



**PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**NOMOR 2 TAHUN 2008**  
**TENTANG**  
**EVALUASI TAPAK REAKTOR DAYA UNTUK ASPEK KEGUNUNGAPIAN**  
  
**DENGAN RAHMAT TUHAN YANG MAHA ESA**  
  
**KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR,**

Menimbang : bahwa untuk menindaklanjuti ketentuan Pasal 77 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 Kegunungapian;

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 KEGUNUNGAPIAN.

Pasal 1

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

1. Gunung api aktif (*active volcano*) adalah gunung api yang meletus, mempunyai riwayat letusan atau bukti lain bahwa gunung api tersebut tidak diam atau tidak sedang istirahat.
2. Andesit (*andesite*) adalah batuan vulkanik dengan butiran halus yang gelap, biasanya bersifat porphyritic yang mengandung 53% - 63 % SiO<sub>2</sub>.
3. Abu (*ash*) adalah lontaran piroklastik halus dengan partikel yang berdiameter lebih kecil dari 2 mm.
4. Basalt (*basalt*) adalah batuan vulkanik dengan butiran halus yang gelap, biasanya bersifat vesicular yang mengandung 45% - 53 % SiO<sub>2</sub>.
5. Gelombang dasar (*base surge*) adalah awan gas yang berbentuk cincin dan suspensi bahan rombakan padat yang bergerak dengan kecepatan tinggi dari dasar sebuah kolom letusan, biasanya bersamaan dengan letusan freatomagmatik.
6. Blok (*block*) adalah kepingan batuan padat yang dilontarkan keluar dengan bentuk tajam dan berdiameter lebih besar dari 64 mm.
7. Bom (*bomb*) adalah kepingan magma atau magma yang berbentuk bulat yang dilontarkan ketika masih cukup cair sehingga dapat berubah bentuk atau membentuk bulatan selama di udara. Bom lebih besar dari lapilli (64 mm) dan tidak seperti block, tidak mempunyai bentuk tajam kecuali pecah saat tumbukan.

8. Kaldera (*caldera*) adalah depresi di daerah vulkanik yang berbentuk cekungan besar, lebih kurang seperti lingkaran, yang mempunyai diameter jauh lebih besar dari lubang kawah atau celah gunung api yang terdapat di dalamnya.
9. Gunung api yang memiliki kapabilitas (*capable volcano*) adalah gunung api yang sangat mungkin aktif di masa mendatang selama umur reaktor daya.
10. Lubang runtuh (*collapse pit*) adalah depresi di daerah vulkanik, biasanya berdinding curam dan berdiameter lebih kecil dari satu kilometer, pembentuk utama adalah runtuh atau nendatan (*subsidence*).
11. Gunung api komposit (*composite volcano*) adalah gunung api besar dengan lereng curam yang tersusun terutama fragmen *ejecta* yang diseling oleh lava dan lahar.
12. Kawah (*crater*) adalah depresi berbentuk cekungan atau corong, biasanya dibentuk oleh letusan eksplosif di atau dekat puncak gunung api. Diameter dasar sama atau sedikit lebih besar dari lubangnya.
13. Dasit (*dacite*) adalah batuan vulkanik dengan butiran halus, biasanya bersifat porphyritic, pertengahan antara andesit dan riolit.
14. Longsoran bahan rombakan (*debris avalanche*) adalah aliran batuan dan bahan rombakan lainnya yang mendadak dan digerakkan oleh gravitasi, sering disertai dengan air dalam jumlah yang banyak, tetapi terkadang sedikit jika terdapat komponen magmatik baru.
15. Ledakan berarah (*directed blast*) adalah bahan rombakan yang dilontarkan oleh ledakan, biasanya pada sudut yang rendah dari kubah atau sisi yang sangat curam dari gunung api.
16. Kubah (*dome*) adalah intrusi lava dengan viskositas (kekentalan) cukup tinggi, dangkal atau berbentuk bola dan bersisi curam.

17. Lontaran (*ejecta*) adalah bahan yang dilontarkan dari lubang gunung api.
18. Episode erupsi (*eruptive episode*) adalah deretan kejadian vulkanik dalam periode waktu yang secara statistik dapat dibedakan, didahului dan diikuti oleh periode istirahat.
19. Felsik (*Felsic*) adalah istilah untuk mendeskripsikan batuan kaya silika yang menyusun sebagian besar mineral berwarna cerah, seperti feldspar dan kuarsa.
20. Fumarola (*Fumarole*) adalah sebuah celah yang biasanya terdapat di gunung api, dari mana gas dan uap air dipancarkan.
21. Semburan gas (*gas jet*) adalah bagian terendah dari kolom letusan berkecepatan tinggi.
22. Geotermal atau panas bumi (*geothermal*) adalah istilah deskriptif untuk kondisi atau proses yang berhubungan dengan panas dalam bumi.
23. Holosen (*Holocene*) adalah periode masa Kuartar dari akhir Pleistosen sampai sekarang.
24. Manifestasi hidrotermal (*hydrothermal manifestation*) adalah emisi kaya dengan gas yang mudah menguap, biasanya pada suhu di bawah 1000 °C dan kaya akan air, karbondioksida dan gas sulphur. Istilah ini juga digunakan untuk endapan dan batuan terubah atau teralterasi yang berhubungan dengan emisi tersebut.
25. Isopach adalah garis pada peta yang melewati titik-titik dari satu atau lebih satuan stratigrafi dengan ketebalan yang sama.
26. Lahar adalah aliran bahan rombakan dari gunung api yang heterogen bercampur dengan air pada suhu lebih rendah dari titik didih, mungkin dibentuk selama letusan atau proses setelahnya atau karena lereng yang tidak stabil.
27. Lapilli adalah lontaran bahan piroklastik dalam rentang ukuran 2 – 64 mm.

28. Lava adalah istilah umum yang digunakan untuk batuan cair yang keluar (dari sumber vulkanik) dan batuan padat yang terbentuk akibat dari pendinginannya.
29. Maar adalah kawah gunung api berdinding rendah dibentuk oleh letusan tunggal.
30. Magma adalah batuan yang mencair seluruhnya atau sebagian yang mengalir di dalam tanah.
31. Dapur magma (*magma chamber*) adalah ruang dalam kerak bumi di mana magma disimpan dan bisa naik dan dikeluarkan pada saat letusan.
32. Petrografi (*petrography*) adalah cabang ilmu geologi yang membahas deskripsi dan klasifikasi sistematis dari batuan berdasarkan komponen mineral dan tekstur mikroskopiknya.
33. Freatik (*phreatic*) adalah berhubungan dengan air meteorik atau air hujan (lihat *phreatomagmatic*).
34. Freatomagmatik (*phreatomagmatic*) adalah aktivitas letusan yang menghasilkan gas dari magma dan uap, bersamaan dengan bahan rombakan/fragmen padat yang terdiri dari gelas vulkanik baru dan kepingan batuan yang lebih tua, disebabkan oleh kontak antara magma dan air.
35. Letusan tipe plinian (*plinian eruption*) adalah suatu tipe letusan gunung api yang dicirikan oleh letusan besar gas yang disebarkan dalam bentuk kolom gas disertai bahan rombakan piroklastik yang naik sampai ketinggian beberapa kilometer.
36. Piroklastik (*pyroclastic*) adalah suatu kata sifat yang menunjukkan produk dalam bentuk kepingan / fragmen dari letusan eksplosif, biasanya bersuhu tinggi
37. Jatuhan piroklastik (*pyroclastic fall*) adalah *Tephra* yang dilontarkan pada sudut tinggi dan diendapkan setelah jatuh melewati atmosfer.
38. Aliran piroklastik (*pyroclastic flow*) adalah kepingan padat, dengan atau tanpa partikel yang mencair, tersuspensi dalam

gas yang panas dan mengembang, didorong oleh gaya gravitasi bergerak/mengalir secara turbulen di atas permukaan tanah.

39. Gelombang piroklastik (*pyroclastic surge*) adalah aliran turbulen suspensi campuran gas dan padatan yang bergolak di atas permukaan tanah yang dilontarkan dengan kecepatan tinggi oleh pelepasan gas yang mendadak yang tidak terlalu mengikuti topografi sebagaimana aliran piroklastik.
40. Batu apung (*pumice*) adalah gelas felsic sangat berongga dengan komposisi menengah sampai silika, yang berhubungan dengan letusan eksplosif magma kental yang kaya akan gas
41. Kwartir (*Quaternary*) adalah periode waktu geologi termasuk jangka waktu Pleistosen dan Holosen, dimulai kira-kira 2 juta tahun yang lalu dan berlanjut sampai sekarang.
42. Umur radiometrik (*radiometric age*) adalah suatu interval waktu, biasanya dihitung mundur dari sekarang, berdasarkan laju peluruhan radioaktif.
43. Riolit (*rhyolite*) adalah batuan vulkanik dengan butiran halus, biasanya porphyritic atau mengkilap yang mengandung lebih dari 68 %  $\text{SiO}_2$ .
44. Scoria adalah kepingan/fragmen piroklastik berwarna gelap yang sangat berongga dengan komposisi basaltik atau andesitik.
45. Scoria (atau cinder) cone adalah gundukan kecil berbentuk kerucut yang dibentuk oleh letusan strombolian dan sebagian besar terdiri dari dari scoria dan bomb.
46. Gunung api perisai (*shield volcano*) adalah suatu gunung api dengan lereng landai yang sebagian besar dibentuk oleh lava cair.
47. Solfatara adalah celah di permukaan tanah yang mengeluarkan gas vulkanik yang kaya akan gas sulphur ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , dll).
48. Strombolian adalah suatu tipe letusan gunung api yang dicirikan oleh letusan yang memancarkan bom pijar putih dan scoria,

sering dihubungkan dengan lava scoria, biasanya dalam jumlah kecil.

49. Tektonik (*tectonic*) adalah cabang geologi yang berhubungan dengan pola umum pembentukan kerak bumi bagian atas, dalam hal asal mula dan sejarah evolusi struktur atau deformasi regional.
50. Tephra adalah istilah umum untuk semua tipe bahan piroklastik.
51. Tsunami adalah gelombang besar yang disebabkan oleh gempa bumi, letusan eksplosif gunung api atau pergeseran tanah / longsor besar yang terjadi dilaut.
52. Cincin tuff (*tuff ring*) adalah kawah gunung api berdinding rendah dibentuk oleh letusan tunggal atau beberapa letusan yang berdekatan. Dasarnya lebih tinggi dari permukaan tanah asli.
53. Gempa vulkanik (*volcanic earthquake*) adalah gempa bumi yang disebabkan oleh letusan gunung api, pergerakan magma di bawah-permukaan, atau runtuh atau pergeseran bagian padat bangunan gunung api.
54. Daerah vulkanik (*volcanic field*) adalah kumpulan gunung api monogenetik yang saling berhubungan, dibentuk dalam suatu periode waktu, dalam suatu daerah dengan radius beberapa puluh sampai beberapa ratus kilometer.
55. Gas vulkanik (*volcanic gas*) adalah gas yang dilepaskan dari magma, umumnya mengandung banyak H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, dan gas sulphur.
56. Gelas vulkanik (*volcanic glass*) adalah bahan mengkilap yang berasal dari magma kental yang mendingin dengan cepat.
57. Bahaya vulkanik (*volcanic hazard*) adalah kondisi yang berhubungan dengan gunung api yang berpotensi merusak kehidupan dan harta benda.

58. Lubang vulkanik (*volcanic vent*) adalah lubang tempat asal produk vulkanik dikeluarkan.
59. Pusat gunung api (*volcanic centre*) adalah lubang dimana magma atau gas dikeluarkan yang dan untuk kondisi morfologinya dibentuk oleh akumulasi dari hasil letusannya.
60. 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.
61. 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

- (1) Peraturan Kepala BAPETEN ini mengatur PET dalam mengajukan permohonan izin tapak yang baru untuk Reaktor daya.
- (2) Peraturan Kepala BAPETEN ini tidak ditujukan untuk reevaluasi tapak Reaktor Daya yang sudah ada terhadap dampak potensial aktivitas vulkanik.

## Pasal 3

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

- a. dampak potensial aktivitas vulkanik yang membahayakan keselamatan Reaktor Daya pada tahap evaluasi tapak Reaktor Daya; dan
- b. pengaruh fenomena yang berhubungan dengan vulkanisme terhadap penerimaan (*acceptability*) tapak dan pada

perumusan parameter desain dasar.

