

masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor nonalam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis (Undang-Undang Republik Indonesia, 2007).

Menurut *United Nation Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR)* definisi bencana adalah gangguan serius terhadap fungsi komunitas atau masyarakat pada skala apapun karena peristiwa berbahaya yang berinteraksi dengan kondisi paparan, kerentanan, dan kapasitas, yang menyebabkan satu atau lebih hal berikut: kerugian dan dampak manusia, material, ekonomi dan lingkungan (United Nation Office for Disaster Risk Reduction, 2000). Sedangkan menurut *United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR)* definisi bencana adalah gangguan serius pada fungsi suatu komunitas atau masyarakat yang menyebabkan kerugian manusia, material, ekonomi atau lingkungan dan dampak yang melebihi kemampuan komunitas atau suatu masyarakat yang terkena dampak untuk mengatasinya menggunakan sumber dayanya sendiri (United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2009).

2.2.2 Faktor Penyebab Bencana

Pada umumnya bencana dapat terjadi karena adanya hubungan antara ancaman (*hazard*) dan kerentanan (*vulnerability*). Ancaman bencana (*hazard*) menurut *United Nation Disaster Risk Reduction (UNDRR)* suatu proses, fenomena atau aktivitas manusia yang dapat menyebabkan hilangnya nyawa, cedera, atau dampak kesehatan lainnya, kerusakan harta benda, gangguan sosial dan ekonomi atau degradasi lingkungan (United Nation Office for Disaster Risk Reduction, 2000). Sedangkan kerentanan (*vulnerability*) menurut *United Nation Disaster Risk Reduction (UNDRR)* adalah kondisi yang ditentukan oleh faktor fisik, sosial, ekonomi dan lingkungan yang meningkatkan kerentanan individu, komunitas, aset atau sistem terhadap dampak bahaya (United Nation Office for Disaster Risk Reduction, 2000).

2.2.3 Jenis-Jenis Bencana

Menurut Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007, bencana terbagi kedalam 3 jenis (Undang-Undang Republik Indonesia, 2007), yakni:

1. Bencana Alam
2. Bencana Non Alam
3. Bencana Sosial

2.3 Tinjauan Khusus Gempa Bumi dan Bahaya

2.3.1 Pengertian Gempa Bumi

Menurut KBBI, definisi gempa adalah guncangan; gerakan (bumi); peristiwa alam berupa getaran atau getaran bergelombang pada kulit bumi yang ditimbulkan oleh tenaga asal dari dalam. Sedangkan menurut Badan

Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Buleleng, gempa bumi adalah guncangan atau getaran di permukaan bumi yang terjadi akibat adanya pelepasan energi yang tiba-tiba dari dalam perut bumi sehingga menciptakan gelombang seismic (Badan Penanggulangan Bencana Daerah, 2014). Gempa bumi juga bisa disebabkan oleh pergerakan lempeng bumi (kerak bumi). Untuk itu gempa bumi termasuk kedalam jenis bencana alam.

United States Geological Survey (USGS) memaparkan definisi gempa bumi ialah istilah yang digunakan untuk menggambarkan baik gesekan secara tiba-tiba pada sesar bumi sehingga menghasilkan getaran tanah dan pancaran energi seismic yang diakibatkan oleh gesekan atau aktivitas vulkanik magmatik atau perubahan tekanan lainnya di bumi secara mendadak. Dan menurut (Pujiyanto, 2007) gempa bumi adalah fenomena alam yang diakibatkan oleh peristiwa alam dan/atau kegiatan manusia sehingga menimbulkan efek getaran dari menjalarnya gelombang energi dari pusat gempa. Hal ini diakibatkan oleh peristiwa mekanik seperti gesekan, tumbukan dan tarikan juga dari peristiwa kimiawi seperti ledakan akibat reaksi kimia, energi-energi ini menyebar ke segala arah dengan tanah sebagai media persebarannya.

Berdasarkan pengertian-pengertian tersebut dapat disimpulkan bahwa gempa bumi adalah peristiwa alam berupa getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi yang terjadi karena adanya pelepasan energi.

2.3.2 Karakteristik Gempa Bumi

Berikut adalah beberapa karakteristik gempa bumi (Nur, 2010).

1. Lokasi kejadian gempa bumi bersifat random dan tidak mengenal tempat kejadian.
2. Gempa bumi tidak dapat dicegah tetapi akibat yang ditimbulkan dapat dikurangi.
3. Gempa bumi biasanya berlangsung dalam waktu yang sangat singkat.
4. Menimbulkan bencana alam ketika terjadi.
5. Berpotensi terulang kembali dimana rentang waktu antara satu gempa dengan yang lainnya cenderung memiliki skala yang sama.
6. Hingga saat ini bencana gempa bumi belum dapat diprediksi.

2.3.3 Faktor-Faktor Penyebab Gempa Bumi

Berdasarkan (Badan Penanggulangan Bencana Daerah, 2014), dibawah ini adalah faktor-faktor penyebab terjadi gempa bumi.

1. Proses tektonik dikarenakan adanya pergerakan lempeng atau kulit bumi.
2. Aktivitas gunung berapi
3. Aktivitas sesar yang terjadi di permukaan bumi
4. Ledakan nuklir
5. Adanya pergerakan geomorfologi secara local seperti adanya runtuh tanah.

2.3.4 Parameter Gempa Bumi

Parameter gempa bumi adalah letak kejadian dan nilai besaran yang menjadi acuan suatu gempa bumi. Besaran gempa bumi adalah ukuran kekuatan yang dihitung berdasarkan hasil yang ditunjukkan oleh alat perekam gempa atau disebut juga seismograf.

Parameter gempa bumi meliputi (Shohaya, Chasanah, Mutiarani, Wahyuni P, & Madlazim, 2013):

1. Waktu kejadian gempa bumi (origin time) adalah waktu terlepasnya akumulasi tegangan berbentuk gelombang gempa bumi yang menjalar, umumnya dinyatakan dalam hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit dan detik dalam satuan *Universal Time Coordinated* (UTC).
2. Hiposentrum (pusat gempa) adalah garis atau titik dalam litosfer yang menjadi tempat terjadinya gempa.
3. Episentrum adalah sebuah titik atau garis dalam permukaan bumi yang merupakan refleksi tegak lurus dari hiposentrum atau pusat gempa bumi. Episentrum juga disebut sebagai titik atau garis di permukaan bumi sebagai tempat gelombang gempa yang dirambatkan ke wilayah dan sekitarnya.
4. Intensitas gempa bumi adalah ukuran gempa bumi yang pertama kali digunakan untuk menyatakan seberapa besar gempa bumi sebelum diukur dengan menggunakan alat oleh manusia.
5. Kekuatan gempa bumi (magnitude) adalah sebuah parameter yang digunakan untuk mengukur besaran kekuatan gempa bumi di sumbernya.

2.3.5 Jenis-Jenis Gempa Bumi

Menurut (Pusat Unggulan Sains dan Teknologi Kegempaan, 2021), gempa bumi terbagi ke dalam empat jenis, yaitu:

1. Gempa Bumi Tektonik
Gempa bumi tektonik adalah gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas tektonik, aktivitas tektonik ini meliputi pergeseran lempeng tektonik dan terjadi secara mendadak dan mempunyai kekuatan dari kecil hingga besar.
2. Gempa Bumi Tumbukan
Gempa bumi tumbukan adalah gempa bumi yang disebabkan oleh tumbukan meteor atau asteroid yang jatuh ke permukaan bumi.
3. Gempa bumi Runtuhan
Gempa bumi runtuh adalah jenis gempa bumi yang disebabkan oleh runtuh tanah atau kapur. Pada umumnya gempa bumi ini terjadi di daerah pertambangan atau kapur dan termasuk kedalam jenis gempa lokal.
4. Gempa bumi vulkanik (gunung api)
Gempa bumi vulkanik adalah gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas magma dari dalam perut bumi yang umumnya terjadi sebelum gunung meletus. Dimana jika keaktifannya semakin tinggi bisa menimbulkan ledakan yang menyebabkan gempa bumi.

