutama pada segmentasinya.
 59. Dalam penerapan lain pada dua pendekatan di atas, harus diingat bahwa magnitudo gempa adalah fungsi dari dimensi kedua sumber dan penurunan tegangan. Penurunan tegangan biasanya tidak diketahui, tetapi barangkali dapat diperkirakan berdasarkan publikasi yang tersedia pada studi yang dilakukan .
 60. Untuk memperkirakan magnitudo maksimum ada pendekatan lain yaitu berdasarkan pada analisis statistik dari hubungan magnitudo dengan frekuensi perulangan (*recurrence relationship*) untuk suatu gempa yang terkait dengan struktur tertentu. Pendekatan tersebut mengasumsikan adanya kaitan antara struktur dengan semua data gempa yang digunakan. Hasil dari pendekatan ini harus konsisten dengan data yang diturunkan.
 61. Pendekatan atau kombinasi pendekatan apapun yang digunakan, penentuan magnitudo gempa maksimum mengandung ketidakpastian yang signifikan, dan ketidakpastian tersebut harus dijelaskan secara tuntas. Hasilnya harus konsisten dengan bukti geologi dan geomorfologi.

62. Perulangan gempa harus dievaluasi untuk setiap struktur seismogenik yang terkandung di dalam model seismotektonik untuk tapak. Sebagai tambahan untuk magnitudo gempa maksimum, evaluasi harus memuat hubungan antara laju aktivitas gempa dengan perulangannya. Model perulangan yang cocok untuk setiap struktur seismotektonik dan parameter model akan melibatkan interpretasi ketidakpastian yang harus dikaji dan dimasukkan ke dalam penentuan bahaya gerakan tanah untuk tapak.
63. Kecocokan suatu model perulangan sering tergantung pada jenis sumber seismik. Suatu model perulangan bisa lebih tepat untuk struktur tertentu atau untuk suatu patahan dari sumber seismik tertentu.
64. Untuk suatu sumber seismik yang memiliki laju perulangan gempa menengah sampai tinggi, laju aktivitas gempa biasanya bisa ditentukan secara langsung menggunakan katalog gempa instrumental atau historis. Laju aktivitas sumber tersebut bisa ditentukan dengan tingkat kepercayaan yang memadai (ketidakpastian rendah).
65. Selain laju aktivitas gempa dari suatu sumber seismik, harus ditentukan parameter distribusi untuk model perulangan. Terkait dengan laju aktivitas gempa, umumnya untuk sumber seismik yang mempunyai laju aktivitas tinggi, parameter distribusi dan ketidakpastiannya bisa ditentukan menggunakan katalog gempa.

C. ZONA SEISMISITAS YANG MENYEBAR

C.1. Identifikasi

66. Daerah seismotektonik bisa ditentukan dalam model seismotektonik untuk mencerminkan seismisitas menyebar sebagai tujuan evaluasi bahaya seismik, dengan asumsi bahwa setiap daerah seismotektonik melingkupi daerah yang mempunyai potensi seismisitas sama. Sebagai alternatif, distribusi tak-seragam boleh digunakan bila data yang ada mendukung asumsi tersebut.
67. Dalam penampilan kajian bahaya seismik, harus disertakan pengetahuan mengenai kedalaman dari mana seismisitas menyebar berasal. Perkiraan tentang kedalaman *foci* maksimum bisa diperoleh dari fakta bahwa suatu gempa diketahui berasal dari dalam zona transisi rapuh sampai lentur (*brittle to ductile*) pada kerak bumi.

68. Suatu perbedaan signifikan dalam laju seismisitas bisa memberikan kesan suatu kondisi tektonik yang berbeda dan bisa digunakan untuk menentukan batas. Suatu perbedaan signifikan pada kedalaman hiposentral (misalnya *crustal* versus kedalaman) bisa digunakan untuk membedakan antar zona.

