

BAB II

LANDASAN TEORI

Gempa ialah suatu peristiwa pelepasan energi pada suatu tempat di perbatasan lempeng-lempeng plat tektonik. Dalam prosesnya karena permukaan plat-plat itu tidak licin, maka gerakan plat itu terhambat oleh gaya gesek pada bidang sentuh antara plat-plat itu. Akibat adanya hambatan gerakan itu maka terjadilah akumulasi atau pengumpulan energi. Jika tenaga yang dikumpulkan akibat hambatan itu sudah besar dan melampaui kekuatan geser bidang sentuh antara plat-plat itu maka akan terjadi gerakan, dan karena melepaskan energi yang sangat besar maka mengakibatkan getaran yang besar pula dan merambat ke batuan di sekitarnya, juga muncul ke permukaan tanah yang dikenal sebagai gempa bumi (Tjokrodimuljo, 1993).

Ada empat karakteristik yang mempengaruhi besarnya kerusakan akibat gempa. Dua diantaranya, jenis tanah dan jenis bangunan, merupakan faktor yang bukan berasal dari gempa. Faktor-faktor tersebut adalah :

1. Kekuatan guncangan

Semakin jauh suatu titik dari pusat gempa, semakin berkurang kekuatan guncangannya. Demikian juga semakin dalam pusat gempanya, semakin kecil efek yang ditimbulkan olehnya.

2. Lama guncangan

Lama tidaknya suatu guncangan tergantung pada perilaku daerah patahan itu selama gempa. Pada suatu gempa dengan *magnitude* 7, tercatat waktu

berlangsung gempa 10 – 15 detik. Bahkan ada yang sampai 30 – 40 detik.

Semakin lama durasinya, semakin parah kerusakan suatu bangunan.

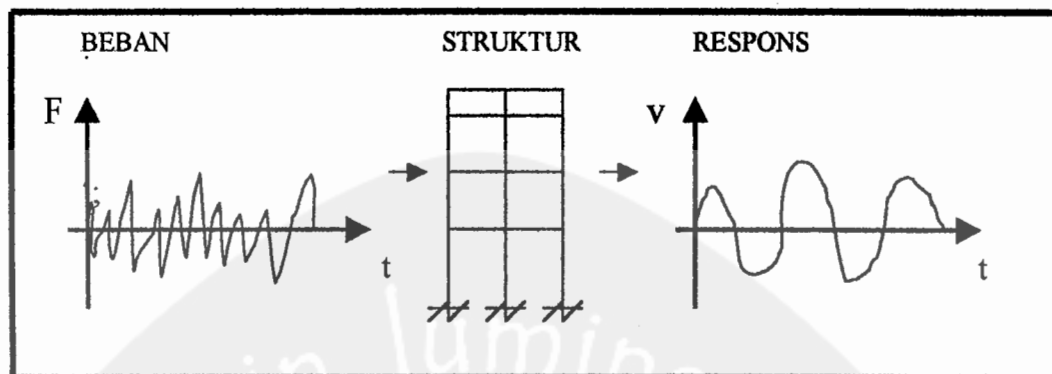
3. Jenis tanah

Kekuatan guncangan akan semakin besar jika terjadi pada tanah lunak dan tanah basah. Pada jenis tertentu, permukaan tanah akan mengalami penurunan.

4. Jenis bangunan

Bangunan berbentuk asimetri yang tidak direncanakan dengan baik untuk menghadapi gempa bisa dipastikan akan mengalami kerusakan cukup parah. Penambahan *bracing* pada suatu bangunan bisa membantu bertahan dalam menghadapi gempa. Selain itu *soft story* terutama pada lantai pertama dapat dipastikan mengalami kerusakan parah karena tidak memiliki cukup kekuatan untuk menahan gaya horisontal yang terjadi.

Suatu struktur umumnya dirancang untuk memenuhi kriteria perancangan yaitu aman dan nyaman terhadap beban yang bekerja. Beban mati dan beban hidup dapat dianggap sebagai beban yang bekerja secara statik pada struktur; artinya nilainya bukan merupakan fungsi waktu. Berbeda dengan itu, beban-beban yang disebabkan oleh gempa, angin dan beban kendaraan merupakan beban dinamik, artinya nilainya merupakan fungsi waktu dan dapat berubah-ubah dalam waktu yang relatif singkat. Oleh karena beban yang bekerja merupakan fungsi waktu, maka respons struktur baik itu perpindahan maupun tegangannya merupakan fungsi waktu juga.