2.3.6 Dampak Gempa Bumi

Pada umumnya dampak yang dihasilkan ketika terjadi gempa bumi adalah dampak negatif yang menimbulkan kerugian. Terutama gempa bumi yang terjadi adalah jenis gempa yang merusak yaitu gempa dengan kekuatan lebih dari 5 skala richter (Sungkawa, 2007). Berikut adalah beberapa dampak dan kerugian yang terjadi akibat gempa bumi.

1. Shock berat dan stress terhadap penduduk yang terdampak.
2. Runtuhnya pohon, tiang listrik, dan bangunan-bangunan diatas permukaan bumi.
3. Adanya korban jiwa akibat gempa bumi.
4. Kecacatan bagi manusia yang terdampak.
5. Kerugian finansial bagi masyarakat yang terdampak, terutama bagi mereka yang rumahnya roboh akibat gempa bumi.

2.3.7 Dokumen Kunci Jenis-Jenis Bahaya Akibat Gempa Bumi di Bangunan Pendidikan

Ada beberapa dokumen kunci yang bisa dijadikan acuan dalam menentukan jenis-jenis bahaya yang terdapat di bangunan pendidikan ketika terjadi gempa bumi dokumen-dokumen tersebut terbagi kedalam dua jenis yaitu dokumen yang diterbitkan di dalam negeri dan dokumen yang berasal dan diterbitkan dari luar negeri. Dokumen-dokumen ini berupa jurnal dan buku.

Dokumen-dokumen kunci yang diterbitkan di Indonesia yang digunakan untuk menentukan jenis-jenis bahaya ketika terjadi gempa bumi antara lain, *Modul Pillar 1 – Safe Learning Facilities, Research Report On National Evaluatiopn of The Disaster-Safe School Programme*, Buku Saku BPNB, Jurnal Ilmu Kebencanaan, Digilib Universitas Negeri Medan, Jurnal Gema Keperawatan, Jurnal Sosial, Politik, Kajian Islam, dan Tafsir Sekolah Tinggi Ilmu Tarbiyah Islamiyah NTB, Jurnal Caksana-Pendidikan Anak Usia Dini, Jurnal Pendidikan Dasar dan Jurnal *Golden-Age*.

Dokumen-dokumen kunci yang diterbitkan di luar negeri yang digunakan untuk menentukan jenis-jenis bahaya ketika terjadi gempa bumi antara lain, *IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA)*, *Journal of Education and Learning*, *Unexpected-Earthquake 2011 Lessons to Be Learned*, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, *Faculty of Environment and Information Studies, Keio University* dan, *Journal Elsevier B. V*

Berikut adalah tabel yang berisi benda-benda berbahaya apa saja yang disebutkan di buku dan jurnal diatas serta karakteristik benda-benda tersebut.

Tabel 2.1 Dokumen Kunci Jenis-Jenis Bahaya pada ruang di Bangunan Pendidikan

Sumber	Judul Dokumen	Benda-Benda Berbahaya	Karakteristik				
			Mudah Berguling	Mudah Bergeser	Mudah Pecah	Mudah Terbakar	Benda Beracun
(Khatimah, Sari, & Dirhamsyah, 2015)	Pengaruh penerapan metode simulasi <i>school watching</i> terhadap sikap kesiapsiagaan siswa dalam menghadapi bencana gempa bumi	Lemari buku, Jendela kaca, Tiang bendera	√		√		
(Zheng, Zhao, Yu, Ikeuchi, & Zhu, 2014)	<i>Detecting Potential Falling Objects by Inferring Human Action and Natural Disturbance</i>	Sudut meja, Benda diatas bangku, Buku-buku di atas meja	√	√		√	
(Sari & Khatimah, 2015)	<i>The Application of School Watching Method to Increase the Earthquake Disaster Knowledge of Primary School Students</i>	Papan Tulis yang ada di Ruang Kelas	√	√			
(Charola, Wegener, & Robert, 2014)	<i>Braced for Disaster: But the Botany-Horticulture Library Shelves Weren't</i>	Rak yang berisi buku dan jurnal, Tumpukan barang-barang, Meja	√	√		√	
(Charola, Wegener, & Robert, 2014)	<i>When Things Get Tipsy in The Fluid Collections: Wrong and Preventing Future Damage</i>	Benda-benda di dalam rak yakni toples kaca berisi cairan-cairan yang mudah pecah			√		√
(Li, Liang, Quigley, Zhao, & Yu, 2017)	<i>Earthquake Safety Training Through Virtual Drills</i>	Lampu, cermin, hiasan gantung, rak tinggi, rak buku, lemari	√	√	√		

<p>(Sari, Milfayetty, & Khatimah, 2014)</p>	<p><i>The Implementation of School Watching Method to Enhance The Knowledge of Preparedness in The Efforts of Earthquake Disaster Risk Reduction for Elementary School Students Academic Year 2014-2015</i></p>	<p><i>TV and Radio on Shelving Store, Glass Cabinets, Bookshelf, Hanged Flower Pot, Lift, Poster, Hanged Objects on the Shelf, Table TV, Trophy on wardrobe, Hanged shelf above the bed, Drug Cabinets on the wall, Whiteboard, Photos of president, Mirror on the wall, Clock, Bed besides glass window, doll, hanged lamp, book on wall shelves, gas tube, bees nest in tree, Indonesian map, electric cable pole, electric stove, bridge, wooden cupboard, advertising board, eagle symbol, window, flag pole, attending board, glass window, small cupboard, between two gang wall, name board above the door, lamp under the ceiling, big cupboard, walking stairs, photos above the bed, table lamp, sticking ac wall, kitchen tool on wall.</i></p>	<p>√</p>	<p>√</p>	<p>√</p>	<p>√</p>	
<p>(Astini, Sipahutar, & Keniten, 2018)</p>	<p>Edukasi dengan Metode <i>School Watching</i> meningkatkan kesiapsiagaan siswa dalam menghadapi bencana</p>	<p>Piala, piagam penghargaan, cenderamata, buku pelajaran, vas bunga, hiasan dinding</p>	<p>√</p>		<p>√</p>	<p>√</p>	
<p>(Amin, 2020)</p>	<p><i>Earthquake Disaster Avoidance Learning System Using Deep Learning</i></p>	<p><i>Collapsible: bookshelf, cabinet, fridge, piano, wardrobe, air conditioner, TV, washer, water purifier, air purifier</i> <i>Breakable: bottle, dish, flowerpot, kettle, cup, bowl</i> <i>Can Drop: wall clock, frame, kitchen, knife, book, desktop, lamp, mirror, light lamp-stand</i> <i>Can Hinder: printer, table, sofa, bed, tablet, trash can, chair, cloth hanger.</i></p>	<p>√</p>	<p>√</p>	<p>√</p>	<p>√</p>	

Sumber: Analisis Penulis, 2022 (diolah dari berbagai sumber)

2.3.8 Kategori Benda-Benda Berbahaya ketika Gempa Bumi yang terdapat di Bangunan Kampus

Berdasarkan tabel pada halaman sebelumnya yang berisi dokumen kunci terkait jenis benda-benda yang tergolong berbahaya ketika terjadi gempa bumi di bangunan kampus, maka berikut adalah lima kategori berbahaya dari benda-benda tersebut yang berhasil dikerucutkan dan selanjutnya disebut sebagai *five dangers*, yakni:

1. Benda yang mudah berguling
Benda-benda yang termasuk kedalam golongan benda-benda yang mudah berguling adalah benda-benda yang memiliki dimensi yang besar dan tinggi dimana penempatannya cenderung hanya bertumpu pada satu sisi saja. Selain itu benda-benda yang peletakkannya diatas benda yang lain. Contoh benda-benda yang termasuk kedalam benda yang mudah berguling adalah : lemari besar, AC dinding, papan iklan, buku di rak buku, lemari obat yang ditempelkan di tembok, piala, dan rak buku.
2. Benda yang mudah bergeser
Benda-benda yang termasuk kedalam golongan benda-benda yang mudah bergeser pada umumnya adalah benda-benda yang memiliki roda. Contoh benda-benda yang masuk dalam kategori ini adalah papan tulis beroda dan lemari/rak yang memiliki roda.
3. Benda yang mudah pecah
Benda-benda yang termasuk kedalam golongan benda-benda yang mudah pecah adalah benda-benda yang terbuat dari bahan kaca seperti jendela, vas bunga, pigura, toples kaca dan etalase.
4. Benda yang mudah terbakar
Benda-benda yang termasuk kedalam golongan benda-benda yang mudah terbakar pada umumnya sering ditemui di lingkungan kampus adalah kertas-kertas arsip dan buku-buku.
5. Benda-benda beracun
Penggolongan terakhir yaitu benda-benda yang beracun. Pada dasarnya benda-benda ini tidak ditemukan secara diletakkan sembarangan di lingkungan kampus, benda-benda ini umumnya ditemui di dalam laboratorium tempat melakukan penelitian. Contoh benda-benda beracun yang berbahaya adalah campuran larutan asam dan basa, larutan yang mudah korosif, dan beberapa jenis gas beracun yang terdapat di laboratorium.