C.2. Karakterisasi

69. Potensi gempa maksimum yang tidak dihubungkan dengan struktur seismogenik dievaluasi berdasarkan data historis dan karakteristik seismotektonik zona. Komparasi dengan daerah yang serupa di mana terdapat data historis ekstensif mungkin berguna, tetapi peraturan yang cermat harus digunakan di dalam evaluasi ini. Seringkali ketidakpastian yang signifikan akan muncul akibat relatif pendeknya periode data historis dalam mencakup proses tektonisme yang sedang berlangsung. Ketidakpastian ini harus dijelaskan dengan distribusi yang mewakili atau dengan menganggap nilai konservatif yang cocok, tergantung pada kajian yang digunakan, apakah deterministik atau probabilistik.
70. Penentuan laju aktivitas gempa untuk sumber seismik yang terbatas, sebagaimana yang bisa terjadi di wilayah tektonik *intraplate*, bisa mengandung ketidakpastian yang besar. Untuk sumber seismik ini, penentuan parameter kemiringan (*slope*) bisa melibatkan pendekatan yang berbeda yang mungkin memuat adopsi nilai yang mencerminkan setting tektonik wilayah untuk suatu sumber seismik, seperti suatu tektonik kontinental yang stabil. Pendekatan ini dianggap bagus, karena telah ditunjukkan bahwa parameter kemiringan (nilai-b) bervariasi hanya pada rentang sempit di dalam setting tektonik. Dengan pendekatan apapun yang digunakan dalam penentuan parameter *slope* dari distribusi pengulangan, ketidakpastian parameter harus dikaji dan disertakan dalam analisis bahaya seismik secara cermat.
71. Perulangan gempa dievaluasi untuk setiap zona seismisitas menyebar. Evaluasi ini meliputi penentuan model perulangan dan parameter model yang cocok serta kajian ketidakpastian dalam model dan parameter. Model eksponensial Poisson biasanya lebih tepat untuk zona seismisitas menyebar.

Meskipun demikian, untuk tiap jenis sumber seismik, model perulangan alternatif bisa digunakan dengan bobot yang sesuai untuk menunjukkan ketidakpastian dari evaluator.

BAB IV

EVALUASI BAHAYA GERAKAN TANAH

A. PENDAHULUAN

72. Bab ini menyajikan panduan dan prosedur mengenai level dan karakteristik bahaya pergerakan tanah. Sebagai dasar untuk mendesain setiap struktur, sistem dan komponen tertentu pada reaktor daya, digunakan acuan level gerakan tanah yaitu, kategori seismik-1 dan kategori seismik-2 (S_1 dan S_2). Selain itu, kombinasi beban digunakan sebagai level gerakan tanah dasar desain. Penentuan bahaya pergerakan tanah harus didasarkan pada model seismotektonik sebagaimana yang dijelaskan dalam Bab III.
73. Dalam penentuan dasar sehubungan dengan level bahaya gerakan tanah yang dibahas dalam angka 74 - 79 dan parameter yang digunakan untuk mengkarakterisasi gerakan tanah, koordinasi dan konsultasi yang baik harus dilakukan antara penganalisis bahaya seismik dengan insinyur yang melakukan desain.

B. TINGKAT BAHAYA PERGERAKAN TANAH

74. Untuk setiap fasilitas, dilakukan evaluasi terhadap kedua level bahaya gerakan tanah, yaitu kategori seismik-1 dan kategori seismik-2 (S_1 dan S_2).
75. S_2 berkaitan langsung dengan persyaratan keselamatan tertinggi. Gerakan tanah tingkat ini harus mempunyai probabilitas sangat rendah untuk terlewati selama umur fasilitas dan menyatakan level maksimum gerakan tanah yang digunakan untuk tujuan desain. Penentuan level ini harus didasarkan pada evaluasi seismotektonik dan pengetahuan rinci tentang parameter geologi dan parameter rekayasa dari lapisan-lapisan di bawah daerah tapak.
76. Terlepas dari diketahui atau tidaknya bahaya seismik di tapak tersebut, gerakan tanah dasar desain yang setara dengan gempa tingkat keselamatan S_2 , harus diadopsi untuk setiap reaktor daya. Tingkat minimum yang disyaratkan adalah percepatan tanah puncak horisontal sebesar 0,1 g, yaitu pada perioda nol dari spektrum respon desain.

77. S_1 dipakai untuk level gempa yang lebih rendah, dengan kemungkinan kejadian yang lebih besar, yaitu level gempa yang mempunyai implikasi keselamatan yang berbeda dengan S_2 . Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi pemilihan gerakan tanah dalam menyatakan S_1 adalah :

Evaluasi seismotektonik: Paparan dari beberapa sumber gempa terhadap tapak, frekwensi relatif dari setiap sumber gempa terhadap umur fasilitas.

