

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Gempa bumi didefinisikan sebagai getaran yang bersifat alamiah, yang terjadi pada lokasi tertentu, dan sifatnya tidak berkelanjutan. Gempa bumi biasa disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi) secara tiba-tiba (*sudden slip*). Pergeseran secara tiba-tiba terjadi karena adanya sumber gaya (*force*) sebagai penyebabnya, baik bersumber dari alam maupun dari bantuan manusia (*artificial earthquakes*). Selain disebabkan oleh *sudden slip*, getaran pada bumi juga bisa disebabkan oleh gejala lain yang sifatnya lebih halus atau berupa getaran kecil-kecil yang sulit dirasakan manusia. Contoh getaran kecil adalah getaran yang disebabkan oleh lalu lintas, mobil, kereta api, tiupan angin pada pohon dan lain-lain. Getaran seperti ini dikelompokkan sebagai mikroseismisitas (getaran sangat kecil). (Suharjanto, 2002)

Pada desain bangunan gedung, terdapat prinsip yang sangat mendasar yaitu adanya hubungan antara analisis dan disain. Hubungan antara analisis dan disain ini pada struktur tahan gempa juga dapat diartikan sebagai hubungan antara kebutuhan (*demand*) kekuatan dan supply kekuatan (*supply*). Kebutuhan dalam hal ini berasosiasi dengan kebutuhan kekuatan struktur (baik lentur, geser, aksial maupun puntir) sedemikian sehingga dengan tercukupinya kebutuhan kekuatan tersebut dapat menjamin keamanan struktur (Pawirodikromo, 2012). Pada penelitian ini disain sudah ada dan akan diuji kekuatan (*supply*) bangunan dengan metode statik ekuivalen, metode respons spektrum, dan metode *time history*.

Dalam menganalisis gempa pada bangunan terdapat beberapa variabel yang harus diperhatikan yaitu *horizontal deflection (drift)* dan periode dari struktur bangunan. *Drift* yang berlebihan akan memberatkan struktur dan dapat merusak gedung baik struktural dan non struktural. Di sisi lain deformasi struktur berarti menghamburkan sebagian energi dari gaya seismik. (Ambrose & Vergun, 1999). Periode bangunan adalah kondisi saat bangunan terkena lebam dan terlontar secara lateral oleh gempa, angin dan beban lainnya, bangunan akan terombang-ambing kedepan dan kebelakang dengan periode yang beraturan atau dapat disebut *natural period* (Lindeburg & McMullin, 2008)

## A. Gempa

### 1. Pengertian dan Jenis Gempa Ditinjau dari Penyebabnya

Gempa bumi biasa disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi) secara tiba-tiba (*sudden slip*). Pergeseran secara tiba-tiba terjadi karena adanya sumber gaya (*force*) sebagai penyebabnya, baik bersumber dari alam maupun dari bantuan manusia (*artificial earthquakes*). Berikut ini adalah macam – macam gempa menurut Widodo Pawirodikromo pada bukunya yang berjudul Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan :

#### a. Gempa Reruntuhan (*Collapse Earthquake*)

Pada umumnya gempa bumi dipahami apabila terjadi getaran tanah secara tiba-tiba baik yang dapat dirasakan oleh manusia maupun yang tidak. Runtuhan lapisan tanah baik runtuh di dalam gua-gua dan tambang-tambang (*mine burst*) dalam batas-batas tertentu dapat mengakibatkan getaran pada tanah. Kenapa gua-gua atau tambang menjadi runtuh, semata-mata karena tegangan yang berlebihan akibat gaya gravitasi ataupun perubahan properti tanah/batuan.

#### b. Gempa Vulkanik (*Volcanic Earthquake*)

Gempa vulkanik terjadi karena adanya aktifitas vulkanik yaitu proses keluar paksa magma panas ke atas permukaan tanah. Keluar paksa yang dimaksud adalah keluarnya magma yang tidak lancar (mengalir misalnya), sehingga dapat menimbulkan ledakan. Oleh karena itu gempa vulkanik berhubungan dengan kegiatan ledakan gunung berapi, mulai dari ledakan cukup kecil maupun besar. Keluarnya magma panas secara paksa tersebut juga sejalan dengan terjadinya *driving force* akibat panas yang ada di dalam bumi. Getaran tanah yang ditimbulkan oleh proses keluarnya magma panas secara paksa (meledak) menyerupai gempa bumi walaupun intensitasnya lebih kecil dari gempa tektonik.