2.4 Studi Literatur Area Aman Ketika Terjadi Gempa Bumi

Menurut United States Government, ketika terjadi gempa bumi hal pertama yang harus dilakukan adalah melindungi diri sendiri (United States Government Website, 2021), yakni:

- Jika anda berada di dalam mobil, menepi dan berhenti untuk parkir.

- Jika anda berada di atas tempat tidur, telungkup dan tutupi kepala dan leher anda dengan bantal.
- Jika anda berada di luar ruangan, jauhi bangunan di luar ruangan.
- Jika anda berada di dalam ruangan, tetap tinggal di dalam ruangan dan jangan lari keluar, hindari pintu masuk.

Ada tiga cara untuk melindungi diri selama gempa bumi berlangsung yaitu *drop (or lock), cover and hold on* (United States Government Website, 2021).

1. *Drop (or Lock)*, dimanapun anda berada, jatuhkan tangan dan lutut anda lalu pegang sesuatu yang kokoh. Jika anda menggunakan kursi roda atau alat bantu jalan dengan tempat duduk, pastikan roda anda terkunci dan tetap duduk sampai guncangan berhenti.
2. *Cover*, tutupi kepala dan leher anda menggunakan tangan. Jika terdapat meja atau benda sejenisnya yang kokoh di dekat anda, merangkaklah menuju kolong meja/benda tersebut untuk berlindung. Jika tidak ada tempat berlindung di dekat anda, merangkaklah sampai dinding bagian dalam (jauh dari jendela). Merangkaklah hanya jika anda dapat mencapai area untuk berlindung yang lebih baik tanpa melalui area yang memiliki banyak puing. Tetap berlutut atau membungkuk untuk melindungi organ vital pada tubuh.
3. *Hold On*, jika anda berada dibawah meja atau benda sejenisnya, pegang meja/benda tersebut dengan satu tangan dan bersiaplah untuk bergerak bersama dengan benda tersebut jika ada guncangan. Jika anda dalam posisi duduk dan tidak bisa merangkak ke lantai, membungkuklah kedepan lalu tutupi kepala anda dengan tangan dan pegang leher anda dengan kedua tangan.



Gambar 2.3 Melindungi diri dalam kondisi normal

Sumber: [Earthquakes / Ready.gov](http://Earthquakes/Ready.gov)



Gambar 2.4 Melindungi diri ketika menggunakan tongkat

Sumber: [Earthquakes / Ready.gov](http://Earthquakes/Ready.gov)



Gambar 2.5 Melindungi diri ketika membawa troli
 Sumber: [Earthquakes / Ready.gov](http://Earthquakes/Ready.gov)



Gambar 2.6 Melindungi diri ketika menggunakan kursi roda
 Sumber: [Earthquakes / Ready.gov](http://Earthquakes/Ready.gov)

Jenis meja yang cenderung aman untuk dijadikan tempat berlindung sementara yaitu jenis meja yang kokoh dan terbuat dari kayu. Meja dengan material kaca atau MDF (*medium-density fiberboard*) yaitu meja dengan papan yang terbuat dari serpihan kayu tidak dianjurkan dikarenakan kaca memiliki kemungkinan untuk pecah dan serpihan kaca dapat membahayakan manusia serta meja dengan material MDF cenderung tidak kokoh jika tertimpa reruntuhan atau barang-barang. Berikut adalah meja yang dianjurkan untuk dijadikan tempat berlindung sementara dan yang tidak dianjurkan untuk dijadikan tempat berlindung sementara.

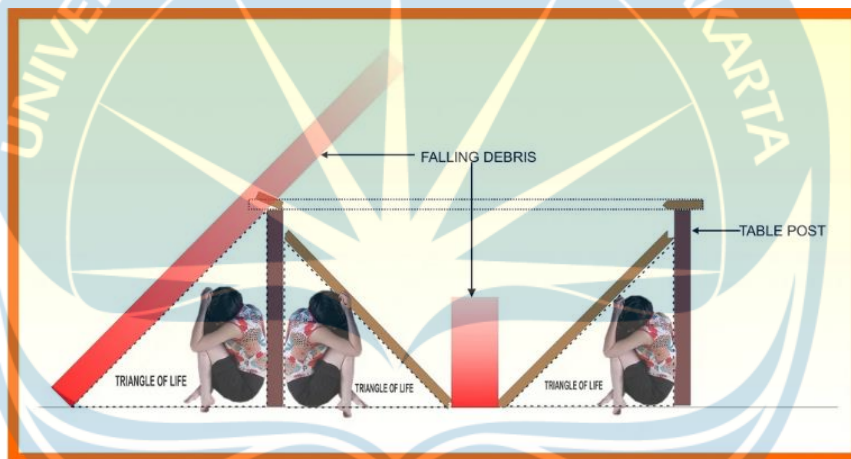


Gambar 2.7 Jenis meja yang dianjurkan sebagai tempat berlindung
 Sumber : Shopee Indonesia / Situs Belanja Online Terlengkap & Terpercaya



Gambar 2.8 Jenis meja yang tidak dianjurkan sebagai tempat berlindung
 Sumber : [Jual Produk Kerja Meja Kantor Meja Termurah dan Terlengkap Desember 2022](#)
 (Halaman 8) / Bukalapak

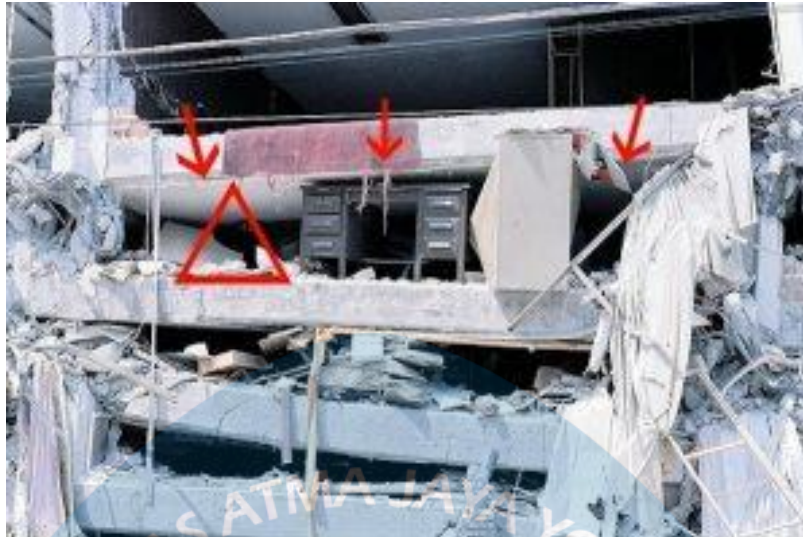
Menurut Doug Chopp, Dalam wawancara di Mitigasi Bencana (UNX051 - UNIENET), Doug Chopp mengemukakan bahwa ketika sebuah bangunan runtuh, berat langit-langit yang jatuh pada benda atau perabot di dalamnya menghancurkan benda-benda ini, meninggalkan ruang kosong di sebelahnya. Ruang ini disebut “triangle of life” atau “segitiga kehidupan” (Copp, 2015).