Pertimbangan desain: Implikasi keselamatan dari kombinasi beban dan batas-batas tegangan; tipe reaktor daya yang diperlukan.

Situasi pasca-gempa: Implikasi dari tindakan yang diperlukan yang telah disetujui setelah terjadinya S_1 , kebutuhan wilayah untuk melanjutkan pengoperasian fasilitas secara aman setelah gempa yang mungkin telah merusak pembangkit-pembangkit listrik yang lain.

Pertimbangan inspeksi fasilitas: Implikasi biaya dan keselamatan untuk desain/konstruksi fasilitas untuk level yang lebih tinggi dari S_1 dibandingkan dengan kemungkinan pemeriksaan yang lebih sering untuk level yang lebih rendah dari S_1 .

78. Terlepas dari metode yang digunakan untuk evaluasi, bahaya gerakan tanah baik S_1 maupun S_2 harus didefinisikan dengan spektrum respon dan riwayat waktu yang sesuai. Gerakan tanah tersebut didefinisikan untuk kondisi medan bebas (*free field*) pada permukaan tanah, pada level pondasi, atau pada batuan dasar (*bedrock*). Gerakan tanah pada batuan dasar acuan harus diberikan, dengan syarat bahwa tersedia database yang cukup bagus. Gerakan tanah pada level pondasi dan pada permukaan tanah selanjutnya perlu dihitung, dengan mempertimbangkan adanya fungsi transfer (*transfer function*) dari lapisan-lapisan permukaan. Dengan kata lain, bahwa perambatan gelombang gempa dari batuan dasar melewati berbagai lapisan tanah menuju permukaan perlu dipertimbangkan. Perhatian harus diberikan pada antar-muka yang baik dari gerakan acuan (di batuan dasar) yang didefinisikan dengan analisis respon tapak.

79. Untuk S_1 dan S_2 , karakteristik gerakan tanah harus didefinisikan untuk memungkinkan perhitungan perilaku fasilitas menurut metode yang dipilih untuk desain. Gerakan tanah yang memiliki karakteristik yang berbeda mungkin perlu didefinisikan sesuai dengan beberapa jenis gempa yang dapat mempengaruhi tapak.

C. METODE UNTUK PENENTUAN GERAKAN TANAH

80. Gerakan tanah biasanya dikarakterisasi dengan spektrum respon untuk tiga arah ortogonal, dan berbagai harga redaman, dan riwayat waktu yang berkaitan. Spektrum respon spesifik tapak harus dihitung secara langsung untuk S_1 dan S_2 . Alternatif lain adalah memilih bentuk spektrum standar yang di-skala-kan untuk level percepatan medan bebas yang diberikan (kecepatan atau perpindahan).
81. Metode yang digunakan untuk suatu wilayah sepenuhnya memakai database yang ada (yaitu data gempa historis utama atau rekaman gerakan kuat).
82. Pengkajian tingkat gerakan tanah yang tepat untuk S_1 dan S_2 mungkin memuat analisis yang didasarkan pada metode deterministik dan/atau probabilistik.

C.1. Penggunaan Data Intensitas dan Magnitudo

83. Sebagai informasi seismotektonik tambahan berkaitan dengan struktur seismogenik dan zona seismisitas yang menyebar di suatu wilayah, data intensitas dan magnitudo adalah relevan untuk memperkirakan karakteristik gerakan tanah, yaitu: atenuasi, spektrum respon dan durasi.
84. Data intensitas boleh digunakan untuk memperkirakan magnitudo gempa yang terjadi sebelum instrumen seismologi beroperasi secara sistematis. Data tersebut juga bisa digunakan untuk memperkirakan hubungan atenuasi gerakan tanah di bagian dunia di mana instrumen gerakan kuat belum beroperasi untuk periode waktu yang cukup lama dalam menyediakan data atenuasi instrumental. Dengan membandingkan setiap fungsi atenuasi yang diturunkan dengan data yang didapatkan dari wilayah di mana intensitas atau rekaman gerakan kuat tersedia, maka relasi gerakan tanah yang lebih baik diharapkan bisa diperoleh.