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 J a k a r t a

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 2 TAHUN 2008**  
**TENTANG**  
**EVALUASI TAPAK REAKTOR DAYA UNTUK ASPEK KEGUNUNGAPIAN**

## **SISTEMATIKA**

### **EVALUASI TAPAK REAKTOR DAYA UNTUK ASPEK KEGUNUNGAPIAN**

#### **BAB I TIPE-TIPE FENOMENA VULKANIK**

Proyektil balistik  
Jatuhan piroklastik  
Aliran piroklastik dan gelombang piroklastik  
Kejutan udara dan petir  
Aliran lava  
Longsor bahan rombakan, tanah longsor dan keruntuhan lereng  
Aliran bahan rombakan, lahar dan banjir  
Gas-gas vulkanik  
Deformasi tanah  
Gempa bumi  
Tsunami  
Anomali geothermal  
Anomali air tanah  
Pembukaan lubang baru

#### **BAB II PERSYARATAN UMUM**

#### **BAB III INFORMASI, INVESTIGASI YANG DIPERLUKAN DAN BASIS DATA GUNUNG BERAPI**

A. UMUM  
B. KALA STUDI  
    B.1. Studi Wilayah  
    B.2. Studi gunung api atau daerah vulkanik  
    B.3. Studi tapak khusus  
C. BASIS DATA GUNUNG BERAPI

#### **BAB IV PENENTUAN KAPABILITAS GUNUNG API**

#### **BAB V EVALUASI BAHAYA VULKANIK**

#### **BAB VI PERTIMBANGAN DESAIN**

Proyektil balistik  
Jatuhan bahan piroklastik  
Aliran piroklastik, gelombang piroklastik, dan aliran lava  
Kejutan udara dan petir vulkanik  
Longsor bahan rombakan, tanah longsor dan keruntuhan lereng  
Aliran bahan rombakan, lahar dan banjir  
Gas-gas vulkanik  
Deformasi tanah  
Gempa bumi  
Tsunami  
Anomali geotermal dan air tanah

Pembukaan lubang baru

## **BAB VII SISTEM PEMANTAUAN AKTIVITAS VULKANIK**

Gempa bumi vulkanik

Deformasi tanah

Perubahan geomagnetisme dan geoelektrisitas

Gravitasi

Gas vulkanik

Anomali geothermal

Mata air dingin dan panas

Observasi lainnya

### **ANAK LAMPIRAN I SKALA WAKTU GEOLOGI YANG DISEDERHANAKAN**

### **ANAK LAMPIRAN II KLASIFIKASI GUNUNG API UNTUK PENILAIAN KAPABILITAS**

Gambar 1 Diagram alir proses untuk memenuhi persyaratan umum

Gambar 2 Diagram alir evaluasi bahaya vulkanik

Tabel 1 Fenomena terkait dengan aktivitas vulkanik.

## **BAB I**

### **TIPE-TIPE FENOMENA VULKANIK**

1. Tipe fenomena vulkanik utama yang dapat mempengaruhi suatu tapak diuraikan secara singkat pada Bab ini. Masing-masing fenomena memberikan indikasi orde besaran (*order of magnitude*) parameter kritis untuk masing-masing fenomena seperti densitas, kecepatan, suhu dan luas penyebaran. Kuantifikasi parameter tersebut memerlukan studi terinci sebagaimana diuraikan pada Bab III. Manifestasi aktivitas vulkanik yang dapat mempengaruhi tapak adalah sebagai berikut :
  - a. proyektil balistik;
  - b. jatuhnya bahan piroklastik;
  - c. aliran piroklastik dan gelombang piroklastik;
  - d. kejutan udara dan petir;
  - e. aliran lava;
  - f. longsoran bahan rombakan, tanah longsor dan keruntuhan lereng;
  - g. aliran bahan rombakan, lahar dan banjir;
  - h. gas-gas vulkanik;
  - i. deformasi tanah;
  - j. gempa bumi;
  - k. tsunami;
  - l. anomali geotermal;
  - m. anomali air tanah;
  - n. pembukaan lubang baru.

#### **Proyektil balistik**

2. Lontaran atau proyektil balistik seperti blok, bom dan fragmen padat lain disebabkan oleh letusan yang terjadi dalam kawah, kubah atau lubang rekahan. Bahan padat tersebut didorong oleh gas bertekanan tinggi dan mengikuti lintasan balistik atau peluru. Kecepatan proyektil dapat mencapai lebih dari 300 meter/detik dan jarak horisontal maksimum sampai ke titik tumbukan dapat melebihi 5 km dari titik asal. Jika ukuran proyektil cukup kecil, maka gesekan

udara memperlambat dan mempengaruhi lintasannya. Projektil berdiameter lebih dari 1 meter tidak terpengaruh secara signifikan oleh gaya gesek.

3. Fenomena ini umum terjadi pada semua letusan tetapi lebih sering teramati pada letusan dari kubah, letusan tipe vulkanian, dan letusan freatik atau freatomagmatik. Tenaga tumbukan dari satu buah projektil dapat mencapai 1 Joule. Projektil dengan suhu tinggi dapat menyebabkan kebakaran jika jatuh pada tumbuhan, rumah atau infrastruktur yang mudah terbakar.
4. Zona bahaya yang berhubungan dengan projektil balistik umumnya dipetakan sebagai lingkaran-lingkaran konsentris yang berpusat pada lubang kawah. Radius zona bahaya ditentukan dari distribusi endapan projektil balistik selama episode letusan yang lalu dan dari perkiraan probabilistik tenaga letusan.

### **Jatuhan piroklastik**

5. Jatuhan bahan pijar atau piroklastik seperti abu, batu apung dan terak (*scoria*) terjadi jika partikel-partikel tersebut terdorong oleh letusan sampai suatu ketinggian tertentu dan kemudian terbawa oleh angin. Pada saat jatuh bahan tersebut mencapai kecepatan konstan (kecepatan terminal) yang ditentukan oleh ukuran, bentuk dan rapat massa partikel. Distribusinya dipengaruhi oleh arah dan kekuatan angin serta tinggi kolom abu.
6. Guguran abu yang tebal dapat menyebabkan kerusakan serius pada transportasi, pertanian, hutan dan kegiatan sosial ekonomi lainnya. Abu yang terkumpul dan membebani atap bangunan dapat menyebabkan runtuhnya bangunan tersebut terutama jika abu basah oleh air hujan. Partikel abu yang terapung di udara kadang-kadang menghalangi lalu-lintas udara, menggesek (*sandblasting*) bagian luar pesawat, merusak dan memacetkan mesin jet.
7. Jatuhan piroklastik yang sangat besar terjadi pada letusan tipe plinian dimana bahan piroklastik yang berjumlah besar dan bersuhu tinggi dimuntahkan ke atas dari kawah oleh semburan gas berkecepatan tinggi. Pada ketinggian tertentu, percampuran dan pemanasan udara menghasilkan kolom gas dan suspensi partikel padat yang secara cepat mengembang dan naik hingga mencapai stratosfer. Kegiatan tersebut biasanya membentuk kolom letusan berbentuk

jamur yang dapat terbawa oleh arus atmosfer pada ketinggian yang sangat tinggi. Endapan jatuhnya yang signifikan dari letusan tipe plinian dapat mencapai beberapa ratus kilometer atau lebih dari sumber dan dapat mencapai ketebalan beberapa puluh meter di dekat lubang kawah. Letusan tipe plinian biasanya berlangsung hanya beberapa jam atau beberapa hari tetapi dapat menghasilkan endapan jatuhnya piroklastik yang sangat besar (sampai dengan  $100 \text{ km}^3$ ).

8. Bahaya yang disebabkan oleh jatuhnya piroklastik dapat ditentukan dengan pemetaan endapan jatuhnya yang waktu lampau, dengan memperhitungkan pola arah angin, atau dengan simulasi komputer.

### **Aliran piroklastik dan gelombang piroklastik**

9. Aliran piroklastik adalah campuran fragmen batuan, gas vulkanik dan udara bersuhu tinggi yang mengalir menuruni lereng pada kecepatan tinggi. Kecepatan aliran mencapai 10 sampai 100 meter/detik sehingga tidak memungkinkan evakuasi ketika terjadi aliran piroklastik. Suhnya dapat mendekati suhu magma asalnya (sekitar  $1000^\circ\text{C}$  pada banyak kasus) atau mendekati suhu lingkungan sekitarnya tergantung pada tingkat pencampurannya dengan udara. Pergerakan aliran piroklastik menuruni lereng terutama disebabkan oleh gravitasi. Mobilitas tinggi dari aliran ini menunjukkan bahwa gesekan internal sangat kecil. Aliran piroklastik mempunyai momentum yang cukup untuk menyimpang dari jalur drainase dan melampaui rintangan topografi.
10. Kebanyakan aliran piroklastik terdiri dari dua bagian, meskipun transisi antara keduanya bersifat gradual. Sebagian besar bahan padat yang bergerak terkonsentrasi pada bagian bawah aliran dan bagian atas merupakan campuran antara abu dan gas yang naik seperti awan debu tebal. Di bawah, bagian padat aliran piroklastik mempunyai rapat massa  $0,1 - 0,5 \text{ ton/m}^3$ ; awan debu di bagian atas mempunyai rapat massa mendekati  $0,001 \text{ ton/m}^3$ . Awan debu di bagian atas ini sering terpisah dari bagian padat dan dapat mencapai jarak yang cukup jauh.
11. Volume bahan padat yang terbawa oleh aliran piroklastik dapat bervariasi mulai kurang dari  $10^5 \text{ m}^3$  sampai lebih dari  $10^{11} \text{ m}^3$ , tergantung pada cara

pembentukan dan pengendapannya. Kebanyakan aliran piroklastik berskala besar ditimbulkan oleh penggelembungan (*vesiculation*) besar-besaran magma felsic yang tersimpan dalam kantung magma dangkal. Sejumlah besar magma terpecah secara cepat dan terlempar dari lubang kawah karena pembentukan dan pengembangan gelembung dalam magma yang naik. Letusan semacam itu dapat menyebabkan runtuhnya kaldera (dinding kawah). Endapan tebal dan panas dapat mencapai lebih dari 200 km dari lubang kawah dan melingkupi daerah lebih dari  $10^4$  km<sup>2</sup>. Aliran piroklastik yang lebih kecil dapat terbentuk oleh runtuhnya sebagian dari kubah lava yang tumbuh atau dari aliran lava yang tebal dan berbongkah. Letusan gas dari kubah menyebabkan lontaran vertikal bahan piroklastik, yang sebagian dapat menimbulkan aliran piroklastik jika jatuh kembali ke permukaan. Aliran piroklastik skala kecil dapat terjadi pada lereng gunung api besar, tetapi tidak ada catatan sejarah mengenai aliran piroklastik sangat besar yang telah meletus dan menghasilkan kaldera dimasa lalu. Dengan massa yang besar, suhu tinggi, kecepatan dan mobilitas tinggi, aliran piroklastik dapat mendatangkan bahaya yang serius termasuk resiko tertimbun, kebakaran, sesak nafas dan benturan. Bahaya sekunder dapat terjadi jika sejumlah besar salju yang berada di gunung mencair serta menimbulkan lahar dan banjir.

12. Gelombang piroklastik dibagi dua tipe yaitu tipe panas dan dingin. Gelombang piroklastik panas dikenal sebagai gelombang (permukaan) tanah, ditimbulkan oleh proses yang hampir sama dengan aliran piroklastik dan sering mendahului aliran piroklastik. Gelombang piroklastik dingin dikenal sebagai gelombang dasar, berasal letusan hidromagmatik dimana air tanah dangkal atau air permukaan berinteraksi dengan magma. Gelombang piroklastik dingin biasanya mengandung air dan/atau uap dan suhunya sama atau di bawah titik didih air. Gelombang dasar secara umum terbatas pada radius 16 km dari lubang kawah. Gelombang piroklastik menyebabkan bermacam-macam bahaya termasuk perusakan oleh awan abu (*ash-laden*), benturan dengan fragmen batuan dan penimbunan. Gelombang piroklastik panas dapat menyebabkan bahaya tambahan seperti kebakaran, gas beracun dan sesak nafas.
13. Bahaya yang berhubungan dengan aliran dan gelombang piroklastik dievaluasi

dari pemetaan endapan masa lampau, studi sifat fisik endapan gunung api dan perkiraan suhu pengendapan. Analisa pola topografi dan drainase serta simulasi komputer juga dapat digunakan untuk memperkirakan bahaya yang berhubungan dengan fenomena ini.

### **Kejutan udara dan petir**

14. Letusan gunung api dapat menimbulkan gelombang kejut supersonik yang mampu memecahkan jendela pada jarak beberapa kilometer. Gelombang ini disertai oleh lontaran bom dan blok sebagaimana dibahas pada bagian terdahulu tetapi radius dampak gelombang kejut dapat lebih besar dari lontaran bahan tersebut.
15. Petir sering menyertai letusan gunung api. Petir disebabkan oleh perbedaan muatan antara kolom abu letusan dan atmosfer. Dalam beberapa hal, petir dan muatan statis tinggi terjadi sampai beberapa kilometer dari gunung yang meletus.