Gambar 2.9 Posisi Triangle Of Life

Sumber: [The Wrong Way to Take Cover - Pacific Standard \(psmag.com\)](#)

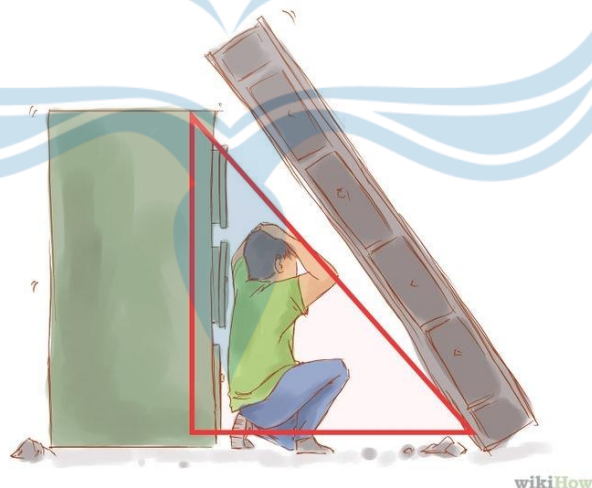
Semakin besar objek, semakin kuat, semakin sedikit ia akan kompak. Semakin sedikit objek yang padat, semakin besar kehampaan, semakin besar probabilitas bahwa orang yang menggunakan kekosongan ini untuk selamat dan tidak terluka.



Gambar 2.10 Eksplanasi Triangle Of Life

Sumber: [Bertahan hidup dari gempa: teori "segitiga kehidupan" \(emergency-live.com\)](http://Bertahan%20hidup%20dari%20gempa%3A%20teori%20%22segitiga%20kehidupan%22%20(emergency-live.com))

Bangunan kayu adalah jenis konstruksi yang paling aman saat terjadi gempa. Alasannya sederhana: kayu fleksibel dan bergerak sesuai dengan kekuatan gempa. Jika bangunan kayu itu runtuh, lubang-lubang besar untuk bertahan hidup akan tercipta. Selain itu, bangunan kayu memiliki berat yang kurang terkonsentrasi dan hancur. Jika anda berada di tempat tidur pada malam hari dan terjadi gempa bumi, cukup gulingkan tempat tidur. Kekosongan yang aman terdapat disekitar tempat tidur, Jika gempa terjadi saat sedang menonton televisi, berbaringlah dan meringkuk dengan posisi janin di samping sofa (Copp, 2015).



Gambar 2.11 Posisi Triangle Of Life di dalam kamar

Sumber: [Bertahan hidup dari gempa: teori "segitiga kehidupan" \(emergency-live.com\)](http://Bertahan%20hidup%20dari%20gempa%3A%20teori%20%22segitiga%20kehidupan%22%20(emergency-live.com))

Jenis lemari yang cenderung aman untuk dijadikan tempat berlindung sementara yaitu jenis lemari dengan pintu massif, seperti lemari full kayu. Lemari dengan pintu dari kaca tidak dianjurkan dikarenakan kaca memiliki kemungkinan untuk pecah dan serpihan kaca dapat membahayakan manusia. Berikut adalah lemari

yang dianjurkan untuk dijadikan tempat berlindung sementara dan yang tidak dianjurkan untuk dijadikan tempat berlindung sementara.



Gambar 2.12 Lemari yang aman untuk triangle of life

Sumber : <https://www.lazada.co.id/products/almari-pintu-sliding-3-model-minimalis-bahan-kayu-jati-ukuran-160-x-210-i4759150869.html> dan Cermin Dunia Store



Gambar 2.13 Lemari yang cenderung tidak aman untuk triangle of life

Sumber : Jepara Store dan Andra Perabot

2.5 Standar Jalur Evakuasi

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung. Syarat jalur evakuasi harus memenuhi kriteria adalah sebagai berikut (Undang-Undang Republik Indonesia, 2002).

1. Jalur evakuasi harus memiliki penanda yang terlihat jelas dan memiliki akses langsung ke ruang terbuka.
2. Jalur evakuasi harus terbebas dari benda yang berbahaya dan dapat membahayakan serta dilengkapi penerangan yang cukup.
3. Jalur evakuasi harus terbebas dari benda yang dapat menghalangi.
4. Jalur evakuasi harus memiliki lebar minimal 71,1 cm dan tinggi langit-langit minimal 230 cm.
5. Pintu darurat harus mudah dibuka dan dapat dibuka keluar, dilengkapi dengan penutup pintu otomatis dan warna yang mencolok.

2.6 Redesain Perabot

Berdasarkan pengalaman orang-orang yang mengalami bencana gempa Kobe di Jepang, pada dasarnya cedera yang dialami disebabkan oleh jatuhnya perabot-perabot sehingga menimpa manusia di bawahnya. Sehingga salah satu hal yang dapat dilakukan adalah memastikan keamanan dan keselamatan perabot sebelum terjadinya gempa bumi khususnya pada proses pemasangannya (Mari-Hiro Architects, 2015).

Cara pemasangan perabot tergantung pada apakah bangunan itu terbuat dari kayu, baja, atau beton bertulang. Dalam kasus bangunan kayu, adanya kerangka kayu di dinding sehingga dapat disekrup. Dalam hal konstruksi baja atau beton bertulang, sekrup dapat dipasang ke dalam rangka dinding yang sebelumnya sudah diberi rangka baja ringan atau kayu. Pada gambar di bawah ini, rangka baja ringan digunakan untuk menyangga perabot di gedung apartemen dengan material beton bertulang, direnovasi dengan tujuan untuk menambah insulasi (Mari-Hiro Architects, 2015).



Gambar 2.14 Rangka baja ringan pada dinding beton bertulang

Sumber: [Perabot turns into a dangerous killer – まりひろ建築士事務所 \(mari-hiro.work\)](#)

Foto kedua menunjukkan contoh sebuah kulkas yang disekrup ke dinding agar tidak jatuh saat gempa. Karena kami tidak dapat memasang lemari es, kami memasang papan kayu ke lemari es dengan selotip dua sisi untuk menempelkan lemari es ke dinding. Jika ada jarak kecil antara perabot dan dinding, Anda dapat menggunakan perangkat pengikat tipe sabuk seperti gambar-gambar dibawah ini (Mari-Hiro Architects, 2015).



Gambar 2.15 Pengikat tipe sabuk

Sumber: [Perabot turns into a dangerous killer – まりひろ建築士事務所 \(mari-hiro.work\)](#)

Dalam kasus di mana tidak ada rangka baja ringan atau kayu, tidak mungkin untuk memasang sekrup pada dinding beton bertulang opsi lain yang dapat dirancang yaitu menggunakan papan penyangga di langit-langit. Gambar di bawah, papan disandarkan pada bagian atas lemari dan bagian bawah balok tepat di atasnya, agar tidak jatuh saat terjadi gempa (Mari-Hiro Architects, 2015).



Gambar 2.16 Papan penyangga di langit-langit

Sumber: [Perabot turns into a dangerous killer – まりひろ建築士事務所 \(mari-hiro.work\)](#)

Jika tidak memungkinkan untuk mengamankan perabot dengan cara-cara di atas, misalnya karena tidak ada alas untuk dinding, lebih aman untuk tidak meletakkan barang-barang pada posisi yang saling bertumpuk sehingga dapat menyebabkan perabot jatuh ke bawah dan membahayakan manusia dibawahnya (Mari-Hiro Architects, 2015).

2.7 Prinsip Bangunan Tanggap Bencana Gempa Bumi

2.7.1 SNI Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Pada Bangunan Gedung

Berdasarkan dokumen yang dikeluarkan oleh Badan Standar Nasional Indonesia mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, bangunan kampus termasuk kedalam kategori risiko IV terkait kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa dengan faktor keutamaan gempa 1,50 seperti pada tabel di bawah ini.

