

BAB III

LANDASAN TEORI

A. Pengertian bencana

Menurut *United National Development Program* (UNDP), bencana adalah suatu kejadian yang ekstrim dalam lingkungan alam atau manusia yang merugikan/mempengaruhi kehidupan manusia, harta benda atau aktivitas sampai pada tingkat yang menimbulkan bencana. Pengertian lain tentang bencana seperti yang tercantum pada Undang-Undang Republik Indonesia No. 24 Tahun 2007, bencana diartikan sebagai peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor non-alam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda dan dampak psikologis. Bencana dapat digolongkan menjadi tiga yaitu bencana alam, bencana non-alam dan bencana sosial (Undang-Undang 12 Republik Indonesia No. 24 Tahun 2007). Bencana alam adalah yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam, seperti yang menjadi objek dalam penelitian ini adalah bencana alam yang berupa peristiwa letusan Gunung Merapi, termasuk di lokasi penelitian yaitu Desa Kecamatan Cangkringan Kabupaten Sleman.

B. Letusan gunung berapi

Letusan gunung berapi adalah bagian dari aktivitas vulkanik yang disebut erupsi. Hampir semua kegiatan gunung api berkaitan dengan zona kegempaan aktif. Erupsi dimulai ketika pada batas lempeng bumi terjadi perubahan tekanan dan suhu yang sangat tinggi sehingga mampu melelehkan material disekitarnya, yaitu cairan pijar (magma). Magma akan mengintrusi batuan atau tanah melalui rekahan-rekahan, lalu keluar mendekati permukaan bumi (BPBD Kulon Progo, 2015).

1. Penyebab gunung meletus dan akibatnya

Gunung Berapi secara umum didefinisikan sebagai sebuah sistem saluran fluida yang terdiri atas batuan cair bersuhu tinggi yang memiliki struktur memanjang dari kedalaman lapisan atmosfer kurang lebih 10 km hingga

permukaan bumi. Gunung berapi juga memiliki kumpulan endapan material yang keluar saat terjadinya letusan. Material tersebut meliputi abu dan batuan dengan berbagai ukuran (Sari, 2015).

a. Kondisi gunung berapi

Selama masa hidupnya, gunung berapi memiliki kondisi atau keadaan yang terus berubah dari waktu ke waktu, terkadang masuk kondisi tidur yang mana suatu gunung berapi namun tidak menunjukkan aktivitas sama sekali selama puluhan hingga ratusan tahun. Namun di satu kondisi gunung akan kembali aktif dan meletus dengan dahsyat seperti yang terjadi pada gunung Sinabung, Sumatera Utara yang terakhir kali meletus pada tahun 1600an dan pada tahun 2010 kembali aktif serta akhirnya meletus pada tahun 2013 hingga sekarang aktivitas letusan-nya masih berlangsung. Sementara itu untuk letusan gunung berapi merupakan suatu aktivitas vulkanik yang sering disebut dengan istilah erupsi. Hampir semua aktivitas letusan gunung berapi selalu berkaitan dengan zona kegempaan aktif, hal ini terjadi akibat hubungan antar batas lempeng yang memiliki tekanan yang sangat tinggi dan bersuhu lebih dari 1000°C sehingga dapat melelehkan material bebatuan di sekitarnya dan menjadi Magma. Magma terkumpul di dapur magma yang terletak dibawah gunung berapi, ketika dapur magma sudah penuh, maka magma akan terdorong keluar dari gunung berapi. Magma yang sudah keluar ini disebut dengan Lava yang memiliki suhu 700 hingga 1200°C . Ketika meletus, sebuah gunung berapi dapat melontarkan berbagai material hingga puluhan kilometer jauhnya, tidak hanya itu, awan panas dan gas beracun juga kerap kali menjadi ancaman serius bagi penduduk yang bertempat tinggal tak jauh dari letusan. Letusan gunung berapi merupakan salah satu bencana alam yang banyak menimbulkan berbagai kerusakan dengan total kerugian yang besar karena menghancurkan areal pemukiman dan pertanian penduduk, belum lagi dampak lainnya seperti pencemaran udara oleh gas beracun serta

memicu penyebab banjir lahar dingin yang dapat merusak infrastruktur umum.

b. Penyebab gunung meletus.

1) Peningkatan kegempaan vulkanik

Aktivitas yang tidak biasa pada gunung berapi, seperti frekuensi gempa bumi meningkat yang mana dalam sehari bisa terjadi puluhan kali gempa tremor yang tercatat di alat Seismograf. Selain itu terjadi peningkatan aktivitas Seismik dan kejadian vulkanis lainnya hal ini disebabkan oleh pergerakan magma, hidrotermal yang berlangsung di dalam perut bumi. Jika tanda-tanda seperti diatas muncul dan terus berlangsung dalam beberapa waktu yang telah ditentukan maka status gunung berapi dapat ditingkatkan menjadi level waspada. Pada level ini harus dilakukan penyuluhan kepada masyarakat sekitar, melakukan penilaian bahaya dan potensi untuk naik ke level selanjutnya dan kembali mengecek sarana serta pelaksanaan *shift* pemantauan yang harus terus dilakukan.

2) Suhu kawah meningkat secara signifikan

Sebagai tanda bahwa magma telah naik dan mencapai lapisan kawah paling bawah sehingga secara langsung akan mempengaruhi suhu kawah secara keseluruhan. Pada gunung dengan status normal, volume magma tidak terlalu banyak terkumpul di daerah kawah sehingga menyebabkan suhu di sekitar normal. Naiknya magma tersebut bisa disebabkan oleh pergerakan tektonik pada lapisan bumi dibawah gunung seperti gerakan lempeng sehingga meningkatkan tekanan pada dapur magma dan pada akhirnya membuat magma terdorong ke atas hingga berada tepat dibawah kawah. Pada kondisi seperti ini, banyak hewan hewan di sekitar gunung bermigrasi dan terlihat gelisah. Selain itu meningkatnya suhu kawah juga membuat air tanah di sekitar gunung menjadi kering.

3) Terjadinya deformasi badan gunung

Peningkatan gelombang magnet dan listrik sehingga menyebabkan perubahan struktur lapisan batuan gunung yang dapat mempengaruhi bagian dalam seperti dapur magma yang volume-nya mengecil atau bisa juga saluran yang menghubungkan kawah dengan dapur magma menjadi tersumbat akibat deformasi batuan penyusun gunung.

4) Lempeng lempeng bumi yang saling berdesakan

Tekanan besar menekan dan mendorong permukaan bumi sehingga menimbulkan berbagai gejala tektonik, vulkanik dan meningkatkan aktivitas geologi gunung. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa lempeng merupakan bagian dari kerak bumi yang terus bergerak setiap saat, dan daerah pengunungan merupakan zona dimana kedua lempeng saling bertemu, desakan lempeng bisa juga menjadi penyebab perubahan struktur dalam gunung berapi.

5) Akibat tekanan yang sangat tinggi

Beberapa penyebab seperti yang dijelaskan pada bagian sebelumnya mendorong cairan magma untuk bergerak ke atas masuk ke saluran kawah dan keluar. Jika sepanjang perjalanan magma menyusuri saluran kawah terdapat sumbatan, bisa menimbulkan ledakan yang dikenal dengan letusan gunung berapi. Semakin besar tekanan dan volume magma-nya maka semakin kuat ledakan yang akan terjadi.