Gambar 2.1. Respons Struktur

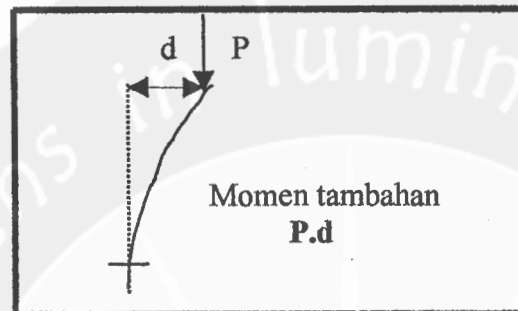
2.1. Metode Analisis Gempa

Dari berbagai pengalaman yang telah terjadi atas kerusakan bangunan akibat terlanda gempa, para ahli bangunan menganalisa mekanisme gaya-gaya di dalam bagian-bagian struktur gedung. Pengetahuan tentang tingkah laku bagian-bagian struktur saat terjadi gempa ternyata menduduki tempat yang lebih penting daripada pengetahuan menghitung beban gempa seperti yang dulu diperkirakan oleh banyak ahli bangunan.

Kerusakan gedung oleh gerakan permukaan tanah saat terjadi gempa bukan oleh gaya luar (seperti beban angin) melainkan oleh gaya dalam, karena titik tangkap beban gempa berimpit dengan titik tangkap massa gedung. Gaya gempa itu timbul karena adanya gerakan massa itu sendiri. Massa gedung baik ukuran maupun bentuknya, secara sendiri-sendiri mempengaruhi sifat beban gempa dan sifat ketahanan konstruksinya. Besar massa merupakan suatu besaran yang tergantung pada massa gedung itu sendiri. Oleh karena itu besar massa akan mempengaruhi atau memperbesar beban gempa sehingga penggunaan struktur yang lebih ringan merupakan penyelesaian-penyelesaian yang disarankan untuk bangunan di daerah yang sering dilanda gempa. Selain memperbesar beban

gempa, pembesaran massa gedung juga mempunyai pengaruh yang kurang baik dalam hal lain.

Pada saat terjadi goyangan akibat gempa, kolom mengalami lendutan sehingga terjadi momen tambahan yang besarnya $= P \cdot d$



Gambar 2.2. Efek P-delta

Hal ini dikenal dengan efek P-delta. Momen tambahan ini ternyata juga makin besar jika massa atau berat gedung semakin besar. Momen tambahan ini umumnya tidak nampak pada hitungan mekanika teknik, tetapi karena sebenarnya ada dan mempengaruhi keruntuhan kolom, maka perlu diperhitungkan pada perencanaan gedung. Di bawah ini berbagai cara yang dapat digunakan untuk menghitung kekuatan gempa, misal :

1. *Magnitude* (skala Richter), untuk kepentingan para ahli seismologi, yang menyatakan besarnya energi yang dilepaskan oleh pusat gempa (*hypocenter*). *Magnitude* (M) didefinisikan oleh Richter pada tahun 1935 dan sering dipakai untuk menyatakan besarnya kekuatan suatu gempa.
2. *Local Intensity* (skala Modified Mercalli, MM), untuk kepentingan para insinyur bangunan, yang menyatakan besar kecilnya getaran atau percepatan permukaan di lokasi struktur. Percepatan permukaan setempat ini yang secara langsung mempengaruhi stabilitas bangunan. Skala Intensitas adalah suatu

skala intensitas getaran tanah atau guncangan gempa yang diukur berdasarkan pengamatan atau perasaan tubuh manusia terhadap perilaku struktur bangunan, kerusakan bangunan dan terhadap benda-benda yang ada di atas permukaan tanah.

Dalam proses perencanaan Bangunan Tahan Gempa dikenal 2 metoda untuk menghitung gaya horisontal akibat beban gempa yang bekerja pada struktur, yaitu analisis beban statik ekuivalen dan analisis dinamis.

1. Analisis Beban Statik Ekuivalen

Cara ini disingkat "ASE", bisa disebut sebagai cara penyederhanaan, yang menganggap struktur masih dalam kondisi elastis dan gaya lateral gempa didistribusikan ke setiap tingkat dalam bentuk segitiga terbalik atau dalam kondisi *first mode*. Cara ini dapat digunakan pada bangunan yang mempunyai kriteria sebagai berikut :

- 1). konfigurasi strukturnya beraturan,
- 2). tinggi bangunan kurang dari 40 meter,
- 3). bentuk (struktur) bangunan sederhana, beraturan dan simetris,
- 4). pembagian masa bangunan seragam,
- 5). perbedaan kekakuan antar tingkatnya disarankan $< 0,15$ rasio tinggi bangunan (H) terhadap lebar terkecilnya (B_{min}) $< 3,0$ atau $H/B_{min} < 3,0$,
- 6). bagian bangunan yang menjorok keluar pada denah (bila ada), tidak melebihi 0,25 kali lebar arah yang ditinjau.