C.2. Metode Deterministik

85. Evaluasi S_2 menggunakan metode deterministik meliputi:

- a. Pembagian model seismotektonik untuk wilayah seismotektonik sesuai dengan zona seismisitas menyebar dan struktur seismogenik.
- b. Identifikasi potensi gempa maksimum sehubungan dengan setiap struktur seismogenik dan potensi gempa maksimum sehubungan dengan masing-masing wilayah seismotektonik.
- c. Melakukan evaluasi sebagai berikut:
 - 1) Untuk setiap struktur seismogenik, potensi gempa maksimum harus diasumsikan terjadi pada titik di atas struktur, yang terdekat dengan daerah tapak dengan mempertimbangkan dimensi-dimensi fisik dari sumber gempa. Bila tapak tersebut berada di dalam batas struktur seismogenik, potensi gempa maksimum harus dianggap terjadi di bawah tapak. Dalam hal ini, perhatian khusus diberikan untuk menunjukkan bahwa struktur seismogenik tersebut bukan patahan kapabel (lihat penjelasan Bab V).
 - 2) Potensi gempa maksimum dalam zona seismisitas menyebar yang meliputi tapak harus dianggap terjadi pada jarak tertentu yang teridentifikasi dari tapak berdasarkan pada investigasi yang menjamin bahwa dalam jarak ini tidak ada struktur seismogenik, dan oleh karena itu, kemungkinan terjadinya gempa tersebut di dalam struktur ini dapat diabaikan. Jarak tersebut bisa jadi dalam jangkaun beberapa kilometer sampai 20 kilometer dan tergantung pada perkiraan kedalaman pusat gempa dalam wilayah tersebut. Dalam memilih jarak yang sesuai harus diperhitungkan dimensi fisik untuk sumber.
 - 3) Potensi gempa maksimum sehubungan dengan zona seismisitas menyebar dalam wilayah seismotektonik yang berdampingan harus dianggap terjadi pada titik di batas wilayah yang terdekat dengan tapak.
 - 4) Relasi atenuasi yang sesuai harus digunakan untuk menentukan gerakan tanah di mana setiap gempa ini akan mempengaruhi tapak,

dengan memperhitungkan kondisi tanah lokal pada tapak.

- 5) Karakteristik gerakan tanah diperoleh dengan menggunakan saran-saran yang diberikan pada angka 91 sampai dengan angka 106.

C.3. Metode Probabilistik

86. Metode probabilistik telah berkembang sampai suatu tingkat kepraktisan tertentu hingga secara efektif dapat digunakan untuk menentukan bahaya gerakan tanah. Hasil analisis bahaya seismik secara probabilistik diperlukan untuk kejadian eksternal PSA dari suatu reaktor daya. Umumnya, kurva-kurva bahaya seismik yang dipakai sebagai input untuk studi PSA perlu dikembangkan ke level frekwensi kejadian tahunan yang lebih rendah dari yang digunakan untuk desain. Level frekuensi ini harus dipertimbangkan.
87. Komputasi probabilistik harus memakai semua elemen dan parameter model seismotektonik. Zona seismisitas menyebar boleh dimodelkan sebagai sumber seismisitas seragam dengan memperbolehkan untuk rentang penuh pada magnitudo gempa sehubungan dengan sumber seismogenik, yaitu zona atau struktur. Metode probabilistik terkini mengintegrasikan semua variabel dan parameter-parameter model seismotektonik. Metodologi tersebut membolehkan adanya ketidakpastian dalam parameter model seismotektonik begitu juga interpretasi alternatif dari model-model untuk dimasukkan ke dalam analisis bahaya secara eksplisit. Model-model alternatif mungkin diajukan oleh para pakar atau kelompok pakar yang berbeda dan hal ini mungkin secara formal dimasukkan ke dalam perhitungan probabilistik. Bila hal ini terjadi, maka hasil praktek internasional dalam rangka penerapan beberapa analisis harus dikaji ulang dan diperhitungkan.
88. Penerapan metode probabilistik memuat hal-hal berikut:
 - a. Evaluasi model seismotektonik untuk wilayah tapak berkenaan dengan sumber-sumber gempa, termasuk ketidakpastian pada batas-batas sumber.
 - b. Untuk setiap sumber, diperlukan evaluasi magnitudo gempa maksimum, laju dan model perulangan gempa, bersama-sama dengan ketidakpastian yang terkait dengan setiap evaluasi yang dilakukan.
 - c. Evaluasi terhadap atenuasi gerakan tanah akibat gempa untuk wilayah tapak dan kajian mengenai ketidakpastian dalam atenuasi rata-rata dan

variabilitas gerakan rata-rata sebagai fungsi magnitudo gempa dan jarak sumber.