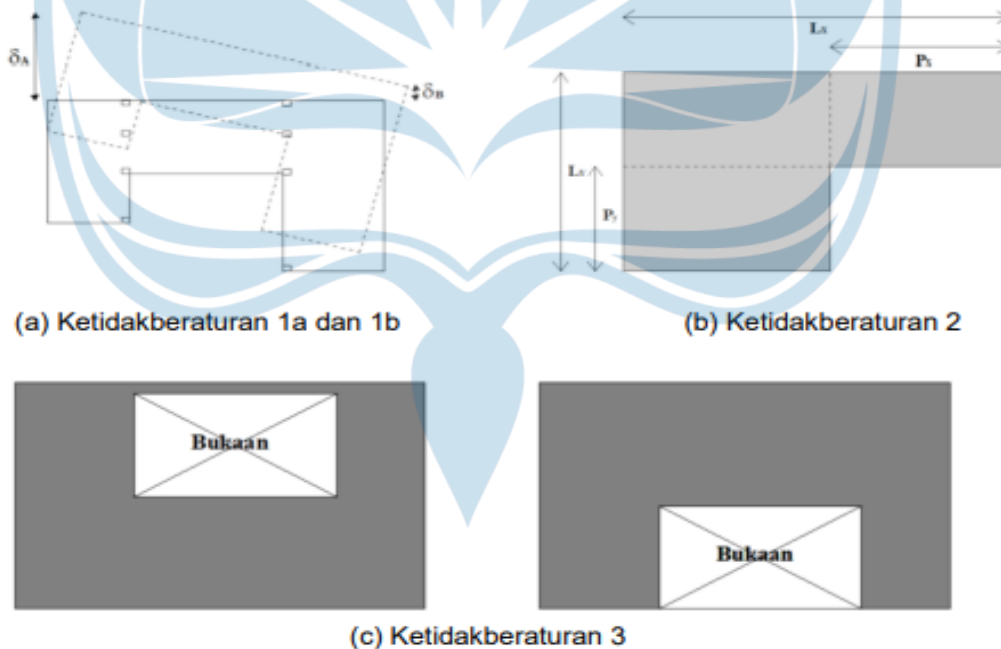
Tabel 2.2 Kategori Risiko Bangunan Kampus

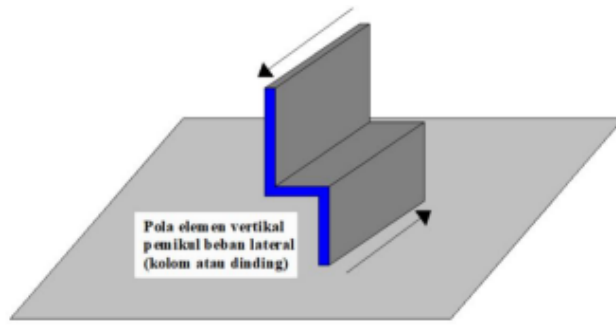
Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Sumber: Badan Standar Nasional Indonesia

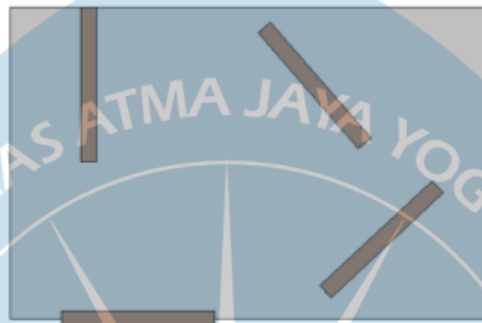
Untuk persyaratan dasar bangunan gedung antara lain struktur bangunan gedung harus memiliki sistem pemikul gaya lateral dan vertikal yang lengkap, yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan, dan kapasitas disipasi energi yang cukup untuk menahan gerak tanah seismik desain dalam batasan-batasan kebutuhan deformasi dan kekuatan perlu. Komponen struktur individu, termasuk yang bukan merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik, harus disediakan dengan kekuatan yang cukup untuk menahan geser, gaya aksial, dan momen yang ditentukan sesuai dengan standar ini, dan sambungan-sambungan harus mampu mengembangkan kekuatan komponen struktur yang disambung atau gaya-gaya sebagaimana yang ditunjukkan 0 (Badan Standarisasi Nasional, 2012).

Semua bagian struktur antara sambungan pemisah harus terhubung untuk membentuk lintasan menerus sistem pemikul gaya seismik, dan sambungan harus mampu menyalurkan gaya seismik yang ditimbulkan oleh bagian-bagian yang terhubung. Fondasi harus didesain untuk menahan gaya yang dihasilkan dan mengakomodasi pergerakan yang disalurkan ke struktur dan fondasi oleh gerak tanah seismik desain. Sistem rangka struktur harus juga memenuhi persyaratan sistem spesifik yakni untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu memikul paling sedikit 25 % gaya seismik desain (Badan Standarisasi Nasional, 2012).



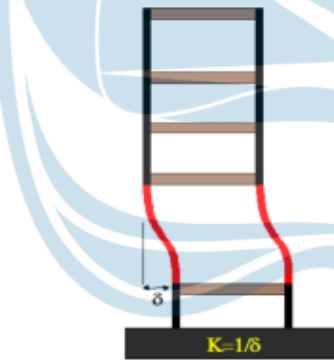


(d) Ketidakberaturan 4

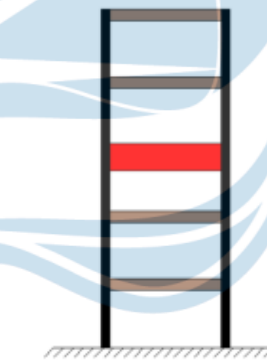


(e) Ketidakberaturan 5

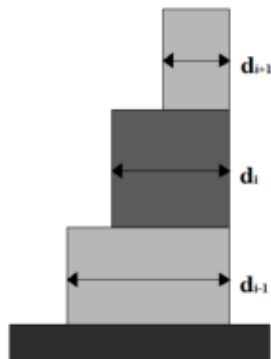
Gambar 2.17 Ketidakberaturan Horizontal
Sumber: Badan Standar Nasional Indonesia



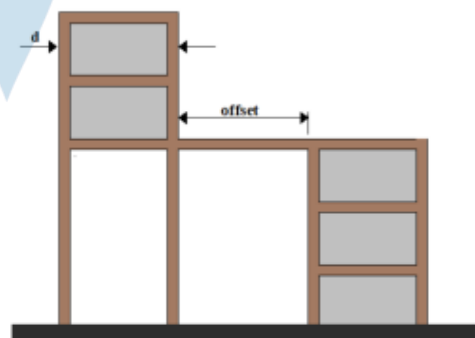
(a) Ketidakberaturan 1a dan 1b



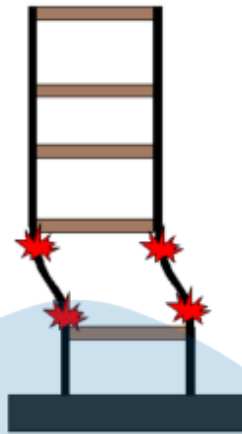
(b) Ketidakberaturan 2



(c) Ketidakberaturan 3



(d) Ketidakberaturan 4



(e) Ketidakberaturan 5a dan 5b

Gambar 2.18 Ketidakberaturan pada struktur vertikal
Sumber: Badan Standar Nasional Indonesia

Semua bagian struktur harus didesain dan dibangun untuk bekerja sebagai satu kesatuan yang terintegrasi dalam menahan gaya-gaya seismik kecuali jika dipisahkan secara struktural dengan jarak yang cukup memadai untuk menghindari kerusakan akibat benturan. Material yang digunakan untuk desain dan konstruksi fondasi harus sesuai dengan persyaratan dan tambahan persyaratan untuk pondasi di tanah yang berpotensi terlikuifaksi. Tiang harus didesain dan dibangun untuk menahan deformasi dari pergerakan tanah akibat gempa dan respons struktur. Deformasi harus termasuk regangan tanah tanpa struktur (freefield) dan deformasi yang ditimbulkan oleh tahanan lateral tiang terhadap gaya gempa struktur (Badan Standarisasi Nasional, 2012).

Fondasi harus didesain untuk memikul beban-beban gravitasi dan gempa. Struktur gedung tidak direkomendasikan untuk dipikul pondasi dangkal pada tanah dengan potensi likuifaksi tinggi. Struktur harus memiliki sistem pemikul gaya lateral dan vertikal yang lengkap dengan kekuatan yang cukup untuk menahan gaya seismik. Gaya seismik desain harus didistribusikan ke berbagai elemen struktur. Pondasi harus didesain untuk mengakomodasi gaya-gaya yang terjadi. Semua bagian struktur antara sambungan pemisah harus dihubungkan satu sama lain, dan sambungan harus mampu menyalurkan gaya seismik yang ditimbulkan oleh bagian yang dihubungkan. Semua bagian struktur yang lebih kecil harus diikat ke struktur utama (Badan Standarisasi Nasional, 2012).