Gaya geser dasar gempa total V_{total} dihitung dengan :

$$V_t = C.I.K.W_t$$

di mana :

C = koefisien gaya gempa dasar, ditetapkan berdasarkan waktu getar alami T dan gambar peta zone gempa,

T = waktu getar alami struktur bangunan, yang dihitung dengan persamaan (2-1) berikut,

$T = 0,085 (H)^{3/4}$ detik, untuk struktur baja, pers (2-1a)

$T = 0,06 (H)^{3/4}$ detik, untuk struktur beton bertulang, pers (2-1b)

$T = 0,09H / \sqrt{B}$ detik, untuk struktur lain (kayu, pasangan), pers (2-1c).

I = faktor keutamaan bangunan, bernilai 1,0-2,0. Untuk bangunan penting (rumah sakit), mempunyai $I > 1,0$,

K = faktor jenis struktur, bernilai 1,0 untuk struktur daktail, $> 1,0$ untuk struktur kurang/tidak daktail, dan = 3,0 untuk struktur sangat langsing dan mudah roboh (cerobong),

W_t = berat beban gravitasi total dari bangunan.

2. Analisis Dinamis

Struktur yang tidak memenuhi persyaratan untuk analisis beban statik ekuivalen di atas, misalnya :

- 1) strukturnya sangat tidak beraturan,
- 2) mempunyai loncatan bidang muka (*setback*),
- 3) kekakuan tingkatnya tidak merata,
- 4) tinggi gedung lebih dari 40 meter,
- 5) bentuk, kegunaannya, ukurannya tidak umum,

maka struktur tersebut harus dihitung dengan menggunakan cara Analisis Dinamik (AD). Tujuan Analisis Dinamik adalah untuk menentukan pembagian gaya geser tingkat akibat gerakan tanah oleh gempa.

Analisis dinamik dari struktur bangunan yang dikenai beban gempa dapat dilakukan dengan 2 metode yaitu Analisis Riwayat Waktu (*Time History Analysis*) dan Analisis Respons Spektrum (*Respons Spectrum Analysis*)

- 1). Analisis Respons Spektrum adalah suatu cara analisis dinamik struktur, dimana model matematik dari struktur diberlakukan suatu spektrum respons gempa rencana, dan berdasarkan hal itu ditentukan respons struktur terhadap gempa rencana tersebut melalui superposisi dari respons masing-masing ragamnya.
- 2). Analisis Riwayat Waktu adalah suatu cara analisis dinamik struktur dimana model matematik dari struktur dikenakan riwayat waktu dari gempa-gempa hasil pencatatan suatu gempa bumi atau gempa-gempa tiruan.

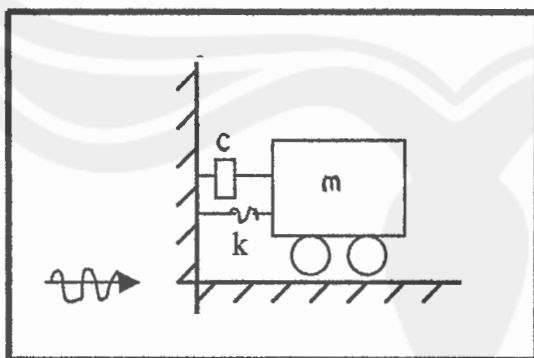
Untuk penulisan tugas akhir ini dipergunakan cara dinamis dengan Analisis Riwayat Waktu (*Time History Analysis*). Respons spektrum percepatan yang dipakai pada perancangan struktur di Indonesia adalah yang tercantum pada gambar 2.3 buku Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung dengan koefisien gempa dasar $C = S_a/g$ dengan $g = 9,81 \text{ m/dt}^2$ (percepatan gravitasi bumi).

2.2. Model dan Derajat Kebebasan

Dalam analisis struktur, pemodelan struktur merupakan hal yang sangat penting agar hasil analisis dapat mencapai hasil yang maksimal. Dengan demikian jelas bahwa model yang baik akan menyebabkan hasil yang diperoleh akan mendekati keadaan yang sebenarnya. Jumlah respons perpindahan yang tidak bergantung dari perpindahan lainnya biasanya diidentifikasi sebagai derajat kebebasan suatu struktur.