89. Hasil analisis bahaya gerakan tanah biasanya ditampilkan sebagai frekwensi tahunan rata-rata terlewati (yang sering disebut sebagai probabilitas tahunan), ukuran gerakan tanah yang mencerminkan rentang perioda yang penting untuk struktur reaktor daya (yaitu percepatan maksimum, rentang yang sesuai untuk percepatan spektrum respon (*response spectral acceleration*) untuk gerakan horizontal maupun vertikal). Kurva bahaya persentil rata-rata, ke-15, ke-50 dan ke-85 biasanya dinyatakan untuk menampilkan ketidakpastian bahaya untuk setiap ukuran gerakan tanah. Dengan hasil analisis ini, spektrum bahaya yang seragam (amplitudo spektrum dengan frekwensi terlewati tahunan yang sama untuk rentang perioda struktur tertentu yang ditinjau) bisa dibentuk untuk setiap target dengan level bahaya yang dipilih (frekwensi terlewati tahunan).
90. Untuk memudahkan penentuan karakteristik gerakan tanah pada suatu tapak, deagregasi PSHA (*the probabilistic seismic hazard analysis*) sering bermanfaat. Deagregasi seperti ini harus dilakukan untuk target frekwensi terlewati tahunan, yang biasanya adalah nilai yang dipilih untuk penentuan gerakan tanah dasar desain pada tapak. Deagregasi tersebut harus ditampilkan sekurang-kurangnya untuk dua frekuensi spektrum respon, yaitu biasanya 1 Hz dan 10 Hz. Deagregasi ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi magnitudo rata-rata dan jarak gempa yang mengendalikan gerakan tanah pada frekwensi spektrum respon.

C.4. Karakteristik Gerakan Tanah

91. Karakteristik gerakan tanah sesuai kategori seismik S_1 dan S_2 harus dinyatakan dalam bentuk spektrum respon untuk rentang nilai redaman, *damping* dan riwayat waktu yang kompatibel, dengan memperhitungkan kondisi acuan (lihat angka 78).

C.4.1. Spektrum respon

92. Karakteristik spektrum respon dari gerakan tanah ditentukan sesuai dengan pengaruh relatif dari karakteristik sumber seismogenik dan karakteristik atenuasi strata geologi yang meneruskan gelombang seismik dari hiposenter ke daerah tapak. Dalam strata di atas batuan dasar (*baserock*) gelombang seismik dimodifikasi sesuai dengan karakteristik respon dari strata sebagai fungsi level regangan yang terimbas akibat gelombang seismik.
93. Beberapa metode bisa digunakan untuk menghasilkan spektrum respon sebagai tambahan bagi spektrum bahaya yang seragam (*uniform hazard spectra*) yang dihasilkan dari analisis probabilistik (lihat angka 89).

C.4.2. Spektrum respon standar

94. Spektrum respon standar boleh digunakan bila kontribusi sumber seismik ganda perlu dinyatakan dengan suatu selubung (*envelope*). Bentuk spektrum respon standar yang ditentukan diperoleh dari beberapa spektrum respon yang diturunkan dari rekaman gempa. Spektrum respon standar ini diskalakan terhadap nilai spesifik tapak yang relevan untuk percepatan, kecepatan dan/atau perpindahan. Tidaklah mustahil bisa terdapat gempa dengan magnitudo rendah sampai menengah dari suatu sumber gempa dekat (*near field earthquake*) yang kaya/padat dengan kandungan frekuensi tinggi dan durasi pendek, yang dapat menghasilkan percepatan maksimum melebihi nilai pada periode nol dari spektrum respon standar. Dalam kasus seperti ini, disarankan agar spektrum respon ini dipisahkan untuk keperluan desain.