2. Dampak letusan gunung berapi

Setiap bencana alam pasti membawa dampak tersendiri yang dirasakan oleh penduduk yang berada disekitar bencana. Biasanya bencana alam identik dengan dampak negatif namun tidak demikian terjadi pada letusan gunung berapi yang justru membawa dampak positif disamping terdapat juga efek negatifnya. Berikut ini adalah dampak letusan gunung berapi baik yang positif maupun negatif :

a. Dampak negatif

Berikut adalah penjelasan mengenai dampak negatif mengenai letusan gunung berapi :

- 1) Asap dan debu yang banyak keluar saat sebelum ataupun sesudah letusan dapat menyebabkan ISPA bagi masyarakat yang tinggal didekat lokasi bencana.
- 2) Dengan meletusnya gunung berapi, maka otomatis segala aktivitas penduduk menjadi lumpuh sehingga ekonomi tidak berjalan dengan semestinya
- 3) Lava dan lahar akan merusak semua yang dilaluinya seperti hutan, sungai, lahan pertanian maupun pemukiman penduduk.
- 4) Karena lahar merusak hutan sekitar maka akan mempengaruhi ekosistem hayati wilayah tersebut.
- 5) Terjadinya pencemaran udara karena saat terjadi letusan, gunung berapi mengeluarkan debu dan gas gas beracun yang mengandung Sulfur dioksida, Hidrogen sulfida, Nitrogen dioksida.
- 6) Mengganggu parawisata yang terdapat pada titik tertentu yang mana sebelum terjadinya bencana menjadi tujuan destinasi wisata. Dengan letusan gunung berapi, beberapa lokasi wisata ditutup sehingga menghambat laju ekonomi.

b. Dampak positif

Berikut adalah penjelasan mengenai dampak positif pada letusan gunung berapi :

- 1) Saat terjadi letusan, banyak batu batu berbagai ukuran yang dimuntahkan gunung yang mana dapat dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar sebagai bahan bangunan.
- 2) Besarnya volume material vulkanik selama letusan berlangsung ternyata membawa berkah tersendiri bagi masyarakat sekitar karena memiliki profesi baru yakni sebagai penambang pasir.
- 3) Tanah tanah sekitar gunung yang terkena material letusan akan semakin subur, tentu saja hal ini sangat menguntungkan para petani dimana mereka tidak perlu mengeluarkan biaya lagi untuk membeli pupuk.

- 4) Setelah gunung meletus, biasanya muncul mata air makdani yaitu mata air yang kaya dengan kandungan mineral.
- 5) Selain itu muncul pula sumber air panas / geyser baru secara bertahap dan periodik, hal ini tentu saja dapat dimanfaatkan masyarakat untuk kesehatan kulit.
- 6) Pada wilayah yang sering terjadi letusan gunung berapi sangat potensial untuk dijadikan pembangkit listrik tenaga panas bumi yang tentu saja bernilai ekonomis.

C. Kerusakan bangunan

Kerusakan bangunan adalah tidak berfungsinya bangunan atau komponen bangunan akibat penyusutan/berakhirnya umur bangunan, atau akibat ulah manusia atau perilaku alam seperti beban fungsi yang berlebih, kebakaran, gempa bumi, atau sebab lain yang sejenis (Indryani, 2011).

1. Faktor penyebab kerusakan bangunan

Bangunan sejak awal perencanaan, pelaksanaan hingga masa pakainya berkemungkinan untuk mengalami kerusakan yang diakibatkan oleh beberapa faktor, yaitu:

a. Faktor usia bangunan

Dengan bertambahnya usia bangunan, maka bangunan akan mengalami penurunan kualitas dan kemampuannya untuk menahan beban atau pengaruh luar, bila sepanjang usia hidupnya tidak dilakukan pemeliharaan secara teratur. Dengan demikian secara singkat dapat dikatakan bahwa kerusakan bangunan tergantung pada waktu (*time dependent*). Penurunan kualitas bangunan dapat ditimbulkan oleh pengaruh gaya yang bekerja dari luar atau dari dalam komponen bangunan itu sendiri. Seperti diketahui bahwa setiap komponen bangunan akan bekerja gaya dalam (*inner force*) seperti momen, tegangan maupun regangan yang terjadi secara terus menerus sepanjang usia bangunan. Pengaruh gaya dalam tersebut dapat menimbulkan proses rangkak (*creep*). Getaran yang terjadi secara terus menerus dapat mengakibatkan kelelahan (*fatigue*) pada bahan bangunan. Pengaruh luar, baik secara fisik maupun non fisik dapat

mengurangi kualitas bangunan, yaitu gesekan atau benturan. Pengaruh gesekan yang terjadi secara terus menerus dapat mengakibatkan aus pada komponen bangunan. Pengaruh radiasi matahari dan hujan yang silih berganti dapat menyebabkan terjadinya proses dekarbonasi pada bahan bangunan, yang berakibat pada penurunan kualitas bangunan. Pengaruh gaya gempa dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen non-struktural dan struktural.

b. Faktor kondisi tanah dan air tanah

Pada umumnya seluruh bangunan berdiri langsung di atas tanah, kecuali bangunan tradisional yang dikenal dengan bangunan panggung atau rumah di atas air, dimana komponen bangunan atas bertumpu pada tiang yang tertanam di dalam tanah. Dengan demikian, tanah mempunyai pengaruh besar terhadap stabilitas bangunan. Tanah mempunyai sifat yang dapat berbeda antara satu lokasi dengan lokasi yang lainnya, dan tidak jarang pada suatu lokasi yang kecil sekalipun, perilaku tanah dapat berbeda. Perbedaan sifat tanah tersebut diakibatkan oleh mekanisme pembentukan yang kompleks dan tidak diketahui secara pasti. Untuk itu perlu dilakukan penelitian yang intensif bila ingin membangun terutama untuk bangunan permanen. Walaupun kini pengetahuan mekanika tanah sudah cukup maju dan berbagai peralatan telah dikembangkan untuk menyelidiki sifat tanah, namun masih banyak hal tentang perilaku tanah yang belum dikuasai oleh manusia, terutama oleh para ahli teknik. Apabila pemilihan pondasi bangunan tidak disesuaikan dengan kondisi tanah dimana bangunan akan didirikan, dapat mengakibatkan terjadinya penurunan pada bangunan. Penurunan bangunan dapat terjadi dalam waktu singkat atau dalam waktu yang panjang. Kondisi paling berbahaya adalah bila terjadi penurunan tidak seragam (*differential settlement*) yang mengakibatkan timbulnya tegangan ekstra pada komponen bangunan. Air tanah juga dapat merupakan permasalahan pada bangunan. Air tanah yang tinggi dapat mempengaruhi proses pelumutan atau perembesan pada komponen bangunan. Tekanan air

tanah yang tinggi juga memberikan tekanan pada dinding, terutama pada bangunan di bawah tanah (*basement*) atau daya angkat (*up-lift*) pada komponen lantai, *liquifaction*, dan *land sliding*. Ketika terjadi perubahan kadar air tanah akibat perubahan musim, tanah dengan kemampuan mengembang (*swelling*) dan menyusut (*shrinkage*) sangat tinggi dapat menimbulkan tegangan ekstra yang besar terhadap komponen bagian bawah bangunan (*Sub-structure component*) atau pada komponen lantai.

c. Faktor angin

Angin sangat dibutuhkan oleh manusia dalam kehidupan, namun angin juga dapat merupakan ancaman bagi manusia. Angin kencang sering mengakibatkan kerusakan pada bangunan. Untuk itu perlu diketahui perilaku angin di suatu daerah, dan diperhitungkan terhadap bangunan dengan bentuk tertentu atau bangunan dengan ketinggian tertentu. Angin akan dapat mengakibatkan daya hisap ataupun daya tekan pada bangunan. Selain itu, pada bangunan yang asimetris, akan dapat mengakibatkan gaya torsi (puntir). Terutama pada bangunan bertingkat tinggi, gaya yang ditimbulkan oleh angin harus diperhitungkan lebih seksama. Kondisi geografis akan sangat mempengaruhi kekuatan angin yang mungkin timbul. Indonesia sangat beruntung. Namun demikian, secara sporadis di beberapa daerah, angin kencang telah mengakibatkan kerusakan pada ribuan rumah atau bangunan, yang pada umumnya diakibatkan oleh usia bangunan yang sudah tua atau kurang sempurnanya sistem konstruksi yang digunakan.

d. Faktor gempa

Gempa sebagaimana angin adalah fenomena alam, yang akan terjadi pada tempat dan waktu tertentu dan dapat berulang pada lokasi yang sama dengan perioda ulang tertentu. Gempa terjadi akibat pergerakan kulit bumi, runtuhnya kulit bumi, benturan meteor ataupun ledakan/ledakan gunung berapi atau senjata. Gempa yang berbahaya bagi bangunan adalah gempa yang diakibatkan oleh pergerakan kulit

bumi, yang dikenal dengan gempa tektonik. Pergerakan kulit bumi biasanya terjadi secara mendadak yang diakibatkan terlepasnya enersi yang ditahan oleh kulit bumi yang saling bergesekan atau berbenturan satu dengan yang lainnya. Energi yang dilepaskan akan merambat ke segala penjuru dengan kecepatan rambat yang tergantung pada kondisi tanah. Besar kecilnya energi gempa yang melanda bangunan akan sangat tergantung pada kedalaman pusat gempa, media tanah yang dilalui, jarak dari pusat gempa terhadap bangunan, dan jenis dan kualitas bangunan. Getaran gelombang gempa yang sangat berbahaya adalah gelombang pendek, walaupun akhir-akhir ini pada beberapa peristiwa, gelombang panjang telah memberikan dampak yang cukup berbahaya, seperti yang terjadi di Kobe. Gaya Gempa diasumsikan akan bekerja mendatar pada elevasi lantai bangunan, dan biasa dikenal dengan sebutan gaya lateral.