### **Aliran lava**

16. Aliran lava disebabkan oleh gravitasi dan mengikuti pola/lintasan drainase pada topografi. Lava berkelakuan seperti cairan pekat yang permukaannya tertutup oleh kerak setengah padat. Morfologi dan kecepatan aliran lava tergantung pada laju letusan, suhu, komposisi, geometri lubang kawah dan topografi. Tipe morfologi aliran lava yang umum diantaranya adalah pahohoe, aa, dan blok. Morfologi yang berbeda menunjukkan perbedaan viskositas magma dan kadang-kadang laju efusi yang berbeda. Panjang aliran lava dapat mencapai antara beberapa meter sampai puluhan kilometer dengan lebar kurang dari 1 meter sampai lebih dari 100 meter. Suhu lava basaltik dapat mencapai 1200°C, lava dasitik dan riolitik mencapai 1000°C atau kurang. Lava yang tidak biasa seperti karbonat hasil letusan di Ol Doinyo Lengai (Tanzania) suhunya hanya 400°C.
17. Kecepatan aliran lava biasanya rendah, tetapi aliran lava silika-rendah dan/atau lava suhu tinggi dapat mencapai kecepatan lebih dari 10 meter/detik pada lereng terjal. Meskipun demikian gerak maju bagian ujung aliran lava basaltik yang

paling cair biasanya lebih pelan, beberapa meter/detik atau kurang. Kebanyakan lava felsik seperti andestik, dasitik dan riolitik mengalir lebih pelan yaitu kurang dari 100 meter/hari pada lereng sedang. Jika viskositas dan yield strength lava felsik tinggi, lava dapat membentuk kubah lava dengan perbandingan tinggi dan diameter lebih besar dari lava yang mengalir. Kubah lava dapat mencapai ketinggian lebih dari 100 meter dan lebar beberapa ratus meter.

18. Bahaya yang berhubungan dengan aliran lava biasanya diperkirakan dengan pemetaan distribusi aliran lava masa lalu, pemetaan pola drainase saat ini dan kondisi topografi yang dapat mempengaruhi aliran lava, serta pemetaan lubang kawah tempat asal letusan aliran lava. Simulasi komputer aliran lava telah pula digunakan untuk memperkirakan bahaya aliran lava.

#### **Longsor bahan rombakan, tanah longsor dan keruntuhan lereng**

19. Kebanyakan gunung api berlereng terjal sehingga menjadi tidak stabil akibat erosi atau deformasi. Keruntuhan lereng secara keseluruhan atau sebagian sering menghasilkan longsor bahan rombakan atau puing berupa aliran turbulen berkecepatan tinggi dari fragmen batuan yang tercampur dengan udara. Cara pergerakan longsor bahan rombakan sama dengan aliran piroklastik dimana pada kedua fenomena tersebut aliran bahan campuran menuruni lereng dipercepat oleh gravitasi. Meskipun tidak sebesar longsor bahan rombakan, pelepasan dan runtuhnya lereng yang tidak stabil dapat menimbulkan tanah longsor dan jenis keruntuhan lereng lainnya yang mendadak, yang dipicu oleh gempa bumi atau curah hujan tinggi.
20. Suhu dari kebanyakan longsor bahan rombakan lebih rendah dari aliran piroklastik dan berkisar antara suhu lingkungan sekitarnya sampai beberapa ratus °C tergantung pada suhu awal batuan. Endapan bersuhu tinggi dapat ditentukan berdasarkan keberadaan fragmen bahan muda yang signifikan, keberadaan kayu yang terbakar hangus atau menggunakan metode paleomagnetik. Volume runtuh dapat mencapai lebih dari 10 km<sup>3</sup> dan kecepatan aliran dapat melebihi 100 meter/detik.
21. Runtuhan besar dapat meninggalkan tebing yang curam berbentuk tapal kuda

di bagian atas lereng. Endapan dapat mencapai ketebalan beberapa puluh meter dan dapat mencapai beberapa puluh kilometer dari asalnya. Kerusakan yang disebabkan oleh longsor bahan rombakan terutama karena tumbukan fisik, penimbunan dan kerusakan total terutama pada bagian pusat aliran.

22. Bahaya longsor bahan rombakan gunung api dan fenomena yang berkaitan dapat diperkirakan dengan melakukan pemetaan distribusi endapan dan fasies yang berhubungan seperti lahar, dan dengan mengidentifikasi kenampakan morfologi yang menunjukkan adanya runtuh dalam skala besar yang telah terjadi di masa lalu. Studi topografi dan struktur gunung api serta analisa kejadian runtuh gunung api dengan simulasi komputer membantu memperkirakan resiko pada suatu tapak tertentu.

#### **Aliran bahan rombakan, lahar dan banjir**

23. Campuran dari bahan padat gunung api, air, batuan lain, tanah dan tanaman, sering membentuk banjir-bandang yang mengalir ke lembah dan sungai yang disebabkan berlimpahnya air permukaan sesudah hujan lebat. Hal ini disebut aliran bahan rombakan (*debris*) dan lahar gunung api yang mencakup aliran batu-batu besar menuruni lereng curam sampai aliran lumpur yang menyapu daerah di kaki gunung. Aliran bahan rombakan dan lahar meningkat menjadi arus banjir dengan beban berat partikel pasir dan lempung.
24. Letusan campuran bahan padat dan air secara langsung dari lubang kawah aktif bukan merupakan hal yang biasa tetapi dapat disebabkan oleh letusan yang melalui air hujan yang melimpah. Letusan ini dapat juga dipicu oleh hujan sangat deras, mencairnya es dan salju, tanah longsor, penutupan lubang kawah dan kondisi lain dimana sejumlah besar bahan lepas berada di lereng gunung api.
25. Aliran bahan rombakan dan lahar memiliki ciri yang sama dengan fenomena serupa yang bersifat non-vulkanik. Kelakuan dinamik ditentukan terutama oleh keadaan dan perbandingan jumlah bahan, topografi, ukuran dan cuaca. Meskipun kecepatan alirannya lebih rendah dari pada aliran piroklastik, aliran bahan rombakan dan lahar yang besar dapat mencapai jarak 50 km atau lebih dan mencapai volume lebih dari  $10^7 \text{ m}^3$ . Kerusakann fisik yang disebabkan oleh

aliran bahan rombakan dan lahar juga sebanding dengan kerusakan akibat fenomena serupa yang bersifat non-vulkanik.

26. Banjir dapat dipicu oleh tanah longsor, aliran piroklastik, longsoran dan aliran bahan rombakan, dan lahar yang ditimbulkan oleh mencairnya es dan salju di dekat pusat vulkanik atau di tempat yang lebih jauh oleh lereng yang tidak stabil karena percepatan erosi. Tergantung pada kondisi awal sistem air, masuknya bahan vulkanik secara tiba-tiba dapat menyebabkan banjir besar di sungai bagian bawah. Pengendapan dan penyumbatan oleh sejumlah besar sedimen yang terbawa banjir ini merupakan ancaman yang serius terhadap fasilitas sungai dan persediaan air.
27. Salah satu cara mengevaluasi bahaya lahar adalah melakukan pemetaan endapan lahar tersebut. Dengan demikian, lahar yang sangat merusak akan menghasilkan endapan yang sangat kecil sehingga dapat terabaikan dalam catatan geologi. Bahaya lahar dievaluasi dengan melakukan:
  - a. identifikasi daerah sumber lahar yang potensial, termasuk danau kawah, puncak gunung es dan curah hujan musiman yang tinggi; dan
  - b. identifikasi pola drainase yang mungkin dapat menampung lahar dan mengalirkannya ke tempat yang jauh.

### **Gas-gas vulkanik**

28. Bahan yang mudah menguap yang keluar dari lubang vulkanik, solfatara dan fumarola, sebagiannya berada cukup jauh dari gunung api aktif, dapat sangat reaktif dan berbahaya terhadap manusia dan harta-benda. Gas vulkanik yang sebagian besar terdiri dari H<sub>2</sub>O juga mengandung CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CO, Cl, F, dll., yang dalam jumlah banyak dapat secara serius mengganggu kesehatan. Gas tersebut dapat disebarkan dalam jumlah besar baik dari lubang utama (yang sudah tetap) maupun dari celah baru yang tidak berhubungan dengan lubang utama, seperti kasus Dieng (Jawa, Indonesia) pada tahun 1979. Gas tersebut biasanya lebih berat dari udara sehingga cenderung mengikuti sistem drainase dan terkumpul pada depresi topografi.
29. Bahaya gas vulkanik dikaji dengan pemetaan manifestasi hidrotermal dan dengan memperhitungkan topografi, angin dan pola cuaca.

### **Deformasi tanah**

30. Deformasi dipicu oleh runtuhnya lereng gunung api karena gravitasi, runtuhnya lubang kawah dan graben, atau intrusi magma dangkal. Meskipun perlahan, sesuai dengan berjalannya waktu, deformasi lereng dapat menyebabkan pergeseran vertikal dan horisontal yang cukup signifikan dalam bentuk patahan, retakan dan menggelombangnya permukaan. Deformasi tanah yang signifikan dapat terjadi sebagai hasil dari injeksi magma selama pembentukan gunung api monogenetik.

### **Gempa bumi**

31. Meskipun tidak mudah membedakan gempa bumi vulkanik dengan gempa bumi tektonik, yang diperhitungkan pada Peraturan Kepala ini hanya gempa bumi yang berhubungan langsung dengan aktivitas vulkanik. Gempa vulkanik umumnya terjadi dalam bentuk getaran (*swarm*) dan mempunyai magnitudo lebih kecil dari gempa tektonik. Gempa vulkanik cenderung bervariasi dalam panjang gelombang dan frekuensi. Gempa vulkanik dapat berjumlah banyak dan cukup besar hingga menimbulkan kerusakan tingkat menengah. Gempa tektonik dengan magnitudo 6 atau lebih pernah tercatat dapat memicu letusan gunung api tetapi batas (magnitudo) tersebut tidak jelas.

### **Tsunami**

32. Tsunami vulkanik dapat timbul jika tanah longsor, aliran piroklastik, longsoran bahan rombakan, dan lahar masuk ke laut atau danau besar. Tsunami vulkanik dapat juga disebabkan oleh dislokasi dasar laut oleh gunung api lepas pantai atau gempa bumi. Runtuhnya struktur bangunan gunung api yang dipicu oleh letusan gunung api atau gempa bumi dapat mengarah ke pergeseran lereng cukup besar yang selanjutnya menimbulkan tsunami. Banyak bencana besar dalam sejarah disebabkan oleh tsunami yang secara langsung berhubungan dengan aktivitas gunung api. Sebagai contoh, meletusnya gunung Krakatau. Kerusakan fisik yang disebabkan tsunami menempatkan tsunami sebagai salah satu bahaya vulkanik yang paling serius. Bahaya karena tsunami dievaluasi berdasarkan pada topografi sekitar tapak, jarak tapak dari kumpulan /volume

air dalam jumlah besar dan topografi dasar laut atau batimetri.

### **Anomali geotermal**

33. Kenaikan dan berfluktuasinya suhu permukaan tanah seringkali berhubungan dengan aktivitas vulkanik. Pembentukan fumarola baru dan tanah beruap (steaming ground) dapat menyebabkan hancurnya tanaman, tidak stabilnya lereng dan penurunan tanah. Pada kedalaman dimana suhu mendekati titik didih, dapat terjadi ketidakstabilan sistem air tanah karena pembentukan lubang besar yang menurunkan tekanan dan impedansi lapisan batuan di atasnya. Pada beberapa kasus terjadi letusan freatik yang menyebabkan pembentukan lubang kawah.
34. Evaluasi bahaya karena keberadaan dan pembentukan sistem hidrotermal di sekitar gunung api sangat penting pada kaldera dan kompleks vulkanik dimana sistem hidrotermal dapat meluas sampai di luar struktur bangunan gunung api. Bahaya tersebut sering dapat dikenali dengan pemetaan daerah alterasi pada gunung api dan di sekitarnya, pengukuran gas tanah  $^{222}\text{Rn}$ , He, Hg,  $\text{CO}_2$  dan gas-gas lain, melalui survey geofisika terutama survey geolistrik. Pemboran dapat memberikan informasi mengenai cakupan dan suhu sistem hidrotermal bawah-permukaan. Model aliran multifase dan perpindahan panas pada sistem hidrotermal dapat membantu penilaian bagaimana anomali geotermal merespon aktivitas vulkanik baru atau intrusi magma.

### **Anomali air tanah**

35. Aktivitas vulkanik, intrusi *dike* dan *sill*, dan deformasi kerak yang menyertainya dapat mempengaruhi muka air tanah, suhu, dan mengganggu pelepasan mata air dingin, air panas dan air mancur panas. Perubahan tersebut jika meluas dapat mempengaruhi sistem air tanah. Teknik yang digunakan untuk mengevaluasi anomali/bahaya air tanah menyerupai dengan yang digunakan untuk mengevaluasi anomali geotermal. Bahaya air tanah dievaluasi menggunakan pemetaan, data dari sumur, dan survey geofisika. Pemodelan numerik pengaruh injeksi *dike* pada aliran tanah telah dikembangkan.