#### c. Gempa Ledakan (*Explosion Earthquake*)

Gempa ledakan terjadi karena adanya ledakan yang sangat besar di dalam tanah misalnya akibat percobaan ledakan nuklir di bawah tanah. Ledakan nuklir di bawah tanah dapat akan menghasilkan energi nuklir, panas dan tekanan yang sangat tinggi. Akibatnya, tanah/batuan dipusat ledakan bahkan dapat menguap/menjadi uap karena begitu tingginya panas dan tekanan. Energi panas dan tekanan yang sangat besar kemudian merambat dari pusat ledakan ke segala arah termasuk ke

permukaan tanah. Rusaknya massa batuan akibat ledakan dapat merambat sebagaimana rusak/pecahnya massa tanah akibat gempa (*fault*). Rusaknya massa tanah/batuan dapat saja sampai dipermukaan tanah sehingga batuan/massa tanah dapat terlempar ke atmosfer. Begitu besarnya energi getaran yang ditimbulkan sehingga getaran tersebut dapat merambat di permukaan kesegala arah dan dapat dirasakan getaranrrya seperti gempa bumi.

#### d. Gempa Tektonik (*Tectonic Earthquake*)

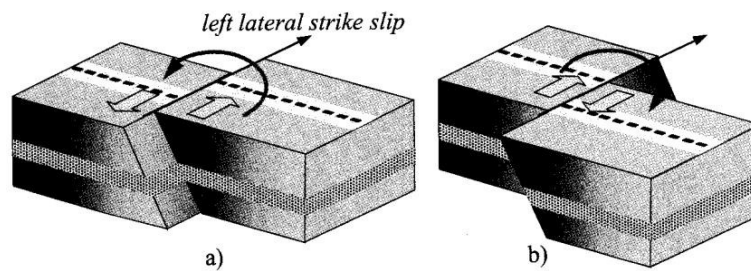
Gempa tektonik adalah gempa yang umumnya paling besar dibanding dengan jenis gempa-gempa yang lain. Gempa bumi jenis ini erat sekali hubungannya dengan aktivitas lempeng tektonik baik skala regional maupun global. Gerakan lempeng tektonik/massa batuan dapat saling beradu (*convergent*), saling menggeser (*shear*), saling tarik (*tension*) dan kombinasi diantaranya. Dua lempeng tektonik yang saling beradu atau menggeser akan mengakibatkan tegangan, deformasi dan berarti akan terjadi akumulasi energi regangan (*strain energy*). Apabila tegangan batuan yang terjadi sudah sedemikian besar dan tidak lagi dapat ditahan oleh batuan maka kerusakan batuan akan terjadi. Kerusakan lapis kerak bumi yang terjadi secara tiba-tiba menimbulkan getaran yang disebarkan ke semua arah yang selanjutnya merambat sampai permukaan tanah. Getaran tanah tersebut dikenal sebagai gempa bumi tektonik.

## 2. Macam – Macam *fault* Model

Pada analisis metode *time history*, dibutuhkan input jenis tipe patahan, berikut macam – macam patahan :

### a. *Strike Slip Fault*

*Strike slip* adalah patahan/*fault* dimana massa batuan menggeser secara horizontal atau patahan yang searah dengan *strike vector*. Patahan ini terjadi akibat dua lempeng tektonik atau dua massa batuan yang bergerak horizontal secara berlawanan. Patahan jenis ini kemudian disebut *Stike-Slip Fault* (SSF) (Pawirodikromo, 2012).

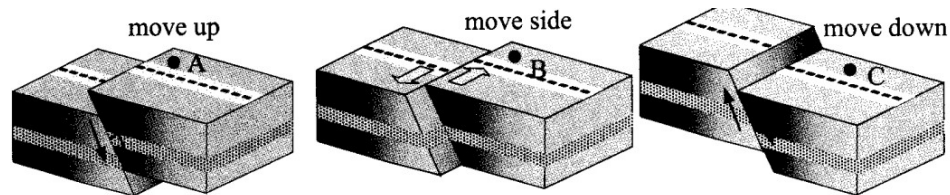


Gambar 2.1 Ilustrasi *strike slip fault*.