e. Faktor kualitas bahan,

Suatu bangunan terbentuk dan tersusun dari berbagai macam dan jenis bahan, apakah bahan alami atau bahan buatan, sehingga kualitas akhir dari suatu bangunan akan sangat ditentukan oleh kualitas dari masing-masing bahan yang digunakan. Bahan bangunan alami kualitasnya akan bervariasi, tergantung pada proses pembentukan secara alami dan komposisi mineral yang dikandungnya serta dimana lokasi bahan diambil, sedang bahan bangunan buatan tergantung pada bahan dasar alami yang dipakai dan proses pembuatannya. Pemilihan kualitas bahan bangunan yang dipakai harus ditentukan berdasarkan tujuan penggunaan, yaitu apakah bangunan sementara atau bangunan permanen, atau bangunan dengan tujuan spesifik tertentu seperti tahan terhadap zat reaktif, tahan terhadap kebakaran, tahan radiasi dan lain sebagainya.

f. Faktor kualitas perencanaan,

Daya tahan suatu bangunan akan sangat ditentukan dari berbagai unsur yang mungkin mempengaruhi atau pemilihan bahan yang digunakan. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan berbagai asumsi

ataupun pendekatan yang diperlukan dalam proses penentuan beban-beban yang mungkin bekerja. Selanjutnya berdasarkan beban yang mungkin bekerja, dilakukan analisis kekuatannya dengan asumsi-asumsi mekanika struktur yang dianggap sesuai. Tidak jarang ditemukan bangunan yang mengalami kerusakan diakibatkan oleh kelalaian manusia yang kurang tepat dalam mengambil asumsi atau pendekatan yang seharusnya diperhitungkan akan mempengaruhi bangunan. Untuk itu perlu dipahami secara benar oleh para perencana bahwa karakteristik suatu wilayah, bahan bangunan yang akan dipakai dan filosofi mekanika struktur yang tepat perlu dipertimbangkan dengan matang sebelum menentukan pilihannya dalam perencanaan. Kesalahan dalam penentuan asumsi-asumsi akan mengakibatkan kerusakan bangunan, baik pada saat pelaksanaan maupun selama masa usia pakainya.

g. Faktor kesalahan pelaksanaan

Berdasarkan hasil pengamatan dan penelitian terhadap bangunan yang mengalami kerusakan, banyak diantaranya diakibatkan oleh kesalahan dalam pelaksanaan. Kesalahan ini terjadi karena para pelaku pembangunan seperti pengawas dan pelaksana tidak melaksanakan secara tepat sesuai dengan apa yang telah direncanakan dalam spesifikasi oleh perencana. Permasalahan lain adalah kemampuan pelaksana yang kurang dalam memahami teknologi yang harus digunakan dalam pelaksanaan. Dengan pesatnya ilmu pengetahuan dewasa ini, maka teknologi yang berkembang dalam dunia industri konstruksi juga berkembang secara pesat, sedangkan pada sisi yang lain peningkatan kemampuan para pelaku pembangunan tidak/belum mampu mengejar kemajuan perkembangan teknologi yang dicapai. Sebagai contoh perubahan teknologi beton dimulai dari proses perencanaan berdasarkan volume (*Absolute method*) hingga perencanaan berdasarkan berat (*Specific gravity method*) yang telah diperkenalkan di Indonesia pada tahun 1978 belum secara penuh dikuasai oleh teknisi pembangunan di tanah air.

Teknologi konstruksi prategang yang memungkinkan perencanaan bangunan dengan bentang besar dan penampang komponen yang kecil menuntut kualitas beton bermutu tinggi, memerlukan ketelitian untuk menentukan kapan gaya prategang diberikan secara pasti. Kesalahan pemberian gaya pra-tegang akan dapat memberikan pengaruh yang merugikan pada bangunan, dengan timbulnya retakan-retakan yang mengurangi kemampuannya untuk menerima beban-beban yang bekerja. Walaupun retakan itu kecil, namun dalam jangka waktu yang lama akan dapat dipengaruhi oleh faktor udara reaktif, sehingga dapat mengakibatkan terjadinya proses korosi.

h. Faktor perubahan fungsi dan bentuk bangunan

Sering kita jumpai suatu bangunan telah berubah fungsi dari fungsi awalnya, seperti bangunan perumahan menjadi bangunan pertokoan ataupun bangunan industri, ataupun bangunan yang direncanakan dua tingkat menjadi bangunan tiga tingkat. Kondisi ini diakibatkan oleh kebutuhan penghuni / pemilik bangunan. Perubahan ruang juga sering ditemukan seperti ruang rapat atau ruang kerja berubah menjadi ruang perpustakaan. Penambahan atau pembongkaran dinding juga sering ditemukan, dimana hal ini akan dapat mengubah asumsi dasar perencanaan yang telah ditetapkan semula. Perubahan ini semua akan mempengaruhi terhadap beban yang bekerja dan selanjutnya akan dapat mempengaruhi stabilitas atau usia layan bangunan.

2. Beban dan kombinasi gaya pembebanan yang bekerja pada bangunan

Kondisi alam mengakibatkan bangunan mengalami berbagai beban yang berbeda besar dan jenisnya antara satu bangunan dengan bangunan lain, serta dipengaruhi oleh lokasi dimana bangunan itu berada. Jenis beban yang bekerja pada suatu bangunan pada prinsipnya dapat dibagi sebagai berikut:

a. Beban mati

Beban mati merupakan beban yang berasal dari berat sendiri yang bersifat tetap, termasuk dinding dan sekat pemisah, kolom, balok, lantai, atap, penyelesaian, mesin dan peralatan yang merupakan

bagian yang tidak terpisahkan dari gedung, yang nilai seluruhnya adalah sedemikian rupa sehingga probabilitas untuk dilampauinya dalam kurun waktu tertentu terbatas pada suatu persentase tertentu. Pada umumnya probabilitas beban tersebut untuk dilampaui adalah dalam kurun waktu umur gedung 50 tahun dan ditetapkan dalam standar-standar pembebanan struktur gedung, dapat dianggap sebagai beban mati nominal (SNI-1726-2002).

1) Beban mati utama

Beban mati utama adalah seluruh beban yang diterima oleh bangunan dalam jangka waktu panjang, sehingga secara dominan dipengaruhi oleh gaya tarik-menarik bumi (gravitasi). Besaran beban gravitasi ditentukan oleh berat spesifik bahan bangunan yang digunakan.

2) Beban mati tambahan

Beban mati tambahan adalah beban yang diakibatkan oleh penutup lantai seperti plesteran, keramik, marmer, plafond, dan lain-lain.

b. Beban hidup

Beban hidup adalah beban yang berasal dari manusia dan berbagai barang peralatan. Beban hidup yang bekerja akibat manusia biasanya ditentukan 100 kg untuk setiap titik kumpul pada konstruksi atap, sedangkan beban bergerak pada lantai bangunan ditentukan berdasarkan volume benda yang ada pada suatu ruangan. Beban hidup ini akan berbeda pada setiap ruangan, dan ditentukan berdasarkan fungsi ruangan itu. Namun dalam perencanaan, dengan alasan penyederhanaan, besaran beban hidup ditentukan berdasarkan fungsi dominan bangunan yang dibedakan antara lain sebagai berikut :

- 1) Bangunan hunian
- 2) Bangunan sekolah
- 3) Bangunan perkantoran
- 4) Bangunan ruang pertemuan

Beban hidup nominal yang bekerja pada struktur gedung merupakan beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan gedung tersebut, baik akibat beban yang berasal dari orang maupun dari barang yang dipindahkan atau mesin dan peralatan serta komponen yang tidak merupakan bagian yang tetap dari gedung, yang nilai seluruhnya adalah rupa. Pada umumnya probabilitas beban tersebut untuk dilampaui adalah dalam kurun waktu umur gedung 50 tahun dan ditetapkan sebesar 10%. Namun demikian, beban hidup rencana yang biasa ditetapkan dalam standar pembebanan struktur gedung, dapat dianggap sebagai beban hidup nominal (SNI-1726-2002).