### **Pembukaan lubang baru**

36. Aktivitas vulkanik di suatu daerah dapat menghasilkan pembentukan lubang (kawah) baru. Lubang baru bermula sepanjang daerah rekahan yang dapat mencapai beberapa kilometer, tetapi biasanya aktivitas letusan terlokalisasi selama letusan berlangsung sehingga menghasilkan kerucut cinder dan cincin tuff. Letusan dari lubang baru dapat berlangsung beberapa jam sampai beberapa tahun. Interaksi magma dengan air tanah menghasilkan aktivitas eksplosif dan membentuk maar dan lubang kawah freatik. Jika berhubungan dengan struktur vulkanik yang lebih besar, seperti gunung api perisai dan kaldera, lubang baru sering terbentuk sepanjang daerah rekahan atau struktur utama lain pada gunung api. Lubang baru juga terbentuk pada daerah vulkanik yang tidak berhubungan dengan struktur vulkanik besar. Distribusi lubang pada daerah vulkanik dikontrol sebagian oleh struktur wilayah dan lubang umumnya terkonsentrasi dalam daerah vulkanik. Lubang baru dapat berlaku sebagai sumber jatuhan piroklastik dan aliran lava yang cukup signifikan.
37. Terjadinya fenomena nonvulkanik seperti gunung lumpur (*mud volcano*) dapat dianggap sebagai pembukaan lubang baru. Gunung lumpur terbentuk oleh letusan suspensi partikel batuan dengan air dan gas. Jari-jarinya dapat melebihi 100 meter dan tingginya 20 meter. Gunung lumpur terjadi di daerah vulkanik maupun di daerah nonvulkanik, yang biasanya dicirikan oleh formasi batuan dasar lempung, pasir dan batu berpasir. Gunung lumpur terbentuk karena adanya tekanan lebih pada cairan bawah tanah, biasanya berhubungan dengan suhu tinggi yang menyebabkan pemecahan dan pencairan formasi batuan. Suspensi yang dihasilkan mengalir ke atas meletus di permukaan dan membentuk aliran. Gas yang mungkin mengandung sejumlah metan dapat terbakar jika terjadi kontak dengan udara. Letusan gunung lumpur dapat juga dipicu oleh gelombang tekanan yang berhubungan dengan gempa bumi dan letusan magmatik. Pencairan tanah dan aliran lumpur secara potensial dapat menyebabkan bahaya. Fenomena gunung lumpur tidak dibahas secara khusus dalam Peraturan Kepala ini dan kriteria untuk penentuan kemampuan dan evaluasi bahaya yang berkaitan tidak dapat diterapkan.

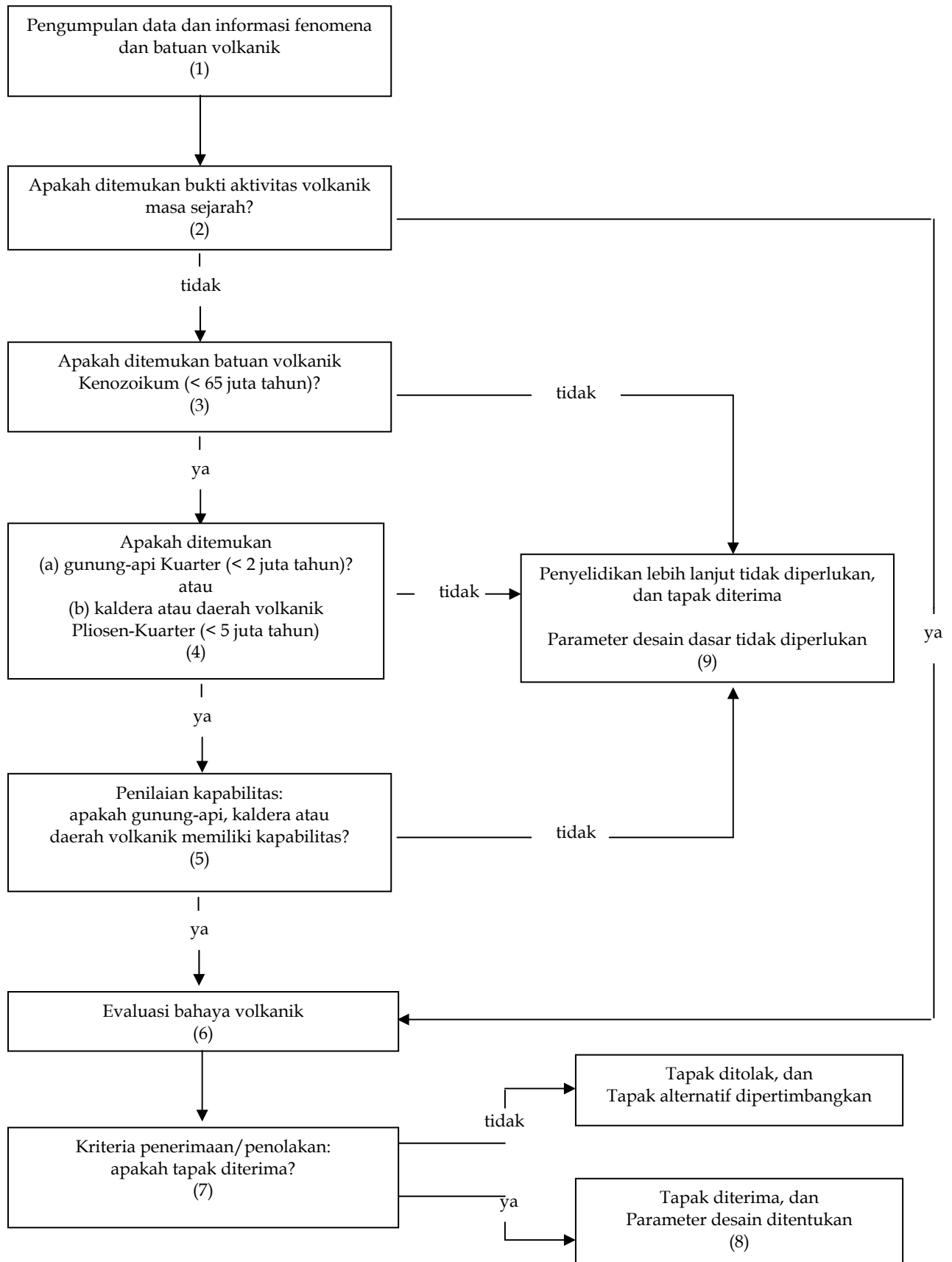
## BAB II

### PERSYARATAN UMUM

38. Pada tahap awal investigasi tapak, PET harus mengumpulkan semua data dan informasi kegunungapian yang relevan dari sumber-sumber yang tersedia (publikasi, laporan teknis, dan bahan lain) untuk mengidentifikasi fenomena vulkanik yang secara potensial mempunyai dampak pada reaktor daya yang diusulkan (Gambar 1, kotak nomor 1). Jenis dan jumlah informasi yang diperlukan untuk evaluasi bahaya vulkanik secara memadai disesuaikan terutama pada keberadaan gunung api yang masih aktif di daerah sekitar tapak sebagaimana dihasilkan pada studi wilayah dalam Bab III, huruf B.
39. Jika bukti aktivitas vulkanik di daerah sekitar tapak pada masa sejarah ditemukan pada catatan atau dokumentasi yang ada, maka investigasi lebih rinci perlu dilakukan untuk mengevaluasi potensi bahaya aktivitas vulkanik (Gambar 1, kotak nomor 2 dan 6). Masa sejarah untuk Indonesia adalah sejak tahun 1600 Masehi (sesuai dengan klasifikasi gunung api tipe A dari Direktorat Gunung berapi dan Mitigasi Bencana Geologi).
40. Dalam hal tidak ditemukan bukti adanya aktivitas vulkanik pada masa sejarah, investigasi lebih lanjut perlu dilakukan terutama mengenai keberadaan batuan vulkanik. Hal tersebut dilakukan dengan mengevaluasi semua data yang tersedia mengenai umur batuan vulkanik. Jika tidak ditemukan batuan vulkanik berumur Kenozoikum (0 sampai dengan 65 juta tahun) maka investigasi lebih lanjut tidak diperlukan (Gambar 1, kotak nomor 3 dan 9).
41. Jika ditemukan bukti aktivitas vulkanik selama masa Kenozoikum, maka informasi geologi dan gunung berapi yang lebih detil perlu dikumpulkan untuk menentukan secara lebih tepat umur aktivitas tersebut. Hal ini penting jika penentuan atau perkiraan umur yang dapat diandalkan tidak tersedia.
42. Investigasi lebih lanjut diperlukan jika salah satu atau dua hal berikut ditemukan :
  - a. bukti adanya aktivitas vulkanik Kwartir (kurang dari 2 juta tahun),
  - b. bukti adanya kaldera atau daerah vulkanik (*volcanic fields*) Pliosen atau Kwartir (kurang dari 5 juta tahun).

Tujuan investigasi harus menentukan potensi timbulnya aktivitas baru yang selanjutnya disebut sebagai kapabilitas (*capability*) suatu gunung api (Gambar 1, kotak nomor 5). Penentuan kapabilitas suatu gunung api disajikan pada Bab IV.

43. Semua dampak dari gunung api atau daerah vulkanik yang memiliki kapabilitas, termasuk gunung api yang aktif pada masa sejarah perlu diidentifikasi dan dievaluasi terutama dalam hal dampaknya terhadap tapak (Gambar 1, kotak nomor 6). Evaluasi bahaya vulkanik harus dilakukan menurut prosedur yang diuraikan pada Bab V.
44. Dampak yang cukup potensial dari aktivitas vulkanik dapat mengarah pada penolakan tapak. Jika usulan tapak tidak ditolak, maka reaktor daya harus dilindungi dari dampak aktivitas vulkanik dengan :
  - a. memberikan jarak dan elevasi yang aman pada tapak dari dampak bahaya vulkanik tertentu, atau
  - b. desain reaktor daya yang dapat menahan dampak bahaya vulkanik termasuk semua konsekuensinya (Gambar 1, kotak nomor 7 dan 8).
45. Pemantauan gunung api di sekitar tapak perlu dilakukan selama umur reaktor daya untuk memperkirakan kelakuan dan potensi dampak gunung api tersebut terhadap tapak. Program pemantauan harus disiapkan dan dilaksanakan melalui kerjasama dan koordinasi dengan institusi yang berwenang (dalam hal ini Direktorat Gunung berapi dan Mitigasi Bencana Geologi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral).
46. Program Jaminan Mutu (*Quality Assurance*) diatur dan dilaksanakan untuk semua kegiatan yang berkaitan dengan pengumpulan data, pengolahan data dan interpretasi, investigasi lapangan dan laboratorium serta evaluasi yang berada dalam ruang lingkup pada Peraturan Kepala BAPETEN ini.



Gambar 1.  
Diagram alir proses untuk memenuhi persyaratan umum

**BAB III**  
**INFORMASI, INVESTIGASI YANG DIPERLUKAN**  
**DAN BASIS DATA GUNUNG BERAPI**

**A. UMUM**

47. Validitas penilaian bahaya vulkanik didasarkan pada pemahaman yang memadai terhadap:

- a. kerangka geologi dan tektonik wilayah, dan
- b. karakter setiap pusat erupsi di wilayah sekitar tapak.

Untuk mencapai tingkat pemahaman tersebut diperlukan pengumpulan informasi secara terpadu dari setiap daerah vulkanik di wilayah tersebut. Karakteristik daerah vulkanik terutama dihubungkan dengan kerangka tektonik, dengan memperhatikan evolusi wilayah di masa lampau dan juga potensi perkembangannya di masa depan.

48. Bila gunung api dan daerah vulkanik Kenozoikum serta produknya di sekitar tapak telah diidentifikasi dan potensi dampaknya pada tapak tersebut telah ditentukan sebagaimana dibahas pada Bab II, maka perlu dilakukan studi lebih rinci terhadap gunung api atau daerah vulkanik tersebut untuk mengevaluasi kemungkinan jenis dan pola letusan yang mempengaruhi keselamatan secara signifikan. Jenis informasi yang diperlukan untuk studi tersebut disesuaikan pada skala studi dan jenis bahaya yang diperhitungkan sebagaimana dibahas di bawah ini.

**B. SKALA STUDI**

**B.1. Studi Wilayah**

49. Studi wilayah bertujuan untuk mengidentifikasi semua fenomena vulkanik yang dapat memberikan dampak pada tapak. Penyelidikan dalam skala wilayah memerlukan kompilasi semua data geologi, geofisika dan gunung berapi yang tersedia dan relevan dengan aktivitas vulkanik berumur Kenozoikum. Semua sumber potensial fenomena vulkanik sebagaimana dibahas pada Bab I perlu diidentifikasi. Radius daerah studi minimal 150 km dari tapak. Daerah tersebut kemungkinan tidak simetris, tergantung pada kondisi geologi dan fisiografinya. Informasi yang diperoleh harus dikompilasikan pada peta

dengan skala minimal 1 : 250.000.