(Sumber : *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*)

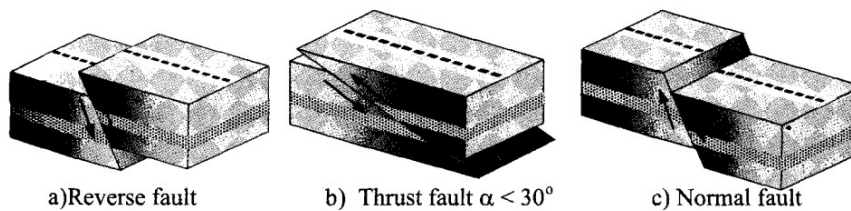
#### b. *Dip-Slip Fault*

Slip pada *Dip-Slip Fault* akan searah dengan *dip vector* (slip ke atas atau ke bawah). Slip jenis ini dikategorikan menjadi dua, yaitu slip akibat gaya desak (*compression stress*) dan slip akibat gaya tarik (*tension stress*). Slip akibat gaya desak dibagi menjadi dua yaitu *reverse fault* (RF) dan *thrust fault* (TF). *Reverse fault* apabila *dip-angle* yang terjadi cukup besar sedangkan *thrust fault* apabila *dip-angle* relatif kecil, keduanya kadang-kadang disebut *move up*. Sedangkan patahan akibat gaya tarik disebut *normal fault* (NF) atau *move down* (Pawirodikromo, 2012).



Gambar 2.2 *Faults* : a) *reverse fault*, b) *strike-slip fault* dan c) *normal fault*.

(Sumber : *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*)



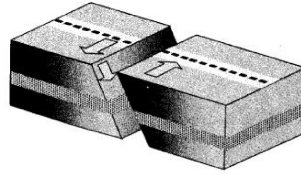
Gambar 2.3 Ilustrasi *fault*.

(Sumber : *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*)

#### c. *Dip-Strike Slip Fault*

*Fault* jenis ini merupakan kombinasi antara *strike -slip fault* dengan *dip-slip fault*. Patahan kombinasi ini umumnya disebut *oblique fault* (OF). Kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa suatu *fault* kadang-kadang tidak murni satu jenis

tetapi dapat kombinasi diantainya. Kombinasi itu misalnya antara normal *fault* dengan *strike slip fault*.



Gambar 2.4 Ilustrasi *dip-strike slip fault*.  
(Sumber : *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*)

### 3. Energi Gelombang Gempa

Gelombang Gempa adalah gelombang suara yang merambat melalui inti bumi atau media elastis lainnya, merupakan energi akustik frekuensi rendah. Gelombang gempa diukur dengan seismograf (Suharjanto, 2002). Sebelum terjadi gempa, pada daerah fokus terjadi akumulasi energi/tegangan yang besar sebagai akibat dari adanya kopel gaya. Oleh karena itu pada saat terjadinya gempa atau saat patah/pecahnya massa batuan, akan terjadi pelepasan energi (*released energy*) yang sangat besar yang umumnya kemudian disebut energi gelombang gempa. Energi gelombang gempa menyebar dari fokus dan menuju kesegala arah (Pawirodikromo, 2012).

Ada dua jenis gelombang gempa yaitu gelombang-dalam tanah (*body waves*) yang merambat dari pusat gempa ke permukaan tanah dan gelombang permukaan (*surface waves*) yang merambat sepanjang permukaan tanah. Gelombang dalam tanah (*body waves*) terdiri dari dua macam gelombang (Suharjanto, 2002), yaitu :

- 1) Gelombang-P (gelombang primer) adalah gelombang yang merambat secara longitudinal atau kompresi. Dalam media padat (solid), gelombang ini umumnya merambat hampir dua kali lebih cepat gelombang S dan dapat berjalan melalui semua jenis material.
- 2) Gelombang-S (gelombang sekunder) yang merambat secara transversal atau geser, yang berarti bahwa tanah tersebut dipindahkan tegak lurus terhadap arah propagasi. Gelombang-S hanya dapat melakukan perjalanan melalui benda padat dan cairan (liquid). Kecepatan gelombang-S adalah sekitar 60% dari gelombang-P.