c. Beban angin

Beban angin adalah beban yang diakibatkan oleh pergerakan udara dalam waktu tertentu yang dibedakan menjadi angin tekan dan angin hisap. Beban angin ditentukan oleh bentuk geometris, tinggi, kemiringan atap, dan lokasi bangunan (di pantai, pegunungan). Schodek, (1999) menjelaskan struktur yang berada pada lintasan angin akan menyebabkan angin berbelok atau dapat berhenti. Hal ini mengakibatkan energi kinetik angin berubah bentuk menjadi energi potensial berupa tekanan atau hisapan pada struktur. Besar tekanan atau hisapan yang diakibatkan oleh angin bergantung pada banyak faktor. Salah satu faktor yang mempengaruhi adalah kecepatan angin.

d. Beban hujan

Beban hujan adalah massa hujan yang diperkirakan akan membebani bangunan dalam jangka waktu tertentu. Beban hujan biasanya diambil dengan asumsi setebal 10-30 mm, dimana besarnya tergantung pada kelandaian konstruksi atap dan bahan penutup atap yang digunakan.

e. Beban gempa

Beban gempa adalah beban yang diakibatkan oleh gelombang getaran tanah akibat pergerakan kulit bumi di tempat dan waktu tertentu. Beban gempa itu sendiri merupakan semua beban statik

ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Beban gempa nominal, yang nilainya ditentukan oleh 3 hal, yaitu oleh besarnya probabilitas beban itu dilampaui dalam kurun waktu tertentu, oleh tingkat daktilitas struktur yang mengalaminya dan oleh kekuatan lebih yang terkandung di dalam struktur tersebut. Menurut standar ini, peluang dilampauinya beban tersebut dalam kurun waktu umur gedung 50 tahun adalah 10 % dan gempa yang menyebabkannya disebut gempa rencana (dengan periode ulang 500 tahun), tingkat daktilitas struktur gedung dapat ditetapkan sesuai kebutuhan sedangkan faktor kuat lebih f_1 untuk struktur gedung umum nilainya adalah 1,6. Dengan demikian, beban gempa nominal adalah beban akibat pengaruh gempa rencana yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama di dalam struktur gedung, kemudian direduksi dengan faktor kuat lebih f_1 (SNI-1726-2002). Beban gempa akan bekerja pada bangunan dalam arah vertical maupun horizontal. Beban lateral gempa akan menjadi besar bila pusat gempa berada jauh dari bangunan, sedangkan beban vertikal menjadi besar bila pusat gempa berada dekat dengan yang bangunan mengalaminya. Secara makro, beban gempa yang bekerja pada bangunan ditentukan oleh kondisi geologi setempat, dimana energi gempa ditentukan oleh hal ini. Untuk Indonesia, resiko kegempaan pada bangunan dibagi menjadi 6 wilayah (*zoning*), yaitu zona 1, 2, 3, 4, 5, dan 6, dimana angka terkecil mempunyai intensitas kegempaan yang kecil. Secara mikro, kondisi tanah dimana bangunan berdiri mempengaruhi beban gempa yang bekerja, dimana tanah lunak akan memberikan yang lebih besar dibanding tanah keras.

f. Beban tekanan air dan tanah

Beban tekanan air dan tanah adalah beban yang diterima komponen bangunan terutama bangunan bawah (*sub structure*), bangunan kelautan, bangunan air, dan ruang bawah tanah. Pada daerah dengan muka air yang tinggi, beban yang bekerja pada lantai maupun

dinding sangat besar, terutama pada bagian basemen bangunan. Untuk itu, konstruksi lantai dan dinding harus cukup kuat untuk menahan beban tekanan air tanah yang bekerja.

3. Identifikasi kerusakan pada beton

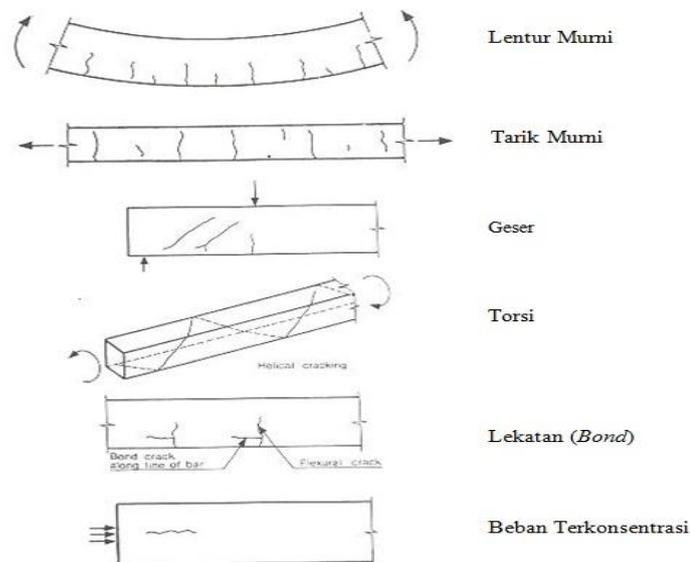
Sebelum memutuskan jenis perbaikan yang akan dilakukan pada beton yang rusak, identifikasi tipe dan penyebab kerusakan perlu diadakan terlebih dahulu. Kerusakan yang terjadi pada beton umumnya dapat dikelompokkan dalam:

a. Retak (*Cracks*)

Retak (*cracks*) adalah pecah pada beton dalam garis-garis yang relatif panjang dan sempit. Retak pada beton dapat ditimbulkan oleh berbagai hal, di antaranya adalah sebagai berikut:

- 1) Evaporasi air dalam campuran beton terjadi dengan cepat seperti pada keadaan cuaca yang panas, kering atau berangin. Retak akibat keadaan ini disebut dengan plastic cracking. Retak yang terjadi bersifat acak dan lurus, dapat bersifat dangkal atau dalam dan biasanya terkonsentrasi pada bagian tengah elemen yang datar.
- 2) *Bleeding* yang berlebihan pada beton, perataan permukaan beton pada saat air akibat bleeding masih ada pada permukaan, atau proses curing yang tidak sempurna. Retak yang terjadi bersifat dangkal dan saling berhubungan pada seluruh permukaan suatu pelat. Retak yang seperti ini biasa disebut *crazing*.
- 3) Pergerakan struktur, sambungan yang tidak baik pada pertemuan kolom atau dinding dengan balok atau pelat, atau tanah dasar yang tidak stabil. Retak yang terjadi biasanya dalam atau lebar, dapat terjadi secara tunggal atau dalam kelompok. Retak semacam ini sering disebut *random cracks*.
- 4) Reaksi antara alkali dan agregat. Retak saling berhubungan satu sama lain, mulai terbentuk sekitar sepuluh tahun atau lebih setelah pengecoran dan selanjutnya secara progresif menjadi lebih dalam dan lebih lebar Retak dapat juga terjadi karena pembebanan pada

struktur. Gambar 3.1. berikut ini akan memperlihatkan jenis-jenis retak akibat beberapa pembebanan.



Gambar 3.1 Jenis-jenis retak struktural akibat pembebanan (Winarsih, 2010).

b. *Voids*

Voids adalah lubang-lubang yang relatif dalam dan lebar pada beton. *Voids* pada beton sendiri dapat ditimbulkan oleh beberapa sebab, di antaranya sebagai berikut:

- 1) Pemasangan dengan vibrasi yang dilakukan secara tidak baik karena jarak antar bekisting atau jarak antar tulangan terlalu sempit sehingga bagian mortar dari beton tidak dapat mengisi rongga-rongga di antara agregat kasar dengan baik. *Voids* yang terjadi adalah berupa lubang-lubang yang tidak teratur yang biasanya disebut sebagai *honeycombing*.
- 2) Kebocoran pada bekisting yang menyebabkan air atau pasta semen keluar. Hal ini dapat menjadi lebih parah apabila campuran mengandung terlalu banyak air, terlalu banyak pasta semen atau agregat yang bergradasi tidak baik. Keadaan seperti ini biasa disebut sebagai *sand streaking*.

c. *Scaling/spalling*

Scaling/spalling adalah kelupasan dangkal pada permukaan. *Scaling/spalling* ini dapat ditimbulkan oleh beberapa sebab, di antaranya:

- 1) Eksposisi yang berulang-ulang terhadap pembekuan dan pencairan sehingga permukaan terkelupas. Keadaan ini biasa disebut sebagai *scaling*.
- 2) Beban lalu-lintas atau melekatnya material pada permukaan bekisting sehingga permukaan beton terlepas dalam kepingan atau bongkah kecil. Keadaan ini biasanya disebut sebagai *spalling*.
- 3) Erosi secara gradual pada permukaan beton dimana partikel-partikel sehalus debu yang dapat terdiri dari semen yang sangat halus atau agregat yang sangat halus terlepas karena adanya abrasi misalnya pada saat lantai disapu. Erosi seperti ini sering disebut sebagai *dusting*.
- 4) Ekspansi agregat yang porous segera setelah pengecoran sampai satu tahun atau lebih sesudahnya tergantung dari permeabilitas beton dan ketidak stabilan volume agregat yang dipergunakan. Hal ini menimbulkan rongga pada beton yang disebut sebagai *popouts*. *Popouts* juga dapat disebabkan oleh adanya material organik di dalam campuran, kontaminasi yang reaktif atau korosi pada tulangan.

d. Defleksi

Defleksi terjadi pada perletakan, pondasi, kolom, *slab* dan dinding yang secara visual terlihat sebagai lengkungan, lenturan atau perubahan bentuk. Defleksi terjadi karena *overload*, pengaruh korosi, ketidakcukupan pada konstruksi awal, beban gempa dan susut. Defleksi dengan pembentukan tegangan internal di dalam beton, menyebabkan *spalling* pada permukaan beton.

e. Noda

Noda yang timbul pada permukaan beton mengindikasikan adanya masalah seperti korosi atau reaksi kima yang merusak. Korosi yang terjadi pada tulangan melibatkan noda karat. Noda karena reaksi alkali-agregat biasanya terlihat sebagai bercak berwarna putih berpendar. Noda karena lembab biasanya menimbulkan beragam warna.

f. Erosi

Perubahan suhu pada permukaan beton akibat cuaca atau aksi mekanis dapat menyebabkan hilangnya lapisan atas beton akibat kembang susut berulang kali. Penyebab lain diantaranya adalah:

- 1) Disintegrasi beton pada titik-titik dimana terdapat aliran air turbulen akibat pecahnya gelembung-gelembung pada air. Erosi seperti ini sering disebut sebagai *water cavitation*.
- 2) Erosi oleh air dimana abrasi oleh benda-benda padat yang tersuspensi dalam air terhadap permukaan beton mengakibatkan disintegrasi beton sepanjang alur aliran air.

g. Korosi

Tulangan yang ditempatkan terlalu dekat dengan permukaan beton atau yang terekspose karena spalling, erosi atau retak dapat mengalami korosi. Oksidasi pada baja karena adanya kelembaban yang memicu terjadinya karat. Lingkungan yang agresif seperti air laut akan semakin menambah memperparah kerusakan akibat korosi. Hilangnya permukaan lekat antara baja dan beton akibat korosi menyebabkan menurunnya kekuatan beton.

D. Panduan peraturan pemeriksaan oleh *World Seismic Safety Initiative* (Boen, 2007)

Menurut Boen, 2007 dalam jurnalnya yang berjudul “Kajian Cara Cepat Keamanan Bangunan Tembok Sederhana Satu atau Dua Lantai yang Rusak akibat Gempa dan Kajian Risiko Komponen Non-Struktur (Komponen Operasional dan Fungsional) menjelaskan tentang tingkat kerusakan bangunan dibagi menjadi 4 bagian yaitu:

T : Tidak ada kerusakan berarti

R : Ringan (kerusakan komponen struktur hanya memerlukan perbaikan kosmetik dan komponen non-struktur perlu dipulihkan)

S : Sedang (kerusakan struktur dapat diperbaiki)

B : Berat (kerusakan sedemikian luasnya sehingga kalau akan diperbaiki, banyak yang harus dibongkar dan diganti)

Keterangan tingkat kerusakan pemeriksaan bangunan:

- a. Retak rambut pada beton (kurang dari 0.2 mm) atau retak tidak terlihat mengindikasikan kerusakan yang tidak berarti.
- b. Umumnya, retak pada komponen beton dengan lebar sampai dengan 2 mm tidak dianggap sebagai sesuatu yang berbahaya (dan mengindikasikan kerusakan yang ringan).
- c. Retak pada komponen beton dengan lebar sampai dengan 5 mm mengindikasikan kerusakan yang sedang.
- d. Retak dalam komponen beton dengan lebar lebih besar dari 5 mm mengindikasikan kerusakan yang berat (dengan pengurangan kekuatan yang berarti).
- e. Tertekuknya tulangan pada komponen beton mengindikasikan terjadinya kerusakan yang berat, dengan tidak memperhatikan lebar retak beton.
- f. Retak-retak atau robohnya partisi tidak menyatakan kerusakan struktur yang berarti.

Dengan nilai tingkat kerusakan komponen kesetaraannya bisa di bandingkan dengan nilai T (Tidak) Tidak ada kerusakan : 100, R (Ringan) Kerusakan sedikit: 80, S (Sedang) Kerusakan sedang: 60, B (Berat) Kerusakan banyak : 40,

1. Komponen vertikal

Komponen vertikal menjelaskan tentang perhitungan kerusakan bangunan struktur yang berdiri secara vertikal seperti, kolom, sambungan balok-kolom, dinding retak diagonal, dinding retak dibatas kolom dan dinding, dinding roboh, dinding partisi. dalam perhitungan kerusakan tersebut didapat rumus:

- a. Tidak ada kerusakan (T: 100)

$$\text{Nilai (jumlah} \times 100) = (b) \times 100 \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan:

(b) : Jumlah komponen yang ada

100 : Nilai perbandingan tingkat kerusakan

- b. Kerusakan sedikit/ ringan (R: 80)

$$\text{Nilai (jumlah} \times 80) = (d) \times 80 \dots\dots\dots(3.2)$$

Ketetangan:

(d) : Jumlah komponen yang ada

80 : Nilai perbandingan tingkat kerusakan

c. Kerusakan sedang (S: 60)

$$\text{Nilai (jumlah} \times 60) = (f) \times 60 \dots\dots\dots(3.3)$$

Ketetangan:

(f) : Jumlah komponen yang ada

60 : Nilai perbandingan tingkat kerusakan

d. Kerusakan berat (B: 40)

$$\text{Nilai (jumlah} \times 40) = (h) \times 40 \dots\dots\dots(3.4)$$

Ketetangan:

(h) : Jumlah komponen yang ada

40 : Nilai perbandingan tingkat kerusakan

e. Jumlah total (T,R,S,B)

$$\text{Jumlah total : (b)+(d)+(f)+(h) \dots\dots\dots(3.5)}$$

f. Nilai total (T,R,S,B)

$$\text{Nilai total : (c)+(e)+(g)+(i) \dots\dots\dots(3.6)}$$

g. Nilai rata-rata

$$\text{Nilai rata-rata : } \frac{k}{j} \dots\dots\dots(3.7)$$

Tingkat kerentanan komponen vertikal masuk dalam perhitungan risiko bahaya bencana gempa bumi, tingkat kerentanan risiko dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Risiko} = (\text{Total nilai rata-rata} / N) \dots\dots(3.8)$$

Keterangan :

N = didapat jika tidak ada dinding roboh da dinding partisi maka N= 4, jika ada dinding partisi, tapi tidak rusak, N= 6, jika semua komponen vertikal ada, maka N= 6.