50. Umur endapan atau produk vulkanik Pliosen dan Kuartar dengan cakupan sampai 100 km<sup>2</sup> atau lebih perlu ditentukan dengan metoda yang memadai seperti metode stratigrafi dan penentuan umur radiometrik (misal Karbon-14 untuk rentang umur muda).
51. Sumber-sumber endapan vulkanik perlu diidentifikasi dengan memanfaatkan data geologi wilayah dan pemetaan geologi pendahuluan (*reconnaissance*). Jika diperlukan, data tersebut harus dilengkapi dengan peta isopach, karakteristik petrografi dan geokimia serta kondisi topografi yang mungkin mempengaruhi distribusi endapan vulkanik.
52. Pemetaan geologi harus mengikuti standar yang telah ditentukan oleh institusi yang berwenang (Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral), yaitu sebagaimana tertuang dalam Standar Nasional Indonesia SNI 13-4961-1998 atau penyempurnaannya.
53. Kerangka tektonik dari aktivitas vulkanik Pliosen dan Kuartar serta pola kecenderungannya terhadap ruang dan waktu perlu diidentifikasi dan dikarakterisasi.
54. Sesuai dengan Persyaratan Umum pada Bab II Angka 40, gunung api atau daerah vulkanik yang teridentifikasi dalam survei wilayah tidak memerlukan studi lebih jauh jika memenuhi kriteria berikut:
  - a. gunung api tersebut telah tidak aktif selama Kuartar dan tidak mempunyai manifestasi aktivitas magma baru; dan
  - b. kaldera atau daerah vulkanik telah tidak aktif sejak Pliosen dan Kuartar dan tidak mempunyai manifestasi aktivitas magma baru.

## **B.2. Studi gunung api atau daerah vulkanik**

55. Gunung api dan daerah vulkanik yang telah diidentifikasi pada studi wilayah berpotensi menimbulkan bahaya pada tapak perlu dipelajari secara lebih rinci melalui langkah-langkah berikut:
  - a. gunung api dan daerah vulkanik perlu dikarakterisasi berdasarkan morfologi, hasil letusan, dan pola perilaku.
  - b. sejarah tiap pusat atau sumber vulkanik perlu ditentukan untuk

mengidentifikasi tahapan perkembangan evolusinya dan potensinya untuk menghasilkan berbagai tipe fenomena vulkanik sebagaimana dibahas pada Bab I.

- c. catatan atau dokumentasi mengenai gunung api yang sejenis secara geologi harus digunakan untuk mendapatkan gambaran yang lebih baik terhadap perkembangan jangka panjang dan kemungkinan aktivitas gunung api di masa mendatang. Informasi yang diperoleh dari sumber yang dipublikasikan maupun yang tidak dipublikasikan, perlu ditingkatkan atau dilengkapi dengan penilaian khusus yang dirancang untuk memperoleh informasi tambahan yang penting bagi tapak. Studi tersebut mencakup kombinasi dari beberapa hal berikut:
  - a. Pemetaan geologi pada skala 1 : 50.000 atau lebih besar (misal 1 : 25.000 dan seterusnya);
  - b. Survei geofisika (gravitasi, magnetik, gempa mikro, geolistrik dan magnetotellurik) serta analisis data yang diperoleh menggunakan pemodelan tomografi dua-dimensi (2-D) dan/atau tiga-dimensi (3-D);
  - c. Analisis geokimia dan model petrologi yang menghubungkan aktivitas letusan dengan variasi komposisi magma dan urutan atau sekuen stratigrafi;
  - d. Penentuan hubungan antara sekuen stratigrafi dan kronologi endapan vulkanik (*tephra*), yang meliputi studi permukaan dan pembedaan;
  - e. Penentuan umur radiometrik (misalnya Karbon 14 untuk rentang umur muda) satuan utama letusan (*major eruptive unit*) dan tanda stratigrafi utama (*key stratigraphic marker*).

Informasi yang diperoleh digunakan untuk pemetaan geologi gunung api atau secara lebih spesifik pemetaan kawasan rawan bencana gunung api. Dalam hal ini, standar yang perlu diacu adalah Standar Nasional Indonesia SNI 13-4728-1998 atau penyempurnaannya (untuk pemetaan geologi gunung api) dan Standar Nasional Indonesia SNI 13-4689-1998 atau penyempurnaannya (untuk pemetaan kawasan rawan bencana gunung api).

### **B.3. Studi tapak khusus**

56. Data dan informasi yang telah diperoleh pada studi tahap sebelumnya digunakan untuk menyusun sejarah geologi dan evolusi struktur gunung api atau daerah vulkanik. Investigasi lebih rinci difokuskan pada:
- a. kemungkinan bahaya yang timbul di sekitar tapak; dan
  - b. kondisi setempat yang dapat mempengaruhi dampak dari kejadian yang cukup jauh dari tapak.

Studi tersebut mencakup daerah sekitar tapak (umumnya pada radius sampai dengan 10 km) dengan tujuan khusus untuk mengkaji semua potensi bahaya vulkanik dan menggambarkan kemungkinan dampaknya pada peta dengan skala 1 : 10.000 atau lebih besar (misal 1 : 5.000 dan seterusnya).

57. Potensi bencana yang telah diidentifikasi pada studi tahap awal perlu dianalisis lebih lanjut untuk menentukan sejauhmana kondisi lokal dapat mempengaruhi dampak dari kejadian yang dekat maupun yang jauh dari tapak. Kondisi lokal tersebut diantaranya adalah :
- a. kondisi meteorologi, topografi dan hidrologi antara sumber potensi dan tapak;
  - b. aktivitas geotermal atau hidrotermal dalam area tapak;
  - c. gangguan akibat ulah manusia terhadap kondisi termal atau hidrotermal.

### **C. BASIS DATA GUNUNG BERAPI**

58. Basis data harus dibuat untuk mengumpulkan dan mendokumentasikan data gunung berapi yang meliputi daerah vulkanik, gunung api dan tapak. Basis data tersebut dibuat dan dipelihara (validitasnya) oleh suatu organisasi yang bertanggung-jawab untuk penilaian bahaya vulkanik lebih lanjut. Basis data ditujukan untuk menentukan dan mendokumentasikan:
- a. frekuensi, interval istirahat, dan durasi atau lamanya letusan;
  - b. distribusi spasial dan struktur pengontrol letusan;
  - c. pola letusan dan hasil letusan;
  - d. hubungan antara episode letusan dan variasi geokimia dalam komposisi magma.

59. Katalog mengenai seluruh gunung api yang pernah aktif dalam masa sejarah dan area vulkanik aktif yang teridentifikasi pada studi wilayah perlu disusun sebagaimana dimaksud dalam Bab II. Informasi gunung berapi yang terangkum dalam katalog tersebut meliputi:
  - a. waktu dan durasi atau lamanya letusan ;
  - b. jenis hasil letusan;
  - c. luas daerah dan massa (volume) hasil letusan;
  - d. aktivitas seismik, deformasi tanah dan anomali geofisika lainnya (sebagaimana dilakukan pengamatan dan analisisnya pada tahap studi gunung api dan daerah vulkanik);
  - e. luas dan pola kerusakan;
  - f. data geokimia.
60. Catatan atau dokumentasi aktivitas pra-sejarah harus mencakup deskripsi fenomena dan produk vulkanik Pliosen dan Kuarter sebagaimana dibahas pada Bab I. Umur satuan produk vulkanik utama perlu dihubungkan dengan skala waktu geologi absolut.
61. Informasi mengenai semua sumber produk vulkanik yang potensial dapat mencapai tapak harus dikumpulkan. Endapan vulkanik Pliosen dan Kuarter di sekitar tapak diidentifikasi dan dievaluasi berdasarkan informasi berikut:
  - a. identifikasi sumber dan distribusi endapan;
  - b. umur dan perkiraan lamanya letusan ; dan
  - c. komposisi dan sifat fisik, meliputi volume, rapat massa, perkiraan suhu dan waktu deposisi atau pengendapan.
62. Informasi tambahan perlu diperoleh untuk setiap satuan tephra yang dapat dibedakan, termasuk produk erupsi freatomagmatik dan freatik yang telah berdampak pada tapak. Informasi tambahan tersebut meliputi peta isopach yang menunjukkan luas, ketebalan, rapat massa, ukuran partikel dan sumbu penyebaran dari satuan tephra.
63. Informasi tambahan perlu diperoleh untuk setiap endapan produk vulkanik yang dapat dibedakan dari erupsi freatomagmatik dan freatik, aliran dan gelombang piroklastik atau letusan dengan arah tertentu (*directed blast*) yang telah berdampak pada tapak. Informasi tambahan tersebut meliputi:

- a. peta isopach yang menunjukkan ketebalan, rapat massa, serta perkiraan kecepatan dan suhu; dan
  - b. satu (atau lebih) peta yang mengidentifikasi fitur topografi yang berpengaruh pada arah dan energi kinetik aliran atau letusan dengan arah tertentu. Area yang telah dilalui aliran tetapi tanpa meninggalkan endapan yang terukur juga harus ditunjukkan.
64. Informasi tambahan perlu diperoleh untuk setiap endapan yang dapat dibedakan, yang merupakan hasil dari aliran lava, lahar, aliran dan longsoran bahan rombakan yang bagiannya terdapat di sekitar tapak. Informasi tambahan tersebut meliputi:
- a. perkiraan suhu, kecepatan dan energi kinetik pada area tapak;
  - b. satu (atau lebih) peta topografi yang mengidentifikasi fitur topografi yang berpengaruh pada arah, kecepatan dan distribusi aliran.
65. Basis data gunung berapi harus juga menyediakan informasi tambahan sebagai berikut:
- a. arah dan kecepatan angin musiman pada berbagai elevasi;
  - b. peta yang menunjukan lereng yang berpotensi tidak stabil yang dapat menyebabkan longsor;
  - c. peta topografi dan pola drainase.

## **BAB IV**

### **PENENTUAN KAPABILITAS GUNUNG API**

66. Konsep kapabilitas suatu gunung api digunakan untuk mendefinisikan keadaan sistem vulkanik dan juga sebagai cara untuk mengevaluasi potensi adanya aktivitas baru. Bab ini memberikan ketentuan teknis untuk mengkaji kapabilitas gunung api atau daerah vulkanik.
67. Suatu gunung api atau daerah vulkanik dianggap memiliki kapabilitas atau aktif jika satu atau lebih kriteria dalam urutan berikut dipenuhi:
  - a. sejarah aktivitas vulkanik;
  - b. manifestasi aktivitas magmatik saat ini;
  - c. indikasi waktu yang telah berlalu sejak aktivitas vulkanik terakhir tidak cukup panjang dibandingkan dengan "interval istirahat maksimum representatif" dari gunung api atau daerah vulkanik tersebut;
  - d. indikasi aktivitas vulkanik terakhir terjadi lebih awal dibandingkan dengan lamanya "interval istirahat ekstrim yang ditingkatkan" dari gunung api jenis tersebut, sebagaimana didefinisikan pada Angka 71.
68. Rekaman tentang sejarah aktivitas merupakan bukti yang jelas bahwa suatu gunung api memiliki kapabilitas atau aktif. Oleh karena itu gunung api yang pernah aktif pada masa sejarah dianggap memiliki kapabilitas.
69. Adanya manifestasi aktivitas magmatik saat ini menunjukkan bahwa suatu gunung api memiliki kapabilitas atau aktif. Manifestasi aktivitas vulkanik tersebut diantaranya adalah:
  - a. aktivitas geotermal;
  - b. deformasi tanah; dan
  - c. aktivitas gempa bumi vulkanik.
70. Interval istirahat suatu gunung api umumnya ditentukan berdasarkan umur erupsi vulkanik. Interval istirahat dapat dianalisis secara stokastik. Suatu gunung api secara aman dapat dikatakan tidak memiliki kapabilitas jika sudah tidak aktif selama kurun waktu jauh lebih lama dari pada "interval istirahat maksimum representatif" untuk gunung api tersebut.

71. Jika informasi yang memadai tentang interval istirahat untuk gunung api atau daerah vulkanik tertentu tidak tersedia, maka harga "interval istirahat maksimum representatif" tidak dapat digunakan untuk menentukan kapabilitas gunung api tersebut. Suatu gunung api secara aman dapat dikatakan tidak memiliki kapabilitas jika sudah tidak aktif selama kurun waktu jauh lebih lama dari pada "interval istirahat ekstrim" untuk gunung api tipe tersebut. Periode waktu tersebut didefinisikan sebagai "interval istirahat ekstrim yang ditingkatkan" (*increased extreme repose interval*). Kelebihan atau peningkatan terhadap "interval istirahat ekstrim" untuk setiap jenis gunung api harus memperhitungkan batas aman dan umur gunung api tersebut. "Interval istirahat maksimum representatif" suatu gunung api ditentukan berdasarkan data yang relevan (umur erupsi vulkanik) gunung api tersebut, sedangkan "interval istirahat ekstrim yang ditingkatkan" diperkirakan berdasarkan gunung api yang sejenis. Anak Lampiran II menyajikan klasifikasi gunung api beserta indikasi harga "interval istirahat ekstrim yang ditingkatkan" yang dapat digunakan sebagai ketentuan dalam menerapkan kriteria pada Bab IV ini.