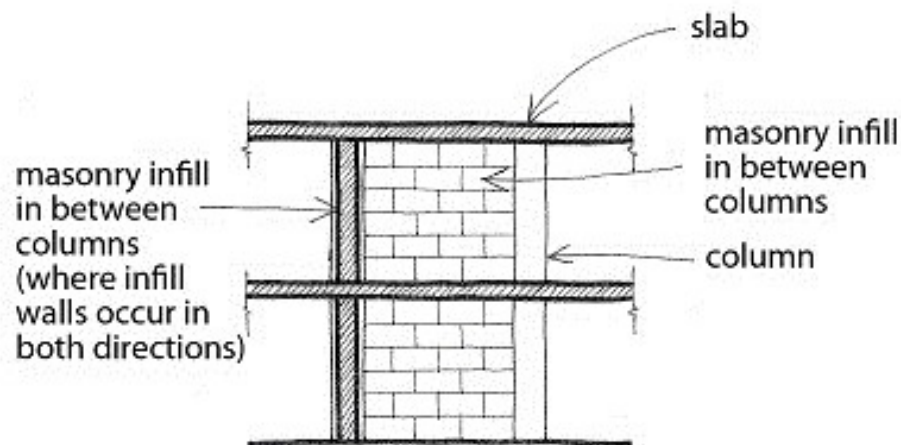
Getomhang permukaan (*surface wave*) dianalogikan dengan gelombang air dan perjalanan sepanjang permukaan bumi. Gelombang ini merambat lebih lambat dari *body waves*. Ada dua jenis gelombang permukaan: gelombang *Rayleigh* dan gelombang *Love* (Suharjanto, 2002).

- 1) Gelombang *Rayleigh*, juga disebut *grounil roll*, adalah gelombang permukaan yang berjalan sebagai riak dengan gerakan yang mirip dengan gelombang pada permukaan air.
- 2) Gelombang *Love* adalah gelombang permukaan yang menyebabkan lingkaran geser tanah. Gelombang ini biasanya merambat sedikit lebih cepat daripada gelombang

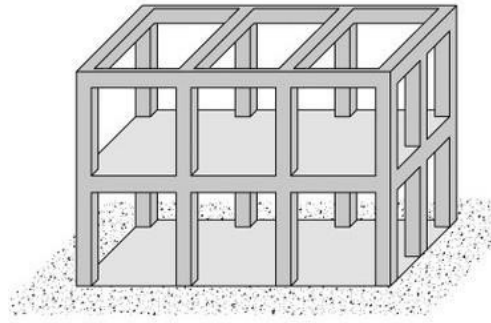
## B. Analisis Beban Seismik

### 1. Sistem Struktur

Sistem struktur dibagi menjadi dua sistem yang apabila ditinjau dari sistem analisis *frame*-nya yaitu sistem *infilled frame* dan sistem *open frame*. Sistem *infilled frame* merupakan sistem dimana saat menganalisis-nya mempertimbangkan dinding sebagai elemen struktural. Sedangkan sistem *open frame* adalah sistem yang tidak mempertimbangkan dinding sebagai elemen struktur melainkan hanya sebagai beban. Hal ini mengakibatkan perbedaan hasil dari kekakuan struktur.



Gambar 2.5 Sketsa sistem struktur *infilled frame*.  
(Sumber : <https://taxonomy.openquake.org>)



Gambar 2.6 Ilustrasi sistem struktur *open frame*.  
(Sumber : <https://taxonomy.openquake.org>)

## 2. Metode Analisis Statik Ekuivalen

Metode analisis statik ekuivalen adalah suatu cara analisis statik tiga dimensi linier dengan meninjau beban-beban gempa statik ekuivalen, sehubungan dengan sifat struktur gedung beraturan yang praktis berperilaku sebagai struktur dua dimensi, sehingga respons dinamik-nya hanya ditentukan oleh respons ragam-nya yang pertama dan dapat ditampilkan sebagai akibat dari beban gempa statik ekuivalen. (SNI-03-1726, 2002)

Sesuai SNI-03-1726, 2002 analisis gempa dengan metode statik ekuivalen disarankan hanya untuk bangunan beraturan dengan kriteria sebagai berikut :

- a. Tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 10 tingkat atau 40 m.
- b. Denah struktur gedung adalah persegi panjang tanpa tonjolan dan kalau pun mempunyai tonjolan, panjang tonjolan tersebut tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah tonjolan tersebut. - Denah struktur gedung tidak menunjukkan coakan sudut dan kalau pun mempunyai coakan sudut, panjang sisi coakan tersebut tidak lebih dari 15% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah sisi coakan tersebut.
- c. Sistem struktur gedung terbentuk oleh subsistem-subsistem penahan beban lateral yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama ortogonal denah struktur gedung secara keseluruhan.
- d. Sistem struktur gedung tidak menunjukkan loncatan bidang muka dan kalau pun mempunyai loncatan bidang muka, ukuran dari denah struktur bagian gedung yang menjulang dalam masing-masing arah, tidak kurang dari 75% dari ukuran

terbesar denah struktur bagian gedung sebelah bawahnya. Dalam hal ini, struktur rumah atap yang tingginya tidak lebih dari dua tingkat tidak perlu dianggap menyebabkan adanya loncatan bidang muka.