Nilai = T: 100, R: 80-100, S: 60-79, B: < 60

Tabel 3.1 Formulir pemeriksaan komponen vertikal (Boen, 2007)

Keterangan komponen (a)	T (100)		R (80)		S (60)		B (40)		Jumlah total (T,R,S,B) (j) =(b)+(d)+(f)+(h)	Nilai Total (T,R,S,B) (k) =(c)+(e)+(g)+(i)	Nilai Rata-rata (l) $\frac{(k)}{(j)}$
	Jml (b)	Nilai (Jml*100) (c) =(b)×100	Jml (d)	Nilai (Jml*80) (e) =(d)×80	Jml (f)	Nilai (Jml*60) (g) =(f)×60	Jml (h)	Nilai (Jml*40) (i) =(h)×40			
Kolom											
Sambungan balok kolom											
Dinding retak diagonal											
Dinding retak dibatas kolom dan dinding											
Dinding roboh (sebagian='S', seluruh='B')											
Dinding partisi											

2. Komponen horizontal

Komponen horizontal menjelaskan tentang kerusakan komponen struktur horizontal seperti balok, pelat dan rangka atap, dalam perhitungan komponen kerusakan secara horizontal adalah sebagai berikut:

a. Tidak ada kerusakan (T: 100)

$$\text{Nilai (jumlah} \times 100) = (b) \times 100 \dots\dots\dots(3.9)$$

Keterangan:

(b) : Jumlah komponen yang ada

100 : Nilai perbandingan tingkat kerusakan

b. Kerusakan sedikit/ ringan (R: 80)

$$\text{Nilai (jumlah} \times 80) = (d) \times 80 \dots\dots\dots(3.10)$$

Keterangan:

(d) : Jumlah komponen yang ada

80 : Nilai perbandingan tingkat kerusakan

c. Kerusakan sedang (S: 60)

$$\text{Nilai (jumlah} \times 60) = (f) \times 60 \dots\dots\dots(3.11)$$

Keterangan:

(f) : Jumlah komponen yang ada

60 : Nilai perbandingan tingkat kerusakan

d. Kerusakan berat (B: 40)

$$\text{Nilai (jumlah} \times 40) = (h) \times 40 \dots\dots\dots(3.12)$$

Keterangan:

(h) : Jumlah komponen yang ada

E. FEMA 154 Rapid Visual Screening (RVS)

Menurut FEMA 154, (2002) mengertikan *Rapid Visual Screening (RVS)* adalah metode identifikasi suatu bangunan secara cepat tanpa harus menganalisa bangunan dengan menggunakan *software*. Untuk mengidentifikasi tingkat risiko suatu bangunan terhadap ancaman gempa bumi, bisa dilakukan *Rapid Visual Screening (RVS)* pada permulaannya. Kemudian hasil dari RVS bisa menentukan apakah gedung yang di evaluasi tersebut beresiko atau tidak. Namun, RVS hanya dirancang untuk dilakukan dari luar bangunan, pemeriksaan bagian dalam tidak selalu mungkin, rincian yang berbahaya tidak akan selalu terlihat, dan seismik bangunan yang berbahaya tidak dapat diidentifikasi. Evaluasi Gedung terhadap risiko gempa dapat dilakukan dengan 2 tahap:

- a. *Rapid Visual Screening (FEMA 154)*. Apabila nilai yang didapat adalah lebih dari 2, maka gedung dinyatakan aman/tidak beresiko dan tidak perlu dilakukan cek lebih lanjut terhadap resiko gempa
- b. Apabila *Rapid Visual Screening (FEMA 154)*, ternyata menunjukkan $score \leq 2$, maka bangunan dinyatakan beresiko dan perlu dilakukan Evaluasi lebih rinci (FEMA 310, FEMA 356).

Kerusakan bangunan berdasarkan FEMA 154 terdiri dari beberapa penilaian dasar, seperti verifikasi dan memperbarui informasi indentifikasi bangunan, sketsa bangunan dan elevasi, menentukan tipe tanah tempat bangunan berdiri, menentukan dan dokumentasi pengguna bangunan, indentifikasi potensi bahaya bangunan, indentifikasi *Lateral-Load-Resisting System* dan dokumentasi mengenai nilai dasar struktural yang berhubungan (FEMA 154, 2002). Dalam mengetahui kerentanan pada bangunan harus dilakukan evaluasi dalam suatu gedung atau bangunan, salah satu yang direkomendasikan dalam melakukan evaluasi kerentanan bangunan adalah dengan metode dari FEMA 154. Hasil yang didapat dari evaluasi akan menjadi pedoman selanjutnya untuk mengetahui seberapa bahayanya kerentanan bangunan terhadap bencana gempa bumi, jika hasil evaluasi aman maka tidak perlu dilanjutkan penanganan selanjutnya, jika dari hasil evaluasi menunjukkan bahwa bangunan rentan terhadap gempa maka akan dilakukan tindakan evaluasi berikutnya yaitu dengan cara *retrofitting*, *bracing* dan

bahkan diruntuhkan, langkah yang harus dilakukan yaitu dengan menggunakan metode dari FEMA 172, FEMA 310 dan FEMA 356.

Adapun beberapa komponen yang akan menjadi bahan evaluasi pada FEMA 154 adalah sebagai berikut :

1. Seismisitas Lokasi

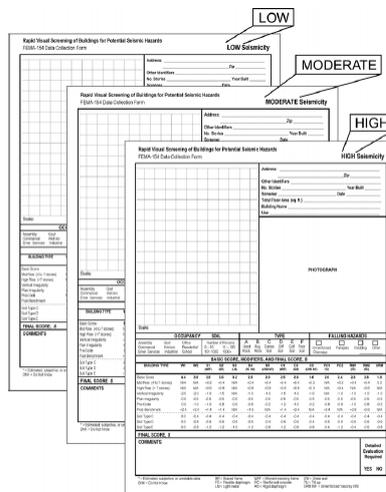
Seismicity Region terbagi menjadi tiga, yaitu *Low*, *Medium*, dan *High*. Untuk menentukannya, diperlukan nilai *Spectral Acceleration* lokasi pada periode 0.2 dan 1 detik. Untuk wilayah Indonesia terdapat data SA periode 0.2 dan 1 detik pada SNI 03-1726-2002, atau bisa dibuat spektrum respon dari data PGA (*Peak Ground Acceleration*). Nilai SA 0,2 dan SA 1 detik tersebut dapat dilihat dari peta SNI 176 - 2012 dan tentukan nilai kemudian dikalikan 2/3, dan hasilnya diplot ke tabel berikut:

Tabel 3.4 *Regions of Seismicity with Corresponding Spectral Acceleration Response (FEMA 310).*

Region of Seismicity	Spectral Acceleration Response, SA (shortperiod, or 0.2 sec)	Spectral Acceleration Response, SA (longperiod or 1.0 sec)
<i>Low</i>	<i>less than 0.167 g (in horizontal direction)</i>	<i>less than 0.067 g (in horizontal direction)</i>
<i>Moderate</i>	<i>greater than or equal to 0.167 g but less than 0.500 g (in horizontal direction)</i>	<i>greater than or equal to 0.067 g but less than 0.200 g (in horizontal direction)</i>
<i>High</i>	<i>greater than or equal to 0.500 g (in horizontal direction)</i>	<i>greater than or equal to 0.200 g (in horizontal direction)</i>

Notes: g = acceleration of gravity

Selanjutnya bisa dipilih formulir evaluasi sesuai *seismicity region*.



Gambar 3.2 Contoh RVS Data Collection Form (FEMA 154).

2. Jumlah Populasi

Jumlah populasi diperlukan untuk menentukan *Occupancy Soil*, yang nilainya akan disesuaikan dengan jenis/fungsi bangunan.

- a. Bangunan umum, *Occupancy load* sebesar 10 sq.ft/orang,
- b. bangunan komersial, *Occupancy load* 50-200 sq.ft/orang,
- c. bangunan pelayanan darurat, *Occupancy load* 100 sq.ft/orang,
- d. bangunan pemerintah, *Occupancy load* 100-200 sq.ft/orang,
- e. bangunan bersejarah, tergantung jenis bangunan disekitarnya
- f. bangunan Industri, *Occupancy load* 200 sq.ft / orang, kecuali *warehouse* 500.sq.ft/orang.
- g. bangunan perkantoran *Occupancy load* 100-200 sq.ft/orang
- h. bangunan permukiman *Occupancy load* 100-300 sq.ft/orang
- i. bangunan sekolah *Occupancy load* 50-100 sq.ft/orang.

3. Jenis/tipe tanah

Parameter jenis atau tipe tanah dalam formulir RVS terdapat 6 tipe jenis atau tipe yaitu antara lain sebagai berikut:

- a. A-Tanah keras (*Hard Rock*), kecepatan rambatan gelombang geser $v_s > 5000$ ft/sec
- b. B-Bebatuan (*Average Rock*), nilai v_s antara 2500 sampai 5000 ft/sec
- c. C-Tanah padat (*Dense Soil*), nilai v_s antara 1200 sampai 2500 ft/sec, atau standar jumlah pukulan $N > 50$, atau kekuatan geser undrained $s_u > 2000$ psf
- d. D-Tanah kaku (*Stiff Soil*), nilai v_s antara 600 sampai 1200 ft/sec, atau standar perhitungan pukulan N antara 15 dan 50, atau kekuatan geser undrained, s_u antara 1000 sampai 2000 psf
- e. E-Tanah lunak (*Soft Soil*), lebih dari 100 ft dari tanah lunak dengan indeks plastisitas $PI > 20$, kadar air $w > 40\%$, dan $s_u < 500$ psf; atau tanah dengan $v_s \leq 600$ ft/sec
- f. F-Tanah jelek (*Poor Soil*).