## **BAB V**

### **EVALUASI BAHAYA VULKANIK**

72. Bab ini memberikan ketentuan dan prosedur untuk mengevaluasi bahaya vulkanik berkaitan dengan gunung api dan daerah vulkanik yang memiliki kapabilitas apabila akan mempertimbangkan pemilihan tapak dan desain reaktor daya.
73. Manifestasi aktivitas vulkanik sebagaimana tercantum pada Bab I dapat menjadi pertimbangan utama selama proses pemilihan tapak. Hasil evaluasi bahaya vulkanik akan menentukan :
  - a. tapak ditolak karena solusi rekayasa untuk mitigasi dampak potensial dari fenomena tersebut tidak praktis atau tidak dapat dibuktikan cukup memadai; atau
  - b. tapak dapat diterima dan dibuat desain dasar.
74. Fenomena vulkanik sebagaimana tercantum pada Tabel 1 dievaluasi dan dipertimbangkan dalam pemilihan tapak dan penentuan desain dasar. Fenomena vulkanik yang disajikan dalam Tabel 1 pada nomor (1), (6), (7) dan (12), dapat dipertimbangkan dalam pemilihan tapak atau penentuan desain dasar tergantung pada besarnya kejadian dan lokasi relatif sumber bahaya terhadap tapak.
75. Evaluasi bahaya vulkanik diawali dengan identifikasi semua gunung api dan daerah vulkanik yang memiliki kapabilitas sebagai sumber bahaya vulkanik disajikan dalam Gambar 2. Hal-hal yang dievaluasi untuk setiap sumber bahaya vulkanik adalah :
  - a. fenomena yang dapat dihasilkan oleh sumber;
  - b. sejarah aktivitas sumber.
76. Evaluasi bahaya vulkanik untuk gunung api dan daerah vulkanik yang memiliki kapabilitas dapat didasarkan pada metoda deterministik dan probabilistik.

77. Untuk setiap fenomena vulkanik dilakukan evaluasi deterministik yang konservatif dengan asumsi-asumsi berikut:
- a. letusan yang muncul pada tiap pusat gunung api atau daerah vulkanik adalah yang terdekat dengan tapak;
  - b. kekuatan dan lamanya letusan dianggap merupakan potensi letusan maksimum untuk gunung api tersebut (atau dapat digunakan data dari gunung api sejenis); dan
  - c. untuk suatu fenomena vulkanik tertentu, terdapat kondisi yang tidak menguntungkan dari sumber vulkanik yang dapat memberi dampak paling besar terhadap tapak, contohnya:
    - 1) untuk kasus jatuhnya piroklastik, arah angin langsung menuju ke arah tapak dengan kecepatan maksimum dan pada elevasi dimana kolom letusan paling padat selama durasi letusan; dan
    - 2) untuk kasus longsoran, lahar, aliran bahan rombakan dan piroklastik, sumber tersebut diasumsikan terdapat pada elevasi tertinggi dan dengan energi potensial terbesar. Volume diasumsikan maksimum sebagaimana pada gunung api yang bentuk dan aktivitasnya sebanding.
78. Hasil evaluasi deterministik akan menentukan area di sekitar gunung api, fenomena vulkanik tertentu harus dianalisis lebih lanjut. Jarak dari sumber fenomena vulkanik ke batas area tersebut disebut sebagai *Screening Distance Value* (SDV) untuk fenomena vulkanik tertentu. Dengan demikian, endapan vulkanik di sekitar tapak merupakan bukti langsung bahwa tapak terletak dalam SDV untuk fenomena vulkanik tersebut.
79. Jika tapak termasuk dalam SDV untuk suatu fenomena tertentu, maka evaluasi lebih lanjut perlu dilakukan untuk menetapkan parameter dan mengkuantifikasi dampak fenomena tersebut pada tapak. Parameter dan kuantifikasi dampak digunakan untuk memutuskan layak atau tidaknya solusi rekayasa dalam melindungi reaktor daya dari dampak tersebut.
80. Kasus I, jika sumber vulkanik yang berkaitan dengan fenomena tertentu merupakan gunung api yang memiliki kapabilitas dan aktif selama periode Holosen (0 sampai 10.000 tahun yang lalu), maka peraturan harus diambil menggunakan evaluasi deterministik sebagaimana diuraikan di atas untuk

menentukan :

- a. penerimaan atau penolakan tapak;
- b. penetapan desain dasar rekayasa.

untuk reaktor daya dalam kaitannya dengan masing-masing fenomena yang berasal dari sumber tersebut.

Gunung api Holosen yang tidak pernah aktif dalam sejarah termasuk dalam kasus I karena rentang waktu periode Holosen lebih lama dibandingkan dengan umur suatu reaktor daya sedangkan rentang waktu pencatatan sejarah sangat bervariasi dari satu negara ke negara lain. Evaluasi deterministik dapat dilakukan terhadap setiap fenomena vulkanik secara individual. Hanya fenomena vulkanik yang dihasilkan oleh erupsi selama Holosen dapat diperhitungkan secara deterministik. Fenomena vulkanik lainnya dapat dievaluasi secara probabilistik.

81. Kasus II, jika sumber vulkanik yang berkaitan dengan fenomena tertentu bukan merupakan gunung api yang pernah aktif pada masa sejarah atau bukan gunung api Holosen, tetapi dipostulasikan memiliki kapabilitas sebagai hasil evaluasi dari investigasi seperti dibahas pada Bab IV, maka direkomendasikan metode berikut:
  - a. dengan menggunakan catatan aktivitas sumber atau gunung api sejenis, evaluasi statistik/stokastik perlu dilakukan untuk menentukan pola dan kecenderungan terhadap ruang (spasial) dan waktu (temporal).
  - b. untuk setiap jenis fenomena vulkanik, analisa statistik/stokastik perlu dilakukan untuk menentukan laju pengulangan (*reccurence rate*) dan/atau probabilitas kejadian yang mempunyai rentang tingkat keparahan yang mungkin, dan dengan menggunakan pengamatan (data) dari gunung api sejenis.
  - c. peraturan penerimaan tapak dengan memperhitungkan fenomena-fenomena tersebut perlu dibuat berdasarkan probabilitas dari masing-masing fenomena. Tingkat probabilitas yang dapat di terima dari tiap fenomena merupakan fungsi dari dampaknya pada tapak. Tingkat probabilitas tersebut harus mempunyai ukuran besaran (*order of magnitude*) yang sama dengan kejadian sejenis pada evaluasi bahaya eksternal terhadap tapak (misal: gempa

bumi, jatuhnya pesawat terbang dan sebagainya).

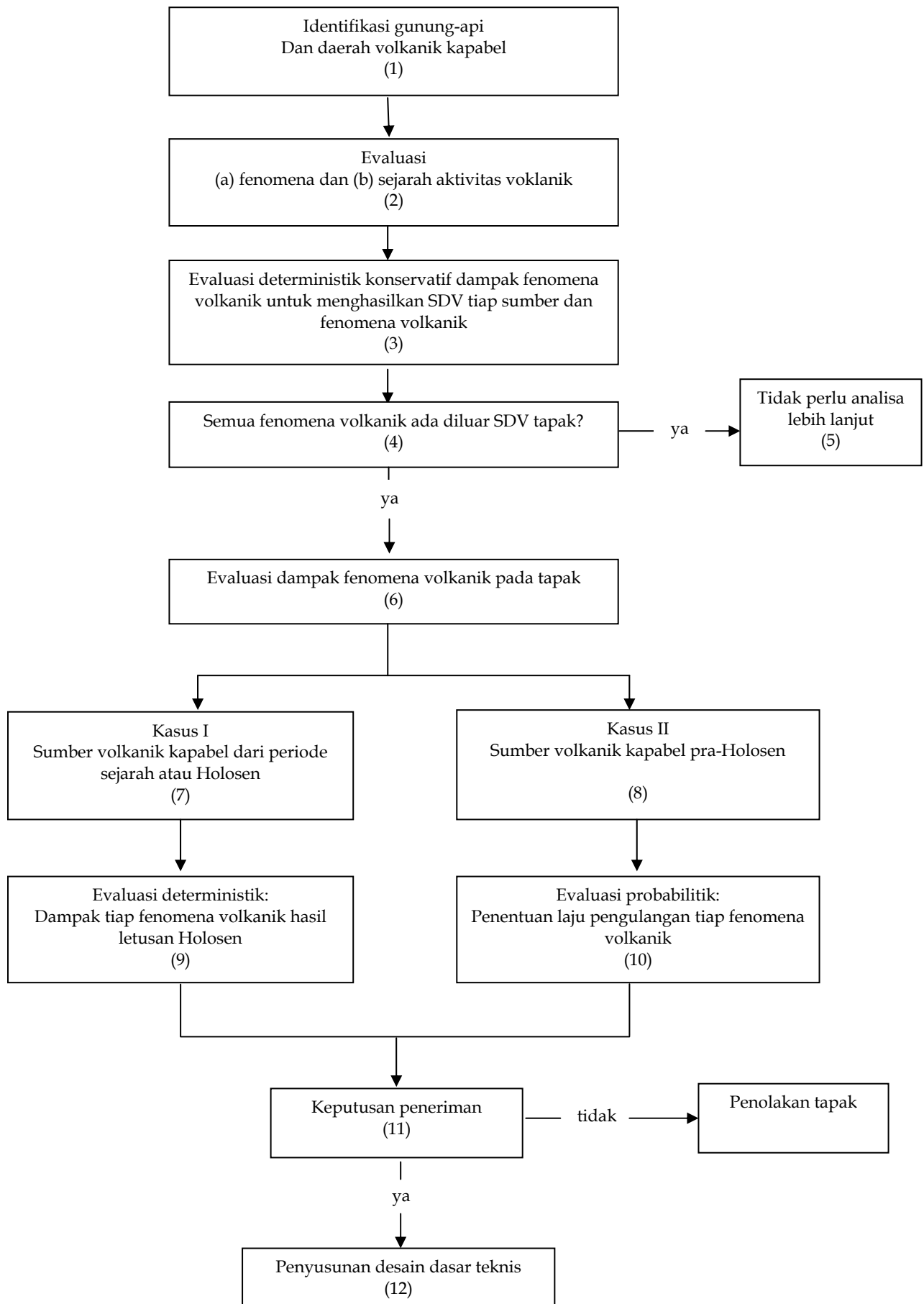
- d. jika diketahui bahwa tapak dapat diterima berdasarkan semua fenomena vulkanik, desain dasar rekayasa perlu disusun secara deterministik sebagaimana dimaksud pada Angka 77.

Secara garis besar evaluasi statistik/probabilistik dilakukan untuk memperkirakan pola kecenderungan terhadap ruang dan waktu aktivitas erupsi seperti laju pengulangan atau probabilitas kejadian dengan tingkat bahaya tertentu. Evaluasi didasarkan pada catatan atau dokumentasi aktivitas gunung api tersebut atau pengamatan terhadap gunung api sejenis. Sangat disarankan bahwa analisis probabilistik hanya digunakan untuk memperkirakan laju pengulangan aktivitas vulkanik (erupsi), sementara evaluasi lainnya menggunakan analisis deterministik berdasarkan data gunung api yang ditinjau.

Tabel 1.

Fenomena terkait dengan aktivitas vulkanik.

Jenis Fenomena	Pertimbangan utama untuk :		
	Penerimaan tapak	Desain instalasi	Peraturan Kepala Bapeten
(1) Proyektil balistik	X	X	
(2) Jatuhan bahan piroklastik		X	
(3) Aliran dan gelombang piroklastik	X		
(4) Kejutan udara dan petir		X	
(5) Aliran lava	X		
(6) Longsoran bahan rombakan, tanah longsor dan keruntuhan lereng	X	X	
(7) Aliran bahan rombakan, lahar dan banjir	X	X	
(8) Gas-gas vulkanik		X	
(9) Deformasi tanah	X		
(10) Gempa bumi		X	
(11) Tsunami		X	
(12) Anomali geotermal	X	X	
(13) Anomali air tanah		X	
(14) Pembukaan lubang baru	X		



Gambar 2.  
Diagram alir evaluasi bahaya vulkanik.

## **BAB VI**

### **PERTIMBANGAN DESAIN**

82. Kombinasi pendekatan deterministik dan probabilistik digunakan untuk memutuskan apakah akan ada masalah penerimaan terhadap tapak sehubungan dengan bahaya vulkanik (Bab V). Jika dapat dibuktikan bahwa reaktor daya dapat dilindungi dari bahaya vulkanik hanya dengan langkah- langkah desain (dalam hal ini tapak tidak perlu diubah), maka parameter desain dasar perlu ditentukan untuk memperhitungkan semua dampak pada reaktor daya tersebut. Sebagai alternatif, perlu dibuktikan dengan analisis yang lebih teliti bahwa dampak bahaya vulkanik tersebut tidak perlu dipertimbangkan.
83. Setiap dampak dari bahaya vulkanik yang diperhitungkan dalam desain dasar perlu dikaitkan dengan suatu parameter dan dikuantifikasi sehingga sejauh mungkin dapat dibandingkan dengan nilai desain dasar dari kejadian eksternal lainnya. Untuk beberapa dampak tertentu dapat dibuktikan bahwa parameter desain dasar yang ditentukan untuk kejadian eksternal lainnya telah mencakup parameter desain dasar yang dimaksudkan untuk menanggulangi dampak bahaya vulkanik.
84. Untuk mengantisipasi setiap fenomena pada Tabel 1, beberapa pengamatan berikut harus diperhatikan dalam kaitannya dengan desain.