C.4.3. Spektrum respon spesifik tapak

95. Spektrum respon spesifik tapak boleh dikembangkan dari riwayat waktu gerakan kuat yang direkam pada tapak. Walaupun demikian, biasanya sampel yang mencukupi dari rekaman riwayat waktu gerakan kuat ini tidak dapat diperoleh pada tapak untuk skala waktu tertentu. Oleh karena itu, spektrum respon yang didapat dari tempat yang

mempunyai karakteristik seismik, geologi dan tanah yang mirip dan mengalami jenis gerakan tanah yang serupa, diperlukan untuk menetapkan spektrum respon yang sesuai untuk tapak tersebut.

C.4.4. Spektrum respon kepercayaan seragam (*uniform confidence*)

96. Pendekatan kepercayaan seragam (*uniform confidence*) ini digunakan untuk hasil studi regresi atenuasi terhadap ordinat dari spektrum respon yang sesuai dengan perioda getaran yang berbeda dengan tujuan mendapatkan spektrum respon yang memiliki ordinat dengan nilai kepercayaan sama untuk semua perioda yang ditinjau.
97. Terlepas dari pendekatan apa yang diambil untuk spesifikasi spektrum respon, ketidakpastian yang terkait dengan ordinat spektrum harus diperhatikan.

C.4.5. Riwayat waktu

98. Riwayat waktu harus mencerminkan secara baik semua parameter gerakan tanah yang ditentukan termasuk durasinya. Jumlah riwayat waktu yang digunakan dalam analisis rinci dan prosedur yang digunakan untuk membangkitkan riwayat waktu ini tergantung pada jenis analisis yang dilakukan. Koordinasi yang baik dengan desainer reaktor daya harus ditetapkan untuk saling memahami dan memberikan respon mengenai kebutuhan jenis analisis tertentu.
99. Durasi gerakan tanah akibat gempa ditentukan terutama dengan panjang dan kecepatan kerusakan patahan (*fault rupture*). Efek tanah lokal pada tapak dan gelombang yang terjebak dalam lembah (*basin*) yang dalam bisa meningkatkan durasi gerakan. Durasi juga bisa dikorelasikan dengan magnitudo. Konsistensi definisi durasi yang digunakan selama evaluasi sangat penting. Sebagai contoh, durasi percepatan bisa didefinisikan dalam beberapa cara, seperti berikut:
 - Selang waktu antara permulaan gerakan dengan waktu di mana percepatan telah berkurang menjadi 5% dari maksimum.
 - Selang waktu antara persentil ke-95 dengan ke-5 dari integral nilai kwadrat rata-rata percepatan.

- Selang waktu di mana percepatan melampaui 5% g.
100. Dalam menentukan panjang riwayat waktu, pembobotan harus diberikan untuk setiap bukti empiris yang ada pada database wilayah. Untuk beberapa tapak, gerakan dengan amplitudo relatif rendah untuk gempa-gempa sumber jauh (*distant earthquake*) yang besar bisa menyebabkan bahaya likuifaksi (*liquefaction*). Bila kondisi ini ada, maka riwayat waktu yang digunakan untuk likuifaksi harus meliputi riwayat waktu amplitudo rendah tersebut untuk durasi yang sesuai.
101. Pembuatan riwayat waktu bisa didasarkan pada berbagai data seperti:
- a. Riwayat waktu buatan/sintetis (*artificial time histories*) dengan menggunakan teknik penyesuaian spektrum yang mempertimbangkan karakteristik fase gelombang seismik;
 - b. Rekaman gerakan kuat (*strong motion record*) yang diperoleh di sekitar tapak atau modifikasi yang memadai yang didapatkan dari penskalaan (*scaling*) percepatan maksimum, penerapan filter frekwensi yang tepat atau pengkombinasian rekaman;
 - c. Rekaman gerakan kuat yang diperoleh di tempat lain yang memiliki karakteristik seismik, geologi dan tanah lokal yang serupa. Dalam beberapa hal, rekaman tersebut boleh jadi memerlukan modifikasi frekwensi dan amplitudo untuk penyesuaian;
 - d. Riwayat waktu buatan harus ditentukan untuk beberapa nilai redaman untuk mencerminkan secara baik karakteristik gerakan tanah.