Untuk mengetahui tipe tanah ini diperlukan data penyelidikan tanah seperti SPT atau CPT. Tetapi jika data penyelidikan tanah sulit

didapatkan maka bisa diambil asumsi tipe tanah E, sedangkan jika untuk bangunan 1-2 lantai atau ketinggian dari tanah ke atap kurang dari 25 ft, bisa diambil asumsi tipe tanah D.

4. Elemen struktural yang berbahaya jatuh (*falling Hazard*)

Falling Hazard bisa berupa cerobong asap, dinding-dinding pembatas yang mudah jatuh, hiasan-hiasan yang berat dan terletak di atas, dan sebagainya.

5. Jenis/tipe Bangunan

Ada 15 tipe bangunan:

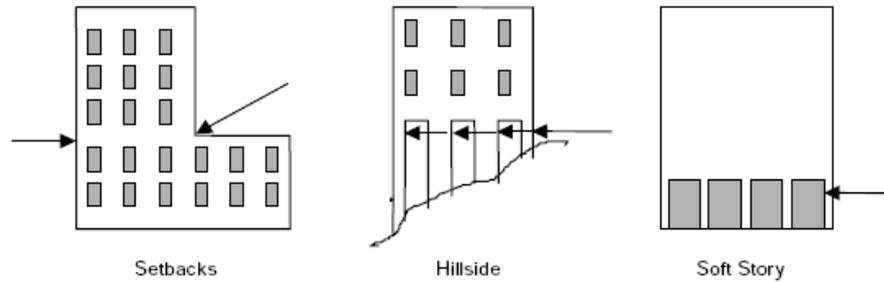
- a. *Light wood-frame residential and commercial buildings smaller than or equal to 5,000 square feet (W1)*
- b. *Light wood-frame buildings larger than 5,000 square feet (W2)*
- c. *Steel moment-resisting frame buildings (S1)*
- d. *Braced steel frame buildings (S2)*
- e. *Light metal buildings (S3)*
- f. *Steel frame buildings with cast-in-place concrete shear walls (S4)*
- g. *Steel frame buildings with unreinforced masonry infill walls (S5)*
- h. *Concrete moment-resisting frame buildings (C1)*
- i. *Concrete shear-wall buildings (C2)*
- j. *Concrete frame buildings with unreinforced masonry infill walls (C3)*
- k. *Tilt-up buildings (PC1)*
- l. *Precast concrete frame buildings (PC2)*
- m. *Reinforced masonry buildings with flexible floor and roof diaphragms (RM1)*
- n. *Reinforced masonry buildings with rigid floor and roof diaphragms (RM2)*
- o. *Unreinforced masonry bearing-wall buildings (URM)*

6. Jumlah Lantai

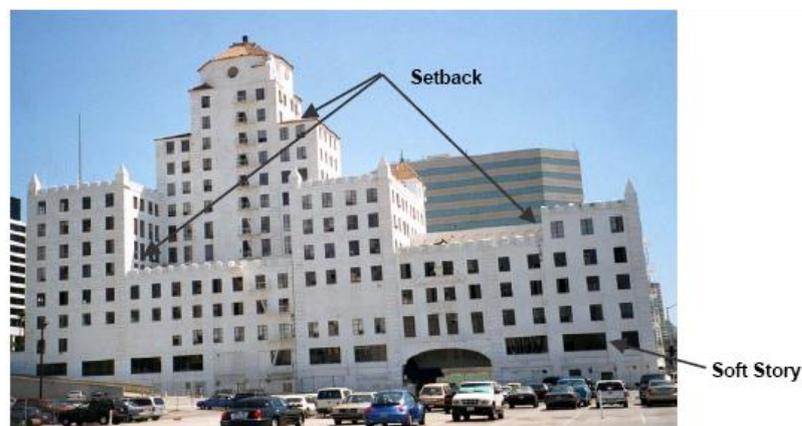
Jumlah lantai diukur dari bagian bangunan paling bawah yang menyentuh tanah hingga atap.

7. Vertical Irregularity

Vertical Irregularity adalah kenampakan secara vertikal yang tidak reguler, seperti adanya *setbacks*, *Hillside* dan *soft story*.



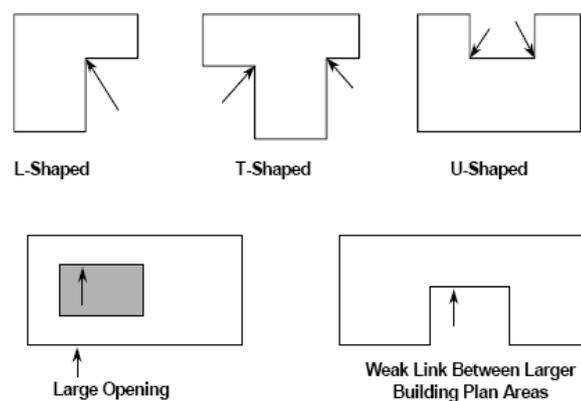
Gambar 3.3 Elevation views showing vertical irregularities, with arrows indicating locations of particular concern (FEMA 154).



Gambar 3.4 Contoh *Etbacks* (see Figure 3-14) and a soft first story (FEMA 154).

8. Plan Irregularity

Plan Irregularity yaitu bentuk denah yang tidak reguler (tidak simetris seperti gambar berikut:



Gambar 3.5 Plan views of various building configurations showing plan irregularities; arrows indicate possible areas of damage (FEMA 154).

9. Peraturan/code yang digunakan saat membangun.

Peraturan/code bisa diketahui dengan melihat tahun bangunan itu didirikan. Untuk code yang berlaku di Indonesia, disebut *Pre-code* apabila dibangun sebelum tahun 1971 (PBI 1971), dan disebut *Post-Benchmark* apabila dibangun setelah tahun 1992 (SNI 1992).

Dari beberapa kriteria di atas, dapat ditentukan *score* bangunan tersebut, dengan jalan melingkari *score* pada *Building Type* yang cocok dengan bangunan yang dievaluasi. Kemudian seluruh *score* tersebut dijumlahkan dan diperoleh *Final Score* (S). Apabila $S \leq 2$ maka bangunan dinyatakan beresiko terhadap ancaman gempa, dan perlu dilakukan evaluasi lebih detail.

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards
FEMA-154 Data Collection Form **Example 3** **HIGH Seismicity**

Address: 5020 Ebony Drive
Anyplace Zip 91011

Other Identifiers
No. Stories: 22 Year Built: 1996
Screener: A. Jones/D. Taylor Date: 2/28/01
Total Floor Area (sq. ft.): 712,800
Building Name: _____
Use: Residential and Commercial