- e. Sistem struktur gedung memiliki kekakuan lateral yang beraturan, tanpa adanya tingkat lunak. Yang dimaksud dengan tingkat lunak adalah suatu tingkat, di mana kekakuan lateralnya adalah kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan lateral rata-rata tiga tingkat di atasnya. Dalam hal ini, yang dimaksud dengan kekakuan lateral suatu tingkat adalah gaya geser yang bila bekerja di tingkat itu menyebabkan satu satuan simpangan antar-tingkat.
- f. Sistem struktur gedung memiliki berat lantai tingkat yang beraturan, artinya setiap lantai tingkat memiliki berat yang tidak lebih dari 150% dari berat lantai tingkat di atasnya atau di bawahnya. Berat atap atau rumah atap tidak perlu memenuhi ketentuan ini.
- g. Sistem struktur gedung memiliki unsur-unsur vertikal dari sistem penahan beban lateral yang menerus, tanpa perpindahan titik beratnya, kecuali bila perpindahan tersebut tidak lebih dari setengah ukuran unsur dalam arah perpindahan tersebut.
- h. Sistem struktur gedung memiliki lantai tingkat yang menerus, tanpa lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat. Walaupun ada lantai tingkat dengan lubang atau bukaan seperti itu, jumlahnya tidak boleh melebihi 20% dari jumlah lantai tingkat seluruhnya.

Gaya gempa sebenarnya bekerja secara dinamis, namun untuk mempermudah perhitungan dan agar lebih praktis pada metode analisis statik ekuivalen efek beban dinamik kemudian disederhanakan menjadi gaya horizontal  $F$  yang bekerja pada pusat massa. Gaya horizontal yang bekerja pada pusat-pusat massa bangunan tersebut sifatnya hanya statik, artinya besar dan tempatnya tetap, sementara beban dinamik intensitasnya berubah-ubah menurut waktu (dinamik). Gaya-gaya horizontal tersebut sifatnya hanya ekuivalen sebagai pengganti/representasi dari efek beban dinamik yang sesungguhnya terjadi saat terjadi gempa bumi. Oleh karena itu gaya-gaya horizontal tersebut secara umum disebut sebagai gaya/beban horizontal ekuivalen statik (Pawirodikromo, 2012).



Respon struktur akibat gempa sangat dipengaruhi oleh bentuk bangunan itu sendiri. Bangunan dengan bentuk beraturan, sederhana, dan simetris akan berperilaku lebih baik terhadap gempa dibandingkan dengan bangunan yang tidak beraturan (Pauly dan Priestley, 1992). Untuk struktur bangunan beraturan pengaruh gempa rencana dapat ditinjau sebagai pengaruh beban gempa yang berperilaku statik, yaitu suatu representasi dari beban gempa setelah disederhanakan dan dimodifikasi. (Nasution & Teruna)

a. *Base Shear*

*Base shear* adalah perkiraan gaya lateral yang akan terjadi karena pergerakan tanah dasar di dasar suatu struktur (Mike Dodson, 2000). Perhitungan *base shear* dipengaruhi oleh kondisi tanah di lokasi, kedekatan dengan potensi sumber aktivitas seismik (seperti kesalahan geologi), probabilitas pergerakan tanah seismik yang signifikan tingkat daktilitas dan kekuatan lebih terkait dengan berbagai konfigurasi struktural dan berat total struktur dan periode alami dari getaran struktur ketika mengalami beban dinamis (Mike Dodson, 2000)

b. *Story Drift*

Didefinisikan sebagai perbedaan lendutan lateral antara dua lantai yang berdekatan. Selama gempa bumi, gaya lateral yang besar dapat dikenakan pada struktur; lendutan lateral dan pergeseran (*drift*) memiliki tiga efek utama pada struktur yaitu gerakan dapat mempengaruhi elemen struktur (seperti balok dan kolom), gerakan dapat mempengaruhi elemen non-struktural (seperti jendela dan cladding) dan gerakan dapat mempengaruhi struktur yang berdekatan. Tanpa pertimbangan yang tepat selama proses desain defleksi yang berlebihan dan *drift* dapat memiliki efek buruk pada elemen struktur, elemen nonstruktural, dan metode *time history* (Sameer & Gore, 2016).

3. Metode Analisis *Time History*

Menurut Pawirodikromo, W. (2012), analisis dinamik *time history* merupakan metode yang paling akurat, tetapi memerlukan hitungan yang banyak dan waktu yang lama. Setelah perkembangan teknologi khususnya dibidang *software* komputer berkembang, metode ini mulai sering digunakan. Metode ini memiliki

kelebihan dimana cocok untuk bangunan yang tidak regular, denah tidak simetris, dan bangunan tinggi.