Akhir-akhir ini banyak kemajuan yang telah ada dalam simulasi teoritis gerakan tanah, termasuk efek sumber, perambatan dan efek tanah lokal (yaitu penggunaan fungsi empiris *Green*). Gerakan tanah yang diperoleh di wilayah di mana terdapat parameter yang berhubungan, bisa digunakan untuk pelengkap metode di atas. Pendekatan baru ini harus digunakan secara hati-hati terutama bila diperkirakan terdapat ketidak-linieran yang besar di dalam lapisan-lapisan permukaan strata tapak tersebut.

102. Terlepas dari metode pembuatan riwayat waktu yang dipakai, spektrum respon desain dan riwayat waktu harus sesuai. Untuk mamakai fungsi *density power spectrum*, harus ditekankan bahwa riwayat waktu meliputi kandungan energi yang sesuai dari gerakan tanah yang telah dikaji, dan level deviasi yang dapat diterima perlu ditunjukkan.

C.4.6. Rasio gerakan arah vertikal dan horisontal

103. Bila tidak ada informasi khusus untuk percepatan maksimum gerakan tanah vertikal di sekitar tapak, maka rasio antara percepatan maksimum dalam arah vertikal dan horisontal boleh diasumsikan (yaitu 2/3). Bukti empiris telah menunjukkan bahwa rasio ini bervariasi antara $\frac{1}{2}$ - 1 dan kemungkinan besar terjadi di daerah sekitar sumber, tergantung pada karakteristik sumber dan tapak begitu juga faktor lain.
104. Spektrum respon dan riwayat waktu untuk gerakan tanah vertikal, harus dievaluasi menggunakan prosedur yang sama dengan spektrum respon dan riwayat waktu untuk gerakan horisontal. Bila ada, rekaman riwayat waktu vertikal harus merupakan dasar evaluasi ini.

C.4.7. Riwayat waktu untuk struktur dengan "base-isolation"

105. Metodologi untuk mendapatkan gerakan tanah (S_1 dan S_2) telah dikembangkan untuk struktur reaktor daya dasar tetap (*fixed base*). Dalam hal struktur yang menggunakan struktur sistem "base-isolation" untuk sistem proteksi, diperlukan pertimbangan yang lain. Hal ini mencakup terutama efek jangka panjang yang dapat menyebabkan sisa pergeseran yang berlebihan pada beberapa elemen dari sistem *base isolation* tersebut. Oleh karena itu, untuk struktur reaktor daya dimana sistem *base-isolation* dipertimbangkan, riwayat waktu harus diuji dan, bila perlu, dimodifikasi untuk mempertimbangkan efek-efek ini.
106. Untuk struktur yang tertanam di dalam tanah, seperti saluran, perpipaan dan sebagainya, spektrum respon dan riwayat waktu yang tepat harus dikembangkan dengan bekerja-sama dan berkoordinasi dengan desainer.

BAB V

POTENSI PATAHAN PERMUKAAN PADA TAPAK

A. PENDAHULUAN

107. Bab ini memberikan panduan dan prosedur untuk mengkaji potensi patahan permukaan (yaitu *capability*) yang bisa membahayakan atau menimbulkan risiko terhadap keselamatan fasilitas. Bab ini juga memaparkan ruang lingkup investigasi yang diperlukan untuk membolehkan pelaksanaan pengkajian.
108. Harus dipertimbangkan bahwa patahan permukaan bisa terjadi tanpa dihubungkan dengan pelepasan energi seismik. Sebagai contoh, rambatan (*creep*) patahan seismik merupakan bagian penting sepanjang segmen patahan sesar mendatar (*strike-slip*) utama. Hal ini umum terjadi di lingkungan volkano-tektunik, dan untuk patahan normal, hal itu kadang disebabkan oleh ekstraksi cairan bawah tanah. Rambatan patahan telah diamati di daerah yang mempunyai karakteristik aktivitas dan seismisitas tektonik tinggi. Pergeseran stabil (*stable sliding*), kerusakan tanah patahan seismik dan patahan permukaan seismogenik, bisa dipertimbangkan sebagai bentuk-bentuk pergeseran patahan yang mungkin terjadi baik di dalam kerangka waktu maupun ruang sepanjang patahan kapabel (*capable fault*).