Section of Plan View

Scale: _____

OCCUPANCY		SOIL		TYPE						FALLING HAZARDS					
<input type="checkbox"/> Assembly	<input type="checkbox"/> Govt	<input type="checkbox"/> S1	Number of Persons:	A	B	C	D	E	F	<input type="checkbox"/> Unreinforced	<input type="checkbox"/> Parapets	<input type="checkbox"/> Cladding	<input type="checkbox"/> Other		
<input checked="" type="checkbox"/> Commercial	<input type="checkbox"/> Historic	<input checked="" type="checkbox"/> S2	0-10	Hard	Arg.	Dense	Stiff	Soft	Poor	Chimneys					
<input type="checkbox"/> Other Services	<input type="checkbox"/> Industrial	<input type="checkbox"/> S3	101-1000	Rock	Rock	Soil	Soil	Soil	Soil						
<input type="checkbox"/> Schools	<input checked="" type="checkbox"/> Residential	<input type="checkbox"/> S4	1000+												
BASIC SCORE, MODIFIERS, AND FINAL SCORE, S															
BUILDING TYPE	W1	W2	S1 (MRF)	S2 (MRF)	S3 (EM)	S4 (RC SW)	S5 (MRF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (MRF)	PC1 (TU)	PC2 (TU)	RN1 (PE)	RN2 (PE)	URM
Basic Score	4.4	3.8	2.8	3.0	3.2	2.8	2.0	2.8	1.8	2.4	2.4	2.4	2.8	2.8	1.8
Mid Rise (4 to 7 stories)	N/A	N/A	+0.2	+0.4	N/A	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.2	N/A	+0.2	-0.4	-0.4	0.0
High Rise (> 7 stories)	N/A	N/A	+0.8	+0.8	N/A	-0.8	+0.8	+0.8	+0.8	N/A	+0.4	N/A	+0.8	N/A	0.0
Vertical Irregularity	-2.5	-2.0	-1.0	-1.5	N/A	-1.0	-1.0	-1.5	-1.0	-1.0	N/A	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
Plan Irregularity	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
Pre-Code	0.0	-1.0	-1.0	-0.8	-0.6	-0.8	-0.2	-1.2	-1.0	-0.2	-0.8	-0.8	-1.0	-0.8	-0.2
Post-Benchmark	+2.4	+2.4	+1.2	+1.4	N/A	+1.6	N/A	+1.4	+2.4	N/A	+2.4	N/A	+2.8	+2.8	N/A
Soil Type C	0.0	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
Soil Type D	0.0	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
Soil Type E	0.0	-0.8	-1.2	-1.2	-1.0	-1.2	-0.8	-1.2	-0.8	-0.8	-0.4	-1.2	-0.4	-0.8	-0.8
FINAL SCORE, S	3.6			3.3											
COMMENTS Screeners could not determine if building type was C1 or S1; hence both types were scored, with similar results.														Detailed Evaluation Required	
														YES <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	

* = Estimated, subjective, or unreliable data
DNK = Do Not Know
BR = Braced frame
FD = Flexible diaphragm
LM = Light metal
MRF = Moment-resisting frame
RC = Reinforced concrete
RD = Rigid diaphragm
SW = Shear wall
TU = Tall up
URM = Unreinforced masonry infill

Gambar 3.6 Contoh RVS Data Collection Form (high seismicity) (FEMA 154).

F. Tatacara Perbaikan Kerusakan Bangunan Perumahan Rakyat Akibat Gempa Bumi (Pekerjaan Umum, 2000)

Secara umum bangunan gedung terdiri dari tiga komponen utama, yaitu; komponen non-struktur, komponen struktur dan komponen arsitektur. Kerusakan pada struktur bangunan disebabkan berbagai faktor. Kondisi tanah, misalnya, sangat mempengaruhi kerusakan pada bangunan. Karakteristik guncangan gempa akan dipengaruhi oleh jenis lapisan tanah yang mendukung bangunan. Faktor lain penyebab kerusakan struktur bangunan adalah kualitas bahan dan cara pengerjaan konstruksinya, kerusakan bangunan juga bisa disebabkan oleh faktor alam yaitu seperti bencana gempa bumi, tsunami tanah longsor, tanah bergerak dan lain sebagainya. Kerusakan bangunan juga terjadi akibat hal lain misalnya terjadi kebakaran bangunan dan kerusakan yang diakibatkan oleh banjir.

Tabel 3.5 Jenis kerusakan bangunan (Hamdi, 2014)

Skala	Jenis Kerusakan	Kerusakan yang terjadi	Tindakan yang dianjurkan
0	Tidak rusak	Tidak ada yang rusak	Tidak memerlukan tindakan
I	Non-Struktur rusak ringan	Dinding retak halus, terdapat kerusakan diplesteran dinding	Bangunan tidak perlu dikosongkan, hanya perlu perbaikan di beberapa kerusakan yang terjadi
II	Struktur rusak ringan	Dinding retak kecil, plesteran rusak, plafon dan lisplank rusak, kemampuan struktur untuk memikul beban sedikit berkurang.	Bangunan tidak perlu dikosongkan, perlu tindakan perbaikan struktur yang rusak.
III	Struktur rusak ringan	Dinding rusak besar dan meluas, retakan juga terjadi didinding pemikul beban, kolom dan balok, kemampuan struktur untuk memikul beban berkurang.	Bangunan harus dikosongkan, perlu tindakan perbaikan dan penguatan struktur sebelum dihuni kembali.
IV	Struktur rusak berat	Dinding pemikul beban terbelah dan runtuh, kegagalan unsur-unsur pengikat berakibat pada terpisahnya komponen struktur untuk memikul beban berkurang	Bangunan harus dikosongkan dan perlu penguatan struktur bangunan sebelum dihuni.
V	Runtuh	Sebagian atau seluruh bangunan runtuh	Bersihkan lokasi dan perlu dibangun kembali.

Tabel 3.6 Komponen standar penilaian tingkat kerusakan gedung sekolah (Hamdi, 2014).

NO	KOMPONEN	SUB KOMPONEN	BOBOT SUB KOMPONEN		TINGKAT KERUSAKAN	
			RELATIF (%)	Maks (%)	BOBOT (%)	NILAI(%)
1	Atap	a. Penutup atap	10,56	100		
		b. Talang+Lisplang	2,06	100		
		c. Rangka atap	11,64	100		
	BOBOT KOMPONEN (%)=		2424			
2	Plafon	a. Rangka plafon	4,67	100		
		b. Penutup plafon	5,06	100		
		c. Cat plafon	1,41	100		
	BOBOT KOMPONEN (%)=		11,14			
3	Dinding	a. Kolom+ring balk	9,66	100		
		b. Pasangan bata	13,68	100		
		c. Cat dinding	1,65	100		
	BOBOT KOMPONEN (%)=		24,99			
4	Pintu-Jendela	a. Kusen	2,70	100		
		b. Daun pintu	2,47	100		
		c. Daun jendela	5,15	100		
	BOBOT KOMPONEN (%)=		10,32			
5	Lantai	a. Penutup lantai	8,98	100		
		b. Struktur bawah lantai	2,89	100		
	BOBOT KOMPONEN (%)=		11,87			
6	Pondasi	a. Sloof	3,30	100		
		b. Pondasi	11,15	100		
	BOBOT KOMPONEN (%)=		14,45			
7	Utilitas	a. Instalasi listrik	1,79	100		
		b. Instalasi air	1,22	100		
	BOBOT KOMPONEN (%)=		3,01			
TOTAL BOBOT (%)=			100			

G. Panduan Teknis Rehabilitasi Sekolah Aman (BNPB, 2011)

Berdasarkan rekomendasi dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), dilakukan penilaian resiko bencana untuk menentukan Kabupaten/Kota rawan bencana bagi bangunan sekolah untuk mendapatkan prioritas bagi rehabilitasi bangunan sekolah untuk menciptakan sekolah aman. Daerah yang ditentukan sebagai lokasi prioritas untuk sekolah aman khususnya untuk perbaikan sekolah dipertimbangkan dari beberapa variabel, yaitu : Daerah resiko bencana akibat Gempa Bumi (*earthquake risk*), Gunung Api (*volcano risk*) dan Tsunami (*tsunami risk*) yang sudah ada dalam

Rencana Nasional Penanggulangan Bencana (RENAS PB) dan Rencana Aksi Nasional Pengurangan Resiko Bencana (RAN PRB), dan kondisi terkait dengan aspek pendidikan terutama jumlah kerusakan sekolah, jumlah penduduk sekolah dan *indeks* melek huruf.

Kombinasi antara data resiko (yang dianggap sebagai variabel penyebab) dan kerentanan sekolah (dari data kondisi kependidikan) dipakai sebagai acuan penentuan daerah prioritas untuk diambil datanya lebih lengkap. Dalam hal ini prosesnya dilakukan berbasis peta (spasial) dengan menggunakan sarana Sistem Informasi Geografis (SIG). Hasil analisa tumpang tindih (*overlay*) dengan SIG memberikan daftar 60 Kabupaten/Kota prioritas dengan peringkat resiko tertinggi, ditambah 10 Kabupaten/Kota yang pernah terkena bencana sebelumnya dan di rekomendasikan untuk mendapat prioritas rehabilitasi menuju sekolah aman.

Untuk sekolah-sekolah penerima DAK Pendidikan 2011 yang berlokasi di kabupaten/kota terlampir, diberikan prioritas alokasi untuk melakukan rehabilitasi bangunan sekolah, dengan syarat pelaksanaannya mempertimbangkan faktor kerentanan bangunan serta mengikuti standar teknis mitigasi bencana sebagaimana diuraikan dalam panduan ini.