Bukaan pada dinding geser, diafragma, atau elemen tipe pelat lainnya harus dilengkapi dengan tulangan di tepi bukaan atau sudut dalam yang didesain untuk menyalurkan tegangan ke dalam struktur. Elemen-elemen non struktural, arsitektural, mekanikal dan elektrik serta pendukungnya harus ditambatkan atau diangkurkan pada struktur bangunan sesuai dengan ketentuan. Panel ataupun elemen dinding eksterior nonstruktural yang menempel atau melingkungi struktur harus didesain untuk mengakomodasi perpindahan relatif akibat seismic (Badan Standarisasi Nasional, 2012).

Tabel 2.3 Standar referensi untuk penyegelan (sealant) struktur kaca

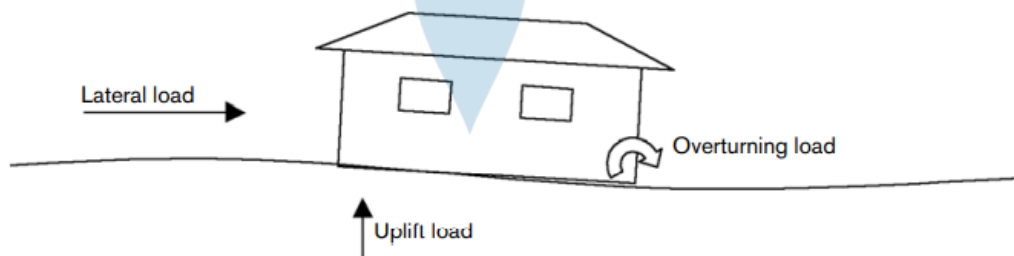
C1087-00	Test Method for Determining Compatibility of Liquid-Applied Sealants with Accessories Used in Structural Glazing Systems
C1135-00	Test Method for Determining Tensile Adhesion Properties of Structural Sealants
C1184-14	Specifications for Structural Silicone Sealants
C1265-94	Test Method for Determining the Tensile Properties of an Insulating Glass Edge Seal for Structural Glazing Applications
C1294-07	Test Method for Compatibility of Insulating Glass Edge Sealants with Liquid-Applied Glazing Materials
C1369-07	Specification for Secondary Edge Sealants for Structurally Glazed Insulating Glass Units

Sumber: Badan Standar Nasional Indonesia

Partisi yang terikat pada plafon dan semua partisi yang lebih tinggi dari 1,8 m harus di bresing secara lateral pada struktur gedung. Tangga darurat dan ramp yang bukan merupakan bagian dari sistem pemikul gaya seismik struktur dimana mereka menempel harus di detailkan untuk mengakomodasi perpindahan relatif akibat seismik (Badan Standarisasi Nasional, 2012).

2.7.2 Konfigurasi Bangunan

Gempa bumi dapat disebabkan oleh pergeseran lempeng tektonik atau oleh aktivitas gunung berapi. Daerah geografis yang terletak di atas pertemuan lempeng-lempeng ini umumnya paling rentan terhadap gempa bumi. Getaran tanah disebabkan oleh gaya seperti gelombang yang merambat melalui bumi permukaan dan pengaruhnya akan bervariasi berdasarkan karakteristik geologi dari suatu daerah. Gaya seperti gelombang ini juga dapat menyebabkan peristiwa lain. Selama gempa bumi, gerakan tanah menginduksi lateral, atau horizontal, dan vertikal beban pada sebuah bangunan. Kekuatan gempa menyebabkan tanah bergerak seperti gelombang, tanah juga akan dorong ke atas di satu sisi bangunan dan paksa ke bawah sisi lain bangunan menciptakan beban terbalik (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR), 2009).

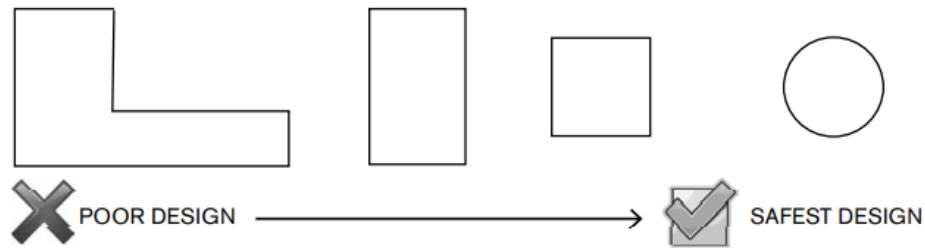


Gambar 2.19 Gaya yang terjadi pada bangunan ketika gempa

Sumber: Guidance Notes For Safer School, 2022

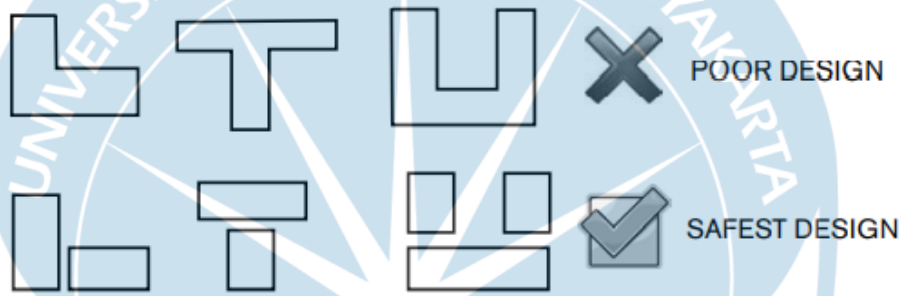
Asimetri elemen struktural dapat mengakibatkan gaya 'puntir' yang merusak. Tata letak struktural, seperti bangunan berbentuk U dan L, dapat mendukung gaya puntir ini dimana sudut bagian dalam sangat rentan terhadap

kerusakan. Jenis struktur ini harus dihindari (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR), 2009).



Gambar 2.20 Konfigurasi bangunan aman
 Sumber: Guidance Notes For Safer School, 2022

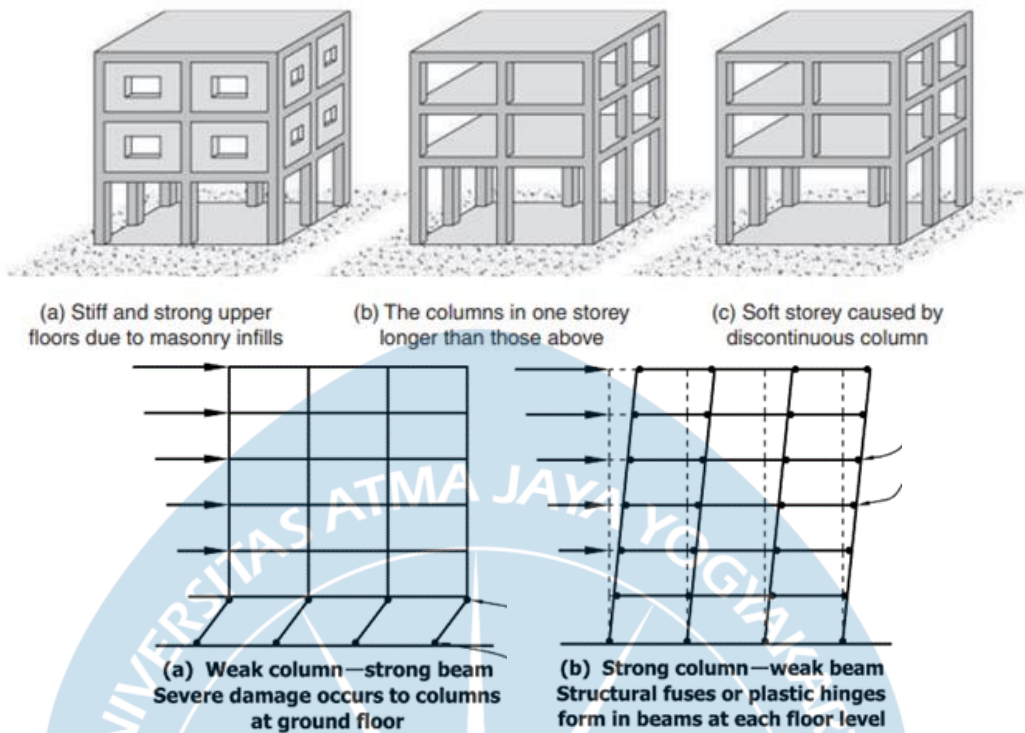
Jika tata letak seperti itu diinginkan, lebih disarankan untuk merancang beberapa bentuk yang simetris dan berbeda bangunan kemudian diorientasikan sedemikian rupa untuk menghasilkan hasil yang serupa seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.21 Konfigurasi bangunan berlekuk yang tahan gempa
 Sumber: Guidance Notes For Safer School, 2022