#### **Proyektil balistik**

85. Dampak proyektil balistik dapat dibandingkan dengan dampak akibat lontaran yang dihasilkan oleh tornado atau tumbukan pesawat terbang. Meskipun demikian, perbedaan yang signifikan adalah jumlah lontaran yang mungkin jatuh pada suatu tapak. Distribusi yang menggambarkan perbandingan antara ukuran dan jarak dari proyektil menunjukkan bahwa kepingan yang lebih besar mungkin menempuh jarak yang lebih jauh akibat berkurangnya pengaruh gaya gesek. Secara umum diharapkan reaktor daya terletak cukup jauh ( $\geq 10$  km) dari sumber proyektil balistik.

### **Jatuhan bahan piroklastik**

86. Jatuhan abu vulkanik merupakan fenomena akibat gunung api dengan sebaran paling luas. Parameter utama yang perlu diperhitungkan adalah ketebalan, ukuran partikel dan rapat massa, serta laju akumulasi abu pada tapak. Akibat jatuhan abu dalam jumlah besar adalah beban vertikal statis pada struktur, penyumbatan pada sistem pengambilan air pendingin, dan efek yang merugikan pada seluruh sistem ventilasi. Beban vertikal statis tersebut perlu dibandingkan dengan beban lain yang sejenis (misalnya beban akibat timbunan salju) untuk menentukan apakah suatu batasan terluar telah diberikan sehingga desain rekayasa dapat memberikan perlindungan yang memadai. Efek merugikan akibat jatuhan abu pada sistem pengambilan air dan sistem ventilasi perlu diperhitungkan dan dikurangi melalui kombinasi antara desain rekayasa dan tindakan administratif.

### **Aliran piroklastik, gelombang piroklastik, dan aliran lava**

87. Secara umum solusi rekayasa tidak memadai untuk melindungi suatu reaktor daya dari aliran piroklastik, gelombang piroklastik dan aliran lava.

### **Kejut udara dan petir vulkanik**

88. Kejut udara (*air shock*) berpengaruh dalam jangkauan/radius yang terbatas. Pada umumnya reaktor daya telah memperhitungkan perlindungan terhadap gelombang tekanan udara (*pressure wave*) dalam rangka menanggulangi kejadian eksternal akibat ulah manusia, seperti kecelakaan pada saluran pipa, kecelakaan yang menyangkut pemindahan bahan yang mudah meledak, atau kejadian eksternal alamiah, misalnya fenomena meteorologi ekstrim seperti tornado.
89. Petir vulkanik serupa dengan petir yang disebabkan oleh kejadian meteorologi yang ekstrim diatur dalam Peraturan Kepala BAPETEN tentang Evaluasi Tapak Reaktor Daya untuk Aspek Meteorologi. Perlindungan Reaktor Daya terhadap petir vulkanik dapat dilakukan melalui desain rekayasa.

### **Longsor bahan rombakan, tanah longsor dan keruntuhan lereng**

90. Longsor bahan rombakan harus dipertimbangkan secara terpisah dari kerusakan lereng yang lain, terutama karena melibatkan volume yang sangat besar dan kecepatan longsor yang tinggi. Pada umumnya desain rekayasa tidak layak untuk melindungi reaktor daya terhadap fenomena ini. Kerusakan lereng lainnya dengan skala yang lebih kecil dapat diperlakukan dalam lingkup bahaya geoteknik yang lain (non-vulkanik). Pengaturan tentang cara melindungi reaktor daya terhadap bahaya tersebut harus dilakukan secara kasus demi kasus.

### **Aliran bahan rombakan, lahar dan banjir**

91. Kecepatan aliran yang tinggi dan volume aliran yang besar menyebabkan solusi rekayasa tidak mungkin dapat melindungi reaktor daya dari aliran bahan rombakan dan lahar. Fenomena banjir dapat dipertimbangkan bersama dengan banjir nonvulkanik. Pada umumnya perlindungan reaktor daya terhadap fenomena banjir memerlukan suatu desain “tapak kering” (*dry site*). Perbedaan penting antara fenomena ini dengan banjir biasa adalah singkatnya waktu peringatan yang tersedia setelah terjadinya aliran.

### **Gas Vulkanik**

92. Kemungkinan arah aliran, tipe dan konsentrasi gas pada tapak perlu diperkirakan. Metoda yang digunakan serupa dengan penanganan bahaya dari gas yang berasal dari sumber-sumber buatan manusia. Efek merugikan gas vulkanik ini mencakup toksisitas (keracunan) dan korosi. Perlindungan terhadap personil reaktor daya harus dilakukan dan dijamin melalui solusi rekayasa dan tindakan administratif.

### **Deformasi tanah**

93. Secara umum, solusi rekayasa tidak mungkin memberikan perlindungan tapak reaktor daya terhadap deformasi tanah yang besar.

### **Gempa bumi**

94. Dampak gempa bumi vulkanik terhadap reaktor daya serupa dengan dampak gempa bumi tektonik. Oleh karena itu, metoda yang sama dapat digunakan dalam analisis untuk pemilihan tapak dan penentuan desain rekayasa penanggulangan bahaya.

### **Tsunami**

95. Gunung api hanya merupakan salah satu sumber tsunami. Penilaian bahaya tsunami umumnya dilakukan dalam kerangka menilai dan menganalisis terjadinya banjir di pantai. Pada kasus banjir sungai, perlindungan reaktor daya memerlukan suatu desain “tapak kering” (*dry site*). Persyaratan yang ditentukan untuk penanggulangan dampak bahaya tsunami yang disebabkan oleh gempa bumi pada umumnya telah mencakup tsunami vulkanik.

### **Anomali geothermal dan air tanah**

96. Anomali geothermal dan air tanah perlu diperhitungkan dalam hal dampak langsung pada tapak (perubahan kedalaman muka air tanah) dan dampak bahaya sekunder seperti tanah longsor dan amblesan. Fluktuasi kecil pada kondisi geothermal dan air tanah dapat ditoleransi dan dapat diberikan perlindungan melalui desain rekayasa. Pada kasus yang ekstrim perlindungan melalui desain rekayasa tidak mungkin dilakukan.

### **Pembukaan lubang baru**

97. Secara umum, solusi rekayasa tidak mungkin memberikan perlindungan tapak reaktor daya terhadap terjadinya lubang erupsi atau kawah baru.

## BAB VII

### SISTEM PEMANTAUAN AKTIVITAS VULKANIK

98. Pemantauan gunung api yang memiliki kapabilitas atau aktif harus dilakukan untuk mengantisipasi perubahan atau peningkatan aktivitas gunung api yang berpotensi menimbulkan bahaya pada suatu tapak reaktor daya. Jenis dan jangkauan pemantauan didasarkan pada kebutuhan dan kasus yang ditinjau. Beberapa cara pemantauan dibahas secara singkat pada bab ini.
99. Sistem pemantauan gunung api harus dikaitkan dalam kerangka rencana kedaruratan (*emergency plan*) pada reaktor daya dengan menyiapkan prosedur secara rinci untuk merespons atau menanggulangi adanya anomali yang terdeteksi oleh sistem pemantauan.
100. Pemantauan gunung api harus dilakukan melalui kerjasama dengan sistem atau program pemantauan yang telah ada, misalnya dengan program nasional untuk memprediksi erupsi vulkanik dan mitigasi bencana. Kerjasama tersebut dilaksanakan dalam bentuk koordinasi, pertukaran data observasi dan konsultasi dengan pakar gunung berapi yang bekerja dalam program tersebut.

#### **Gempa bumi vulkanik**

101. Pengamatan gempa bumi menggunakan instrumentasi dalam bentuk jaringan seismograf sensitivitas tinggi merupakan metode terbaik dalam pemantauan aktivitas vulkanik. Telah diketahui secara luas bahwa aktivitas eksplosif suatu gunung api dapat dikarakterisasi oleh gempa mikro yang terjadi pada atau dekat dengan suatu struktur vulkanik. Pengamatan aktivitas seismik secara cermat diharapkan dapat meramalkan terjadinya letusan.
102. Salah satu metode terbaik untuk pemantauan aktivitas seismik suatu gunung api yaitu dilakukan dengan mengoperasikan jaringan seismograf sensitivitas tinggi yang dihubungkan secara telemetri dengan komputer yang “*on-line*” secara terus-menerus sehingga penentuan lokasi episenter dan magnitudo gempa bumi sertaparameter karakteristik lainnya dapat dilakukan secara “*real time*”.
103. Meskipun tidak ada aktivitas erupsi yang dapat dideteksi, pengamatan menggunakan jaringan seismograf temporer berguna untuk mengumpulkan informasi mengenai tingkat latar (*background level*) aktivitas seismik pada daerah

tersebut. Jaringan pengamatan aktivitas seismik suatu gunung api harus terdiri dari minimal empat seismograf. Bila diperlukan, pengamatan gempa bumi vulkanik dapat pula dilengkapi dengan mengoperasikan jaringan seismograf temporer yang berpindah-pindah untuk memperoleh cakupan yang optimum. Hasil pemantauan dianalisis untuk memperkirakan karakteristik spektral masing-masing tipe gempa bumi vulkanik, diplot pada peta dan penampang untuk memperlihatkan kemungkinan pengelompokan (*clustering*) gempa bumi secara temporal maupun spasial. Analisis tomografi 3-D (tiga dimensi) terhadap data gempa vulkanik diharapkan dapat memperkirakan struktur tubuh atau kantung magma.

### **Deformasi tanah**

104. Deformasi tanah dapat dideteksi dengan pengukuran geodetik secara berulang. Perubahan jarak horisontal dapat dipantau dengan pengukuran berulang menggunakan laser geodimeter dan *Global Positioning System* (GPS). Perubahan posisi vertikal dipantau dengan pengukuran berulang sipat datar (*levelling*) secara presisi, GPS, rambu pasang surut atau *tide gauges* (untuk daerah pantai) dan sebagainya. Perubahan kemiringan permukaan bumi yang sangat kecil diukur menggunakan *tiltmeter* sensitivitas tinggi. Alat pengukur regangan (*strain gauge*) yang ditempatkan pada lubang bor dapat mencatat perubahan medan tekanan kerak bumi (*crustal stress field*). Semua metode tersebut berguna untuk memantau deformasi tanah dan perubahan topografi gunung api yang mungkin merefleksikan gerakan magma bawah-permukaan dan fluktuasi lainnya pada aktivitas vulkanik.

### **Perubahan geomagnetisme dan geoelektrisitas**

105. Pengukuran parameter geomagnetik dan geolistrik berguna untuk memahami struktur bawah tanah, posisi tubuh magma dan sistem air bawah-permukaan serta untuk mendeteksi setiap perubahannya. Observasi distribusi ruang dan variasi terhadap waktu medan magnet bumi total, potensial diri (*Self Potential* atau SP) dan sifat ketahanan listrik atau resistivitas, dengan menggunakan berbagai metode dan instrumen yang sesuai dapat mengarah pada pemahaman yang lebih baik terhadap gerakan tubuh magma dan sumber panas lainnya.

Pemetaan anomali magnetik perlu dilakukan pada skala gunung api sebagaimana dibahas pada Bab III. Disamping itu, pengukuran terus-menerus (*continue*) medan magnet bumi total perlu dilakukan untuk mendeteksi adanya variasi temporal yang berasosiasi dengan perubahan aktivitas tubuh magma. Pengukuran dilakukan menggunakan magnetometer minimal pada dua titik yang dianggap mewakili atau sensitif terhadap aktivitas tubuh magma (salah satu titik pengukuran digunakan sebagai referensi). Pengamatan harus dilakukan secara telemetri dan terintegrasi dengan sistem pengamatan aktivitas seismik.

106. Penilaian resistivitas bawah-permukaan harus dilakukan dengan metode yang dapat menjangkau kedalaman minimal 2 km dari permukaan tanah (misalnya metode magnetotelurik atau MT). Pengukuran perlu dilakukan pada suatu lintasan representatif secara berulang atau periodik sehingga diperoleh profil 2D (dua dimensi) distribusi resistivitas bawah permukaan, yang dapat diinterpretasikan sebagai indikator lapisan kaya air, berbagai lapisan bawah-permukaan, lapisan dengan aktivitas hidrotermal dan tubuh magma.

### **Gravitasi**

107. Pengukuran anomali gravitasi pada daerah gunung api dapat memberikan informasi yang berguna tentang struktur bawah-permukaan berdasarkan distribusi sifat fisika batuan, yaitu rapat massa. Pengukuran variasi temporal gravitasi dilakukan secara teliti (*micro-gravity*) sehingga mampu mendeteksi perubahan dalam skala mikro Gal. Analisis terhadap hasil pengukuran diharapkan dapat digunakan untuk memperkirakan gerakan tubuh magma dan perubahan struktur bawah tanah.