Saat menganalisis menggunakan metode *time history* diasumsikan *damping* sebesar 5%. *Damping* adalah energi yang menghilang dikarenakan gerakan ombang ambing bangunan, faktor utamanya dikarenakan friksi. Energi kinetik dari struktur ditransformasikan menjadi panas (Lindeburg & McMullin, 2008). Ada beberapa macam *damping* yaitu *external viscous damping*, *internal viscous damping*, *body-friction damping*, *radiation damping* dan *hysteresis damping*.

*External viscous damping* disebabkan oleh pergerakan struktur melalui udara di sekitarnya (atau air, di kasus tertentu). Biasanya tergolong kecil jika dibandingkan dengan sumber *damping* lainnya. *Internal viscous damping*, biasanya satu satunya *damping* yang dimodelkan, *damping* ini berhubungan dengan viskositas dari material bangunan. *Body-friction damping* atau *Coulomb friction*, disebabkan oleh friksi diantara *member*. Ini termasuk gesekan pada *join*. Sumber lain *damping* adalah *radiation damping*, timbul saat struktur bergetar dan menjadi sumber energi untuk *damping*. Beberapa energi radiasi kembali melalui pondasi dan kembali ke tanah. Dan yang terakhir, *hysteresis damping* timbul saat struktur leleh saat masa leleh (Lindeburg & McMullin, 2008)

Data percepatan permukaan tanah (PGA) berupa akselerogram, yaitu grafik perbandingan percepatan permukaan tanah (PGA) terhadap waktu atau durasi saat terjadinya gempa. Data akselerogram ini akan menjadi parameter gempa masukan untuk perancangan atau analisis struktur. Gaya gempa masukan yang digunakan berupa percepatan maksimum permukaan tanah (PGA) dari rekaman gempa sebenarnya.

#### 4. Metode Analisis Respons Spektrum

Respon spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur (T), lawan respons-respons maksimumnya untuk suatu rasio redaman dan beban gempa tertentu Respons maksimum dapat berupa simpangan maksimum (*Spectral Displacement*, SD), kecepatan maksimum (*Spectral Velocity*, SV) atau percepatan maksimum (*Spectral Acceleration*, SA) suatu massa struktur dengan derajat kebebasan tunggal (*Single Degree of Freedom*,

SDO) (Pawirodikromo, 2012). Analisa respons riwayat waktu adalah suatu cara analisa dinamik struktur, dimana suatu model matematik dari struktur dikenakan riwayat waktu dari gempa-gempa hasil pencatatan atau gempa-gempa tiruan terhadap riwayat waktu dari respons struktur ditentukan (Rendra, Kurniawandy, & Djauhari, 2015).

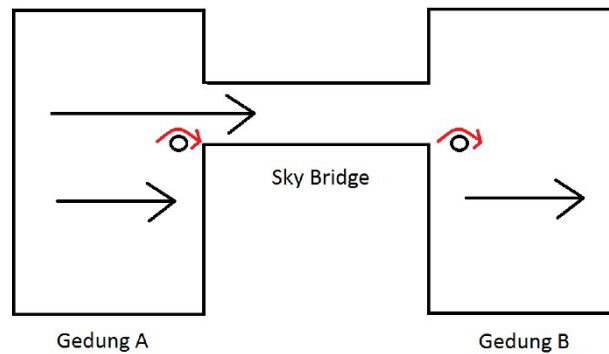
Gaya geser dasar V merupakan pengganti/penyederhanaan dari getaran gempa bumi yang bekerja pada dasar bangunan dan selanjutnya digunakan sebagai gaya gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung (Pawirodikromo, 2012). Gaya geser dasar V akan didistribusikan secara vertikal sepanjang tinggi struktur sebagai gaya horizontal tingkat  $F_i$  yang bekerja pada masing-masing tingkat bangunan. Dengan menjumlahkan gaya horizontal  $F_i$  pada tingkat-tingkat yang ditinjau dapat diketahui gaya geser tingkat  $V_i$ , yaitu gaya geser yang terjadi pada dasar tingkat yang ditinjau (Faizah & Widodo, Analisis Gaya Gempa Rencana Pada Struktur Bertingkat Banyak Dengan Metode Dinamik Respond Spektra, 2013) .