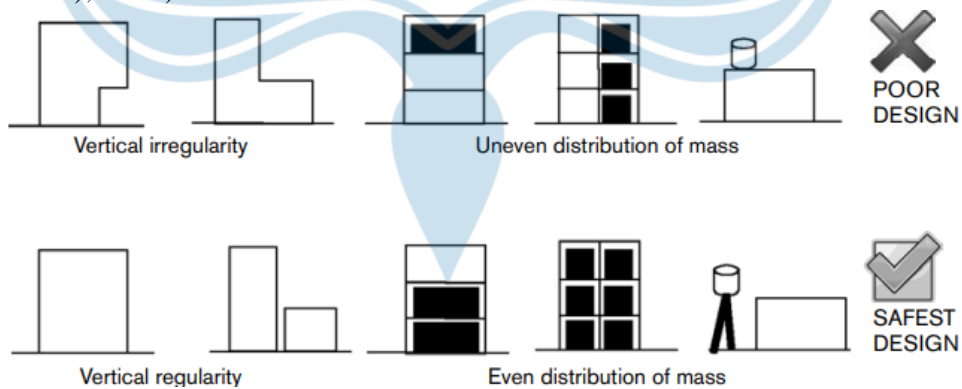
Untuk bangunan sekolah/kampus yang lebih dari satu lantai, kapasitas struktur untuk menahan gaya lateral harus sama untuk setiap lantai. Penyebab umum kerusakan pada bangunan bertingkat banyak adalah keruntuhan akibat “lantai lunak/*soft storey*”. Hal ini terjadi karena kekakuan lateral atau kekuatan geser satu lantai, biasanya lantai dasar, lebih rendah dari lantai atas (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR), 2009).

Soft storey dideskripsikan sebuah struktur dimana kolom lebih lemah dari balok dan satu lantai atau satu tingkat lebih lemah dari lantai di atasnya. Pada umumnya *soft storey* ditandai dengan tidak adanya dinding pengisi diantara kolom di lantai dasar sebuah bangunan sedangkan lantai di atasnya semua sisi full tertutup dengan dinding. Untuk mengatasi *soft storey* untuk bangunan tinggi yaitu dengan menggunakan *shear wall* pada struktur bangunan dibanding menggunakan rangka untuk menahan gaya gempa (Charleson, 2008).



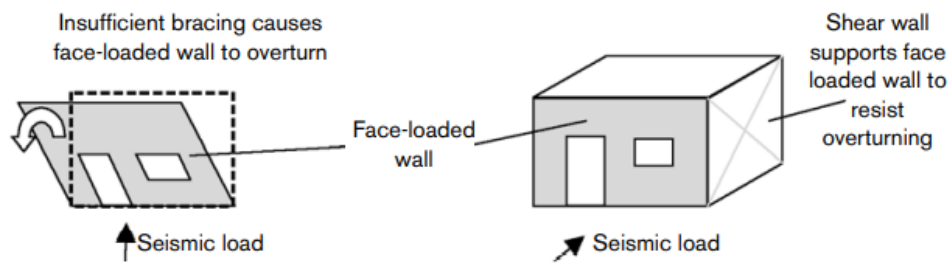
Gambar 2.22 Perlemahan Soft Storey
 Sumber: Charleson, 2022

Distribusi massa yang tidak merata pada tingkat struktur yang lebih tinggi juga dapat memperkuat struktur lateral beban akibat gempa. Oleh karena itu atap yang lebih ringan lebih dianjurkan dan setiap peralatan berat seperti tangki air, bila memungkinkan, harus ditempatkan secara terpisah dari struktur seperti gambar di bawah ini (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR), 2009).



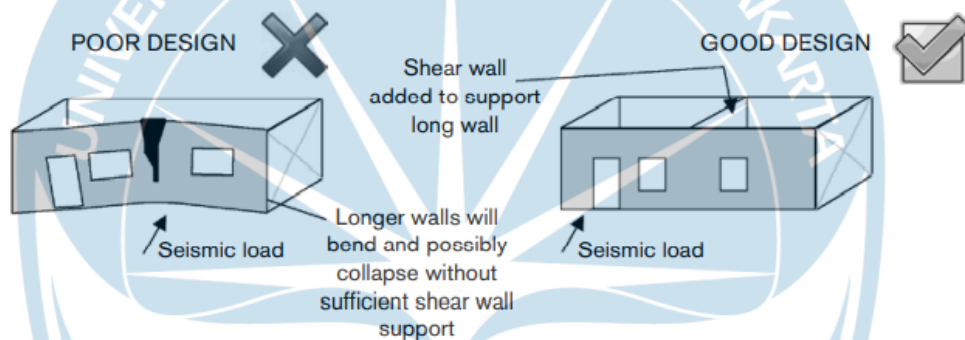
Gambar 2.23 Konfigurasi vertikal bangunan
 Sumber: Guidance Notes For Safer School, 2022

Ketika sebuah dinding tepi dirancang, dibangun, atau dipasang kembali untuk bertindak sebagai kaku, terintegrasi keseluruhan untuk menahan gaya lateral, maka dinding ini disebut dinding geser (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR), 2009).



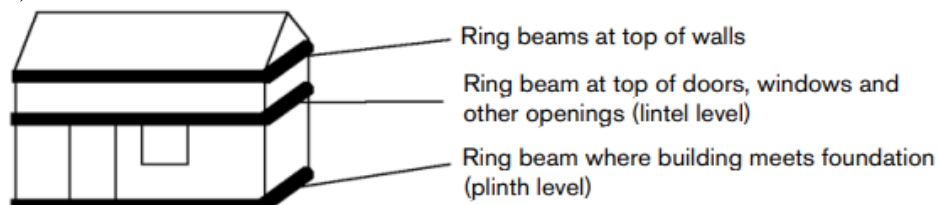
Gambar 2.24 Ilustrasi penggunaan dinding geser pada bangunan
 Sumber: Guidance Notes For Safer School, 2022

Karena dinding geser membantu menahan dinding yang dibebani muka dan mencegahnya agar tidak terbalik, sudut-sudut di mana mereka bertemu harus diperkuat. Dinding dengan beban muka yang panjang akan membutuhkan *shear wall* interior tambahan untuk menahan dinding yang berguling atau membungkuk dan akhirnya runtuh (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR), 2009).



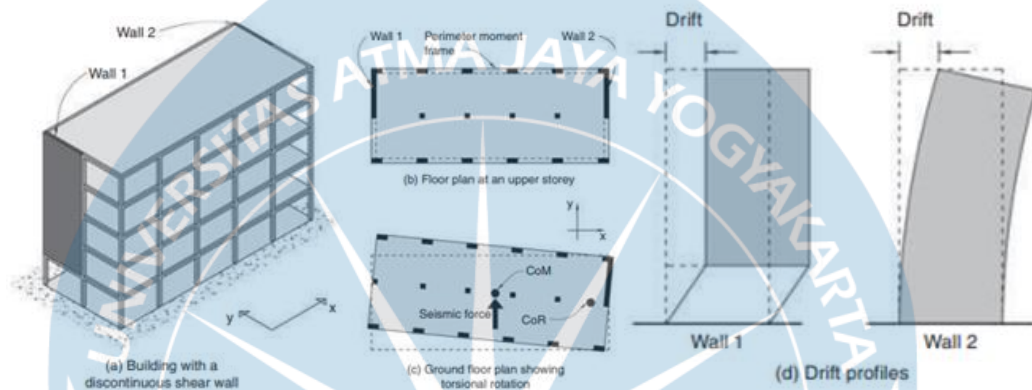
Gambar 2.25 Ilustrasi penggunaan interior shear wall
 Sumber: Guidance Notes For Safer School, 2022

Komponen struktural horizontal yang mengikat keempat dinding bersama-sama seperti lantai, atap, atau lantai atas disebut diafragma. Diafragma berfungsi untuk mendukung dinding dan memindahkan beban ke *shear wall*, atau dalam kasus lantai, langsung ke pondasi atau tanah. Pada bangunan yang menahan dinding, tulangan horizontal kaku yang mengelilingi bangunan dapat berfungsi untuk menahan deformasi dan kerusakan pada dinding yang disebabkan oleh gaya angkat, turun, dan lateral (bila diikat ke tulangan vertikal). Diafragma harus menerus di sekitar bangunan dan harus diikat dengan aman ke semua elemen struktur vertikal (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR), 2009).