### **Gas vulkanik**

108. Gas vulkanik yang dilepaskan dari kawah, fumarola, solfatara dan sebagainya, seperti gas dalam tanah, memberikan petunjuk yang berguna mengenai tingkat dan karakter aktivitas vulkanik. Zat-zat kimia yang perlu diperhatikan mencakup SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, F, Cl, NH<sub>3</sub>, He, Rn, Ar dan gas lainnya.
109. Pengukuran jarak jauh SO<sub>2</sub> dalam awan gas (*gas plume*) menggunakan spektrometer korelasi serta observasi visual secara terus-menerus terhadap

jumlah, warna dan sifat-sifat awan vulkanik (*volcanic plume*) yang muncul dari kawah harus dilakukan untuk memantau aktivitas vulkanik.

110. Analisa rembesan (*leachate*) dari abu dan sublimat (persenyawaan Hg) serta variasi komposisi isotopik He sebagai indikator aktivitas magmatik perlu dilakukan secara periodik.

#### **Anomali geotermal**

111. Perubahan suhu gas vulkanik yang dilepaskan dari fumarola, kawah dan solfatara serta perubahan suhu mata air dingin maupun panas, merupakan indikator adanya variasi aktivitas vulkanik. Pengukuran suhu tersebut perlu dilakukan secara periodik. Migrasi medan panas bumi dan tanah yang menguap, pola aneh pada pelelehan salju dan sebagainya harus diamati dan dicatat karena merupakan indikator yang baik akan adanya perubahan kondisi panas bumi.

#### **Mata air dingin dan panas**

112. Fluktuasi level air, perubahan komposisi kimia, suhu, analisis akustik dan fluks (aliran) danau kawah dan mata air seringkali merefleksikan variasi aktivitas vulkanik sehingga harus diukur dan diamati secara periodik.

#### **Observasi lainnya**

113. Inspeksi visual jarak jauh terhadap daerah dekat kawah harus dilakukan secara periodik, minimal dalam skala tengah-harian untuk mendeteksi gejala awal perubahan aktivitas vulkanik. Gejala awal yang dapat menunjukkan perubahan aktivitas vulkanik meliputi suara-suara aneh seperti gaduh, awan vulkanik yang muncul dari kawah, fluktuasi fumarola dan solfatara, pola pelelehan salju, keringnya sumur, mata air, danau dan tumbuhan atau vegetasi.

KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR,

ttd

SUKARMAN AMINJOYO

**ANAK LAMPIRAN I**  
**PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**NOMOR 2 TAHUN 2008**

**TENTANG**  
**EVALUASI TAPAK REAKTOR DAYA UNTUK ASPEK KEGUNUNGAPIAN**

### SKALA WAKTU GEOLOGI YANG DISEDERHANAKAN\*

Masa	Zaman	Kala	Umur (Juta tahun)
Kenozoikum	Kuarter	Holosen	0 – 0.01
		Pleistosen	0.01 – 2
	Tersier	Pliosen	2 – 5
		Miosen	5 – 24
		Oligosen	24 – 34
		Eosen	34 – 55
		Paleosen	55 – 65
Mesozoikum	Kapur		65 – 144
	Yura		144 – 206
	Trias		206 – 248
Paleozoikum	Perm		248 – 290
	Karbon		290 – 354
	Devon		354 – 417
	Silur		417 – 443
	Ordovisium		443 – 490
	Kambrium		490 – 543
Arkeozoikum	Pra-Kambrium		> 543

\* dimodifikasi berdasarkan Geological Society of America, 1999  
(<http://www.geosociety.org/science/timescale/timescl.htm>)

**ANAK LAMPIRAN II**  
**PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**NOMOR 2 TAHUN 2008**

**TENTANG**  
**EVALUASI TAPAK REAKTOR DAYA UNTUK ASPEK KEGUNUNGAPIAN**

## **KLASIFIKASI GUNUNG API UNTUK PENILAIAN KAPABILITAS**

Konsep kapabilitas (capability) suatu gunung api diperkenalkan dalam ini untuk mendefinisikan kondisi suatu sistem gunung api dan sebagai cara mengevaluasi potensinya untuk aktif kembali. Sebagaimana ditunjukkan pada Bab II, untuk menilai kapabilitas suatu gunung api atau daerah vulkanik diuraikan pada Bab IV.

Faktor utama yang terkait dengan tingkah laku episodik dari aktivitas vulkanik adalah lamanya periode aktif dan interval istirahat antara dua periode aktif berturutan. Dalam hubungan dengan hal tersebut, contoh klasifikasi spesifik gunung api menurut tingkah laku letusannya diberikan pada lampiran ini sebagai perangkat dalam mendukung penilaian kapabilitas. Tipe-tipe utama gunung api yang digunakan dalam studi ini yang diuraikan pada Bab III, dan diperlukan untuk penilaian kapabilitas seperti ditunjukkan pada Bab IV diklasifikasikan menurut kategori berikut:

### **1. SISTEM KALDERA**

Sistem kaldera kebanyakan terkait dengan busur penunjaman (subduksi), atau pada beberapa kasus yang lebih jarang, terkait dengan sistem retakan benua (continental rift) atau titik api (hot spot). Komposisi dominan hasil erupsi biasanya bersifat riolitik hingga dasitik (silisik atau kandungan silika tinggi), tetapi terdapat juga sejumlah kaldera andesitik, trasitik dan bahkan basaltik (kandungan silika menengah sampai rendah). Kaldera secara khusus dicirikan oleh penurunan atau depresi berbentuk hampir melingkar (subsirkuler) yang cukup besar ( $> 2$  km) yang dihasilkan dari hilangnya puncak kubah magma selama erupsi eksplosif yang dapat berlangsung dalam beberapa jam sampai beberapa hari. Pada beberapa kasus, hanya ada satu erupsi piroklastik paroksismal yang kemudian diikuti oleh aktivitas dalam kaldera seperti pembentukan kubah silisik. Pada kasus yang lain, injeksi periodik magma basaltik pada dasar dapur magma silisik dapat memicu erupsi piroklastik baru. Kompleks kaldera yang tersusun dari kumpulan beberapa kalderaditemukan pada puncak dapur magma yang besar berdimensi batolitik.

Kompleks kaldera yang besar dapat tetap aktif hingga jutaan tahun dan mungkin mempunyai interval istirahat ratusan ribu tahun. Episode erupsi yang baru pada kaldera mungkin melibatkan pembentukan tipe gunung api yang lain dan / atau pembentukan kaldera baru. Kaldera yang lebih muda biasanya dapat dibedakan

tempatny dari kaldera yang lebih tua. Bila tidak ada informasi lainnya, periode istirahat kaldera secara ekstrim yang ditingkatkan (increased extreme repose period) berorde ratusan ribu tahun.

## 2. GUNUNG API STRATO

Gunung api strato (strato volcano) dihasilkan dari beberapa erupsi efusif maupun eksplosif dan sering disebut pula sebagai gunung api komposit. Gunung api strato dapat terbentuk pada kerangka geodinamika yang berbeda-beda. Komposisi produk gunung api ini berkisar dari riolit hingga basalt, namun lebih sering andesitik yang lebih bersifat eksplosif. Material pembentuk kerucut gunung api strato terutama dihasilkan oleh erupsi andesitik.

Gunung api yang bersifat andesitik sampai silisik (kandungan silika menengah sampai tinggi) biasanya hanya mempunyai sebuah lubang (kawah) utama. Gunung api strato basaltik dapat menghasilkan erupsi menyamping dari retakan (fissure) atau lubang parasit. Gunung api strato biasanya mengalami tingkat aktivitas yang berbeda dengan tingkat eksplosivitas dan interval istirahat yang berbeda. Runtuhnya sebagian kerucut gunung api dan pembentukan longsor bahan rombakan merupakan proses umum baik untuk gunung api strato di daratan maupun di lautan dan dapat terjadi beberapa kali selama umur gunung api.

Gunung api strato secara individual dikenal terus aktif selama ratusan ribu tahun dan dapat mempunyai interval istirahat sepanjang ribuan tahun antara episode erupsi. Aktivitas yang baru selalu terjadi dekat dengan lubang atau kawah utama. Kadang-kadang terjadi erupsi dari samping (flank eruption) atau migrasi kawah. Satu episode erupsi pada gunung api strato umumnya selama beberapa bulan dan kadang-kadang lebih lama. Bila tidak ada informasi lainnya, periode istirahat ekstrim yang ditingkatkan dari suatu gunung api strato berorde 10.000 tahun.

Gunung api strato muda seringkali menerobos atau bersebelahan dengan gunung api strato mati yang lebih tua dan membentuk kompleks gunung api strato yang dapat aktif selama sekitar 1.000.000 tahun. Oleh karena itu penting untuk mendokumentasikan evolusi gunung berapi kompleks tersebut. Bila tidak ada informasi tambahan, periode istirahat ekstrim yang ditingkatkan dari suatu kompleks gunung api strato berorde 1.000.000 tahun.

### **3. GUNUNG API PERISAI**

Gunung api perisai (shield volcano) dihasilkan terutama dari aliran lava basaltik. Ukuran gunung api perisai berkisar mulai dari gundukan lava kecil, dengan volume hanya beberapa  $\text{km}^3$ , sampai gunung yang sangat besar (Hawaii). Gunung ini berbentuk kerucut landai ( $< 5^\circ$ ), biasanya bersama dengan efusi dari zona retakan yang dicirikan oleh jajaran kerucut scoria dan percikan (spatter), retakan serta sumur kawah akibat erupsi.

Gunung api perisai dicirikan oleh episode erupsi yang terjadi beberapa tahun hingga puluhan tahun, yang selama itu erupsi dapat terjadi sangat sering atau kurang lebih terjadi terus-menerus. Aktivitas erupsi yang lebih baru umumnya terjadi pada lubang utama, zona retakan samping, atau di mana saja pada sisi samping gunung api. Lokasi lubang aktif biasanya berubah-ubah selama suatu episode erupsi. Variasi umur (aktif) gunung api perisai sangat panjang dari tahunan sampai jutaan tahun. Karena variasi umur yang sangat panjang ini, tidak mungkin untuk memperkirakan periode istirahat gunung api perisai secara umum. Untuk gunung api perisai yang dapat ditunjukkan bersifat monogenetik (dibentuk selama satu episode erupsi), periode istirahat ekstrim yang ditingkatkan hanya selama 1.000 tahun. Untuk gunung api perisai poligenetik yang besar, periode istirahat secara ekstrim dapat mencapai 100.000 tahun, walaupun hal ini memerlukan diskusi lebih jauh karena periode istirahat untuk beberapa gunung api perisai yang besar cenderung lebih singkat.

### **4. ZONA GUNUNG API MONOGENETIK DAN REKAHAN**

Gunung api monogenetik terdiri atas cinder cone (atau sering pula disebut sebagai scoria cone), maar, kerucut tuffa (tuff cone), cincin tuffa (tuff ring) dan kubah lava, yang dihasilkan selama erupsi tunggal yang terjadi dalam beberapa hari hingga beberapa tahun, atau pada kasus yang jarang samapai puluhan tahun. Kerucut cinder kecil (kurang dari  $1 \text{ km}^3$ ) dibentuk oleh abu, bom, dan aliran lava breksiasi yang merupakan produk dari aktivitas strombolian berulang-ulang tetapi berumur pendek dengan komposisi basaltik dan basaltik-andesitik. Maar, cincin tuffa dan kerucut tuffa adalah bentuk monogenetik yang dihasilkan oleh erupsi preato-magmatik yang membentuk kawah vulkanik dengan bibir kawah rendah. Maar mempunyai dasar kawah lebih rendah dari daerah sekitarnya dan seringkali ditutupi oleh danau. Kubah lava terbentuk oleh keluarnya lava riolitik dengan viskositas tinggi (kental) yang secara

perlahan membumbung (updoming). Selain itu, pembentukan kubah lava dapat pula diawali oleh aktivitas eksplosif yang kemudian menurun sejalan dengan berkurangnya kandungan gas dan tekanan dalam magma.

Pusat-pusat aktivitas monogenetik ini biasanya terkumpul pada daerah vulkanik dengan ratusan elemen atau mungkin terdiri atas deretan linier yang mengikuti struktur tektonik. Kerucut cinder dapat juga ditemukan sepanjang zona retakan pada lereng gunung api perisai yang besar. Kelompok gunung api monogenetik pada umumnya aktif selama beberapa juta tahun dengan periode istirahat diantara pembentukan gunung api baru dari beberapa ribu sampai beberapa ratus ribu tahun. Aktivitas erupsi yang baru umumnya mencakup pembentukan suatu gunung api monogenetik baru. Bila tidak ada informasi tambahan, periode istirahat zona vulkanik secara ekstrim berorde 5.000.000 tahun.

KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR,

ttd

SUKARMAN AMINJOYO