Dinamik secara sederhana dapat didefinisikan sebagai perubahan waktu. Beban dinamik adalah setiap beban yang besarnya, arahnya atau posisinya berubah menurut waktu. Demikian juga, respons struktur terhadap beban dinamik, yaitu lendutan dan tegangan yang dihasilkan, juga perubahan waktu, atau sifat dinamik.

### **C. Bangunan**

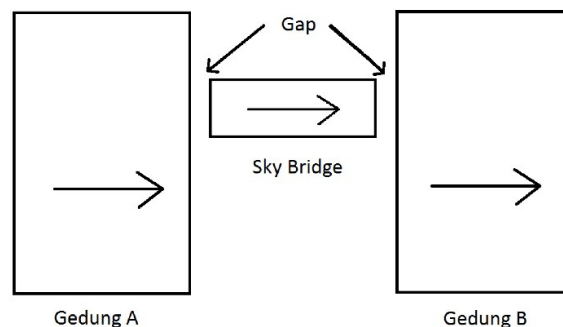
#### **1. Plan Irregularity**

Kebanyakan bangunan jauh lebih kompleks dari bentuk kotak yang sederhana. Saat beberapa geometrik bangunan bergabung menjadi satu bangunan maka bangunan tersebut disebut bangunan *multimassed* (Ambrose & Vergun, 1999). Untuk bekerja dengan baik pada saat gempa bumi, bangunan harus memiliki empat atribut utama yaitu konfigurasi denah sederhana dan teratur, kekuatan lateral yang memadai, kekakuan dan daktilitas (Sameer & Gore, 2016).



Gambar 2.7 Ilustrasi konsentrasi gaya pada denah objek penelitian sebelum diberi *gap*.

Asimetris atau denah yang tidak beraturan adalah bangunan yang memberi respon seismik tidak hanya translasi tetapi juga torsi, dan merupakan hasil dari kekakuan dan/atau eksentrisitas massa dalam struktur. Asimetri mungkin sebenarnya terdapat juga pada struktur simetris yang dikarenakan ketidakpastian dalam evaluasi pusat massa dan kekakuan, serta ketidakteelitian dalam pengukuran dimensi elemen struktur (Sameer & Gore, 2016).

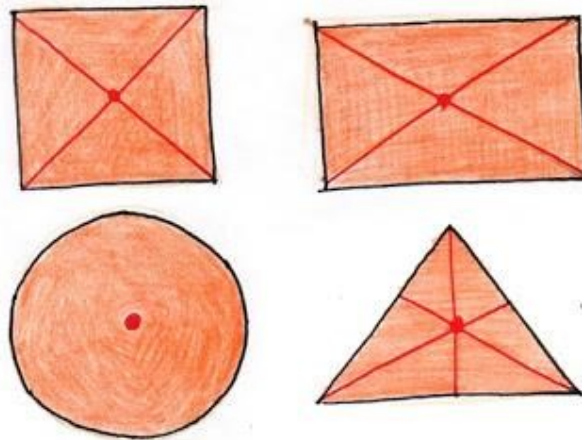


Gambar 2.8 Ilustrasi konsentrasi gaya pada denah objek penelitian setelah diberi *gap*.

## 2. Pusat Masa

Pusat massa adalah letak titik tangkap resultan beban mati dan beban hidup yang sesuai yang bekerja pada lantai tingkat tersebut (Sunaryati, Kurniawan, & Putra, 2009). Dalam analogi statistik, pusat massa adalah rata-rata lokasi distribusi massa di ruang (Sameer & Gore, 2016). Menurut IS: 1893-2002, pusat massa adalah titik di mana resultan dari massa sistem bertindak. Hal ini sesuai dengan

pusat gravitasi dari massa sistem. Gempa diinduksi gaya lateral di lantai sebanding dengan massa. Oleh karena itu, resultan gaya akan melewati pusat massa dari lantai.



Gambar 2.9 Sketsa titik berat dari benda.  
(Sumber : <http://ihilmy.blogspot.co.id/>)

### 3. Pusat Kekakuan

(Sameer & Gore, 2016) Mengatakan bahwa pusat kekakuan merupakan pusat massa kekakuan dalam lantai-diafragma. Ketika pusat kekakuan dikenakan beban lateral, lantai diafragma akan mengalami perpindahan translasi. Lantai lain bebas untuk bergerak dan memutar karena perilaku digabungkan secara horizontal (lantai) dan bersama tinggi. Sebagai fungsi dari sifat struktural, pusat kekakuan merupakan beban yang independen.