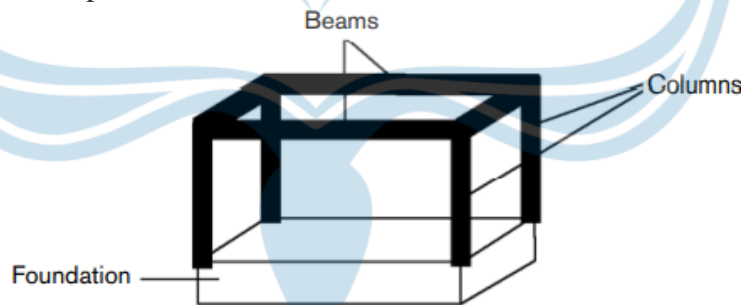
Gambar 2.26 Tulangan horizontal yang kaku untuk menahan beban ke atas dan ke bawah
 Sumber: Guidance Notes For Safer School, 2022

Dinding geser harus memanjang dari lantai ke garis atap. Bukaannya di dinding, seperti pintu dan jendela, mengurangi kapasitas resistif dinding geser (terutama di dekat dari sudut). Hal ini dapat memicu pelemahan bangunan yang disebut sebagai *discontinuous structural walls*. *Discontinuous structural walls* merupakan konfigurasi dimana dinding struktur tidak menerus dari atas sampai bawah atau dinding struktur yang terputus-putus. Dan juga adanya penetrasi seperti bukaan (pintu/jendela/ventilasi) di dinding struktur. Konfigurasi ini dapat melemahkan bangunan ketika terjadi gempa, yang paling umum ditemui adalah rusaknya lantai dasar dikarenakan *discontinuous structural walls* (Charleson, 2008).



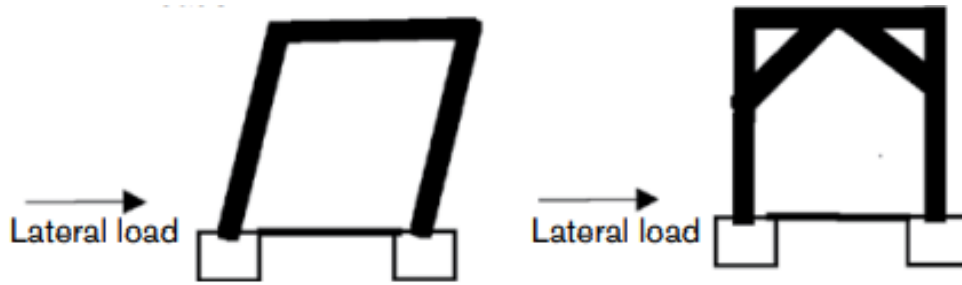
Gambar 2.27 Pelemahan Discontinuous Structural Walls
 Sumber: Charleson, 2022

Dalam konstruksi rangka, kolom dan balok dapat disambung untuk membuat struktur seperti kotak.



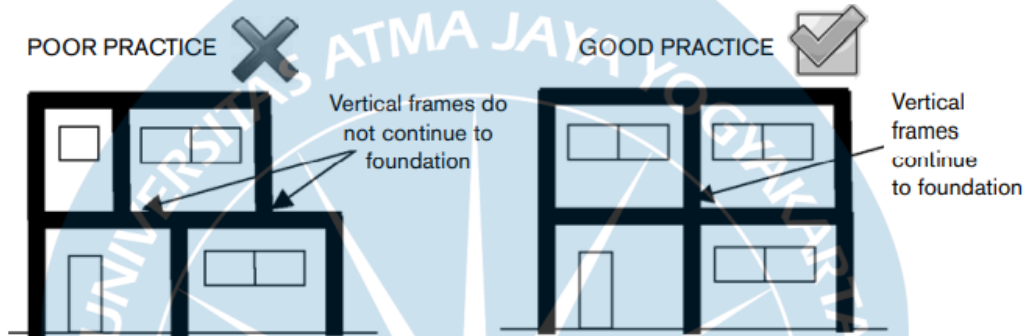
Gambar 2.28 Konstruksi kolom, balok dan pondasi
 Sumber: Guidance Notes For Safer School, 2022

Karena kolom dan balok yang disambung harus menahan beban lateral, sambungannya harus dibuat secara substansial kaku untuk mempertahankan bentuk seperti kotak. Penguatan diagonal dapat lebih meningkatkan ketahanan lateral struktur seperti gambar dibawah ini (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR), 2009).



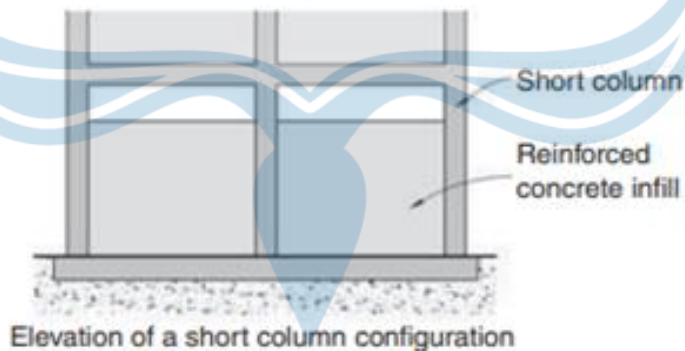
Gambar 2.29 Penguatan diagonal pada kolom
 Sumber: Guidance Notes For Safer School, 2022

Untuk mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh beban lateral, struktur harus dirancang untuk mentransfer semua beban langsung ke tanah.

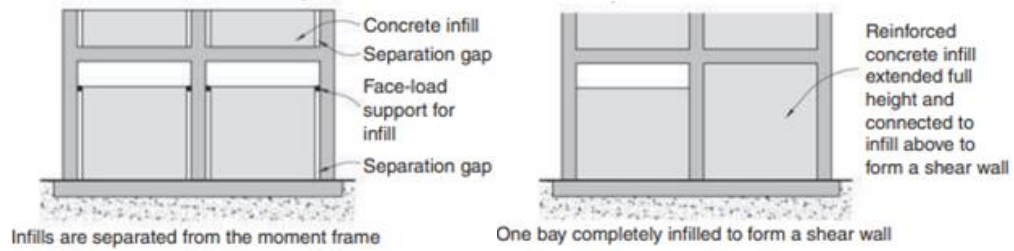


Gambar 2.30 Kemenerusan penyaluran beban
 Sumber: Guidance Notes For Safer School, 2022

Selain beberapa hal diatas, ada juga satu jenis kelemahan yang sering menjadi penyebab keruntuhan bangunan ketika terjadi gempa bumi. Perlemahan ini disebut *short column*.



Gambar 2.31 Perlemahan Short Column
 Sumber: Charleson, 2022



Gambar 2.32 Cara Menghindari Short Column
 Sumber: Charleson, 2022

Short column merupakan salah satu permasalahan struktural. Konfigurasi *short column* terdiri dari dua jenis yaitu adanya kolom yang lebih pendek dari kolom yang lain pada momen *frames* yang sama dan adanya kolom yang sangat pendek yang secara inheren cukup rapuh karena kolom yang lebih pendek delapan kali lebih kaku daripada kolom yang lain sehingga ia menahan beban delapan kali lebih banyak dari kolom yang lebih panjang. Pada umumnya *short column* dijumpai dimana ada dinding yang tidak penuh oleh bata tetapi setengah atau $\frac{3}{4}$ bagiannya merupakan bukaan penuh dari kolom ke kolom lainnya. Untuk mengatasi *short column* yaitu dengan cara membuat pemisah antara dinding beton pengisi dengan momen *frames* dan membuat satu sisi dinding menjadi *shear walls* (Charleson, 2008).