B. PATAHAN KAPABEL (*CAPABLE FAULT*)

109. Yang menjadi pertanyaan utama dalam kaitannya dengan patahan permukaan adalah apakah suatu patahan (di kedalaman atau di permukaan) pada atau di sekitar tapak itu kapabel atau tidak. Dasar untuk menjawab pertanyaan ini adalah database (lihat Bab II), yang digabungkan dengan model seismotektonik (lihat Bab III), dengan data tambahan khusus yang mungkin diperlukan.
110. Dengan dasar data geologi, geofisika, geodesi atau seismologi, suatu patahan harus dianggap kapabel bila:
 - a. Patahan tersebut menunjukkan bukti adanya gerakan masa lalu atau gerakan (deformasi dan/atau dislokasi yang besar) yang kejadiannya berulang dalam suatu kurun waktu yang cukup beralasan untuk mengatakan bahwa pergerakan pada atau dekat permukaan dapat terjadi

lebih lanjut. Dalam daerah yang sangat aktif, di mana data gempa dan geologi secara konsisten menunjukkan interval perulangan gempa yang pendek, mungkin diperlukan pengkajian patahan kapabel untuk periode 10 ribu tahun. Untuk daerah yang kurang aktif, mungkin diperlukan untuk periode yang lebih lama.

- b. Telah dapat ditunjukkan sedemikian rupa bahwa kaitan struktural dengan patahan kapabel dimana pergerakan patahan dapat menyebabkan pergerakan yang lain pada atau di sekitar permukaan.
- c. Gempa potensial maksimum yang berhubungan dengan struktur seismogenik, seperti ditentukan dalam Bab III, adalah cukup besar dan untuk kedalaman tertentu, beralasan untuk mengatakan bahwa dalam *setting* geodinamik dari reaktor daya, gerakan pada atau sekitar permukaan bisa terjadi.

C. INVESTIGASI YANG DIPERLUKAN UNTUK MENENTUKAN KAPABILITAS

111. Data permukaan dan bawah permukaan yang memadai harus diperoleh dari investigasi di dalam wilayah, wilayah dekat, sekitar tapak dan area tapak (Bab II) untuk menunjukkan ketiadaan patahan pada atau dekat tapak, atau untuk menunjukkan arah, luasan dan riwayat gerakan di atas patahan tersebut, serta menghitung umur gerakan termuda, bila terdapat patahan.
112. Sebagaimana disebutkan dalam Bab II, perhatian khusus harus diberikan untuk menunjukkan fitur geologi dan geomorfologi pada atau dekat tapak yang mungkin berguna untuk membedakan patahan dan untuk memastikan umur gerakan patahan.
113. Bila patahan diketahui atau diduga ada, maka investigasi skala sekitar tapak harus dilakukan, dan tipe investigasinya harus dibuat meliputi pemetaan rinci geologi-geomorfologi, analisis topografi, survei geofisika (bila perlu, meliputi geodesi), pembuatan parit, pengeboran, penanggalan umur sedimen atau batuan pada patahan, investigasi seismologi lokal dan teknik lainnya untuk memastikan kapan gerakan terakhir terjadi.
114. Pertimbangan harus diberikan pada kemungkinan bahwa patahan yang tidak menunjukkan gerakan sekitar permukaan, mungkin teraktivasi lagi oleh beban

reservoir besar, injeksi fluida, pengambilan fluida atau fenomena lain.

115. Bilamana terdapat bukti terpercaya yang menunjukkan bahwa ada patahan kapabel yang mempunyai potensi berpengaruh pada fasilitas reaktor, maka tapak alternatif harus dipertimbangkan.

BAB VI
JAMINAN MUTU

116. Program jaminan mutu harus ditetapkan dan diterapkan untuk semua kegiatan, yaitu pengumpulan data, pemrosesan data, investigasi laboratorium dan lapangan, analisis dan evaluasi yang tercakup dalam Peraturan ini.
117. Oleh karena beragamnya investigasi (lapangan dan laboratorium) dan kemungkinan penggunaan ketentuan khusus yang dibuat oleh pakar dalam proses investigasi, maka perlu dikembangkan prosedur teknis yang sifatnya spesifik pada proyek, dalam rangka memudahkan pelaksanaan dan verifikasi semua kegiatan. Tinjauan oleh narasumber (*peer review*) terhadap proses tersebut harus dilaksanakan.

KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR,

ttd

SUKARMAN AMINJOYO