### 4. Shear Wall

*Shear wall* atau juga biasa disebut *vertical diaphragms* termasuk dalam dinding yang berguna untuk menahan beban lateral. Beban lateral yang biasa ditemukan pada kondisi rill adalah beban gempa. Bila bangunan tidak memiliki *shear wall* beban lateral akan dialirkan ke balok-balok, karena kapasitas dari balok cukup rendah maka digunakan penahan lateral *shear wall*. Pemilihan konstruksi *shear wall* harus dibatasi sesuai dengan *magnitude* dari gempa yang bekerja (Ambrose & Vergun, 1999). Selain menahan beban lateral *shear wall* juga menambah kekakuan struktur.

Tembok bata pada struktur dapat dianggap sebagai struktur karena keberadaan *shear wall* dapat menambah kekakuan serta menahan beban. Pada penelitian ini tembok pada bangunan tidak dimodelkan karena pemodelan tembok pada struktur

tidak memberikan perbedaan yang signifikan dan asumsi tembok sebagai beban juga akan memberikan kondisi kritis pada struktur. Sehingga penahan gaya lateral akibat gempa akan ditahan oleh *shear wall* dan dialirkan ke pondasi.

#### D. Penelitian Terdahulu

Pada penelitian yang dilakukan oleh Fauziah Nasution dan Daniel Rumbi Teruna dilakukan perbandingan analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik respon spektrum. Struktur yang ditinjau yaitu struktur beraturan dan tidak beraturan diambil dari konfigurasi struktur yang memiliki perbedaan massa. Peraturan yang digunakan adalah RSNI 03-1726-2012 dan dianalisis menggunakan bantuan *software* SAP 2000 versi 14.

Dilakukan pula penelitian untuk mengetahui karakterisasi sumber gempa Yogyakarta 2006 berdasarkan data GPS. Disimpulkan oleh peneliti bahwa pola perpindahan dan pola arah anomali *strain* geser maksimum di daerah penelitian menunjukkan adanya sesar ber-arah barat daya-timur laut dengan jenis sesar mendatar mengiri. Sesar tersebut dikenal dengan nama Sesar Opak . Nilai *strain* normal yang berorientasi dalam barat-timur lebih besar dibandingkan dengan nilai *strain* normal yang berorientasi dalam arah selatan-utara (Cecep Sulaeman & triyoso, 2008).

Setelah itu Hasanuddin Z. abiding dkk, juga meneliti deformasi koseismik dan pascaseismik gempa Yogyakarta 2006 dengan bantuan data hasil survei GPS. Dalam penelitiannya didapat besar deformasi koseismik gempa Yogyakarta 2006 berkisar antara 10 - 15 cm atau lebih kecil, baik dalam komponen horizontal maupun vertikal; dan deformasi pascaseismiknya dalam arah horizontal adalah sekitar 0,3 sampai 9,1 cm (Hasanuddin Z. abidin, 2009). Peneliti juga menyimpulkan sesar penyebab gempa Yogyakarta 2006 adalah sesar sinistral (*left-lateral*) dengan sudut *strike* sekitar  $480^{\circ}$  dan sudut kemiringan (*dip angle*) sekitar  $890^{\circ}$ .

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Muhammad Luthfi Rifa'I dkk, (2014) dilakukan di Surakarta dengan objek penelitian sebuah Hotel yang dievaluasi dengan metode respon spektrum. Parameter yang digunakan adalah *base shear*, *displacement*, dan *drift*. Dianalisis menggunakan *software* ETABS dan

menggunakan dua standar yaitu SNI 03-1726-2002 yang kemudian di evaluasi dengan SNI 03-1726-2012. Selanjutnya dilakukan penelitian oleh Fajri Pratama dkk, (2014) mengenai evaluasi kinerja struktur gedung 10 lantai dengan analisis *Time History*. Penelitian ini menggunakan parameter *drift* dan *displacement* dan dibantu dengan program *ETABS*.

Pada tahun 2015 dilakukan studi perbandingan pembebanan gempa static ekuivalen dan dinamik *time history* pada gedung bertingkat di Yogyakarta oleh Restu Faizah. Struktur yang dijadikan penelitian ini memiliki struktur beton dan terdiri dari gedung bertingkat 5, gedung bertingkat 10, gedung betingkat 20, gedung bertingkat 25, dan gedung bertingkan 30. Analisis dibantu dengan program *Matlab* dan menggunakan akselerogram gempa Yogyakarta tahun 2006. Disimpulkan pada penelitian tersebut untuk bangunan 5 lantai metode statik ekuivalen lebih tepat digunakan. Sedangkan analisis dinamik lebih tepat digunakan untuk gedung 10 lantai.