Sistem dengan derajat kebebasan tunggal merupakan dasar bagi hitungan sistem dengan derajat kebebasan banyak. Suatu portal gedung satu lantai dengan massa terpusat pada lantainya dianggap sebagai sistem dengan derajat kebebasan tunggal. Dalam hal ini deformasi aksial pada kolom diabaikan sehingga hanya perpindahan arah horisontal yang diperhitungkan sebagai derajat kebebasannya.

Pemodelan struktur dengan bentuk SDOF berupa :



Gambar 2.3. Pemodelan *Single Degree of Freedom* (SDOF)

Persamaan gerakannya :

$$\ddot{x}(t) + 2\beta\omega_n\dot{x}(t) + \omega_n^2x(t) = -a(t)$$

dimana :

$a(t)$ = *acceleartion versus time*

$\omega_n = \sqrt{k/m}$ = frekuensi natural

$T_n = 2\pi/\omega_n$ = periode natural

$\beta = c/2m\omega_n$ = *damping*

Dari pemodelan gedung seperti pada gambar 2.3 dapat kita simpulkan bahwa gedung ini terpusat pada atapnya dan harganya adalah 'm', kita ambil harga kekakuan horizontal gedung sebesar 'k'. Pada kenyataannya bahwa setelah gempa bumi berhenti, maka getaran gedung tidak lama kemudian akan hilang sama sekali tetapi amplitudo gedung akan sama terus menerus selamanya. Oleh karena itu perlu ditambahkan suatu parameter lain untuk menurunkan amplitudo ini, parameter inilah yang disebut peredam atau damping koefisien.

Pada sistem dengan derajat kebebasan banyak ditinjau dengan anggapan sebagai berikut :

1. Massa gedung terpusat pada masing-masing lantai.

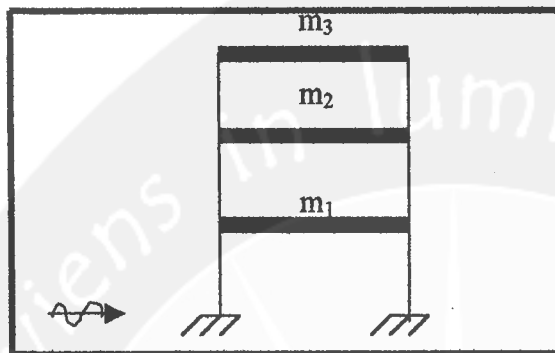
Diasumsikan massa terpusat pada satu titik, biasanya terletak pada pusat beratnya.

2. Lantai gedung sangat kaku (*Rigid Floor Diafragma*), sehingga kekakuan lantai dalam arah horisontal jauh lebih besar dibandingkan kekakuan kolomnya.

3. Deformasi aksial yang terjadi pada kolom diabaikan.

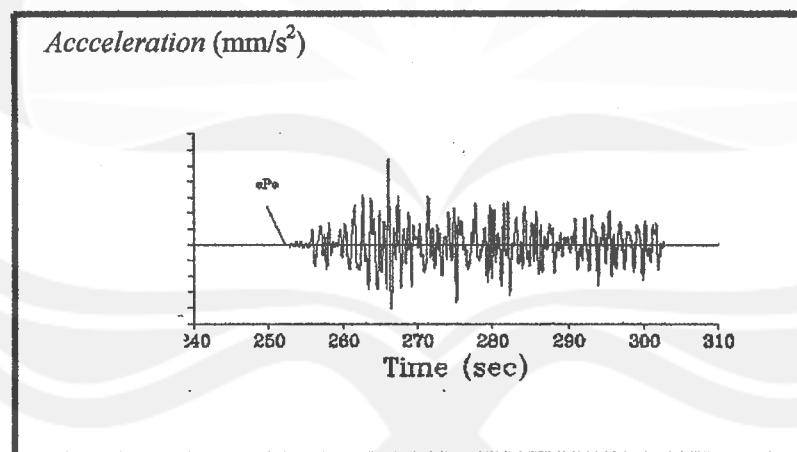
Dengan anggapan tersebut diatas maka gedung dapat dianggap hanya ada satu perpindahan dalam arah horizontal pada masing-masing lantainya.

Pemodelan struktur dengan bentuk MDOF berupa :



Gambar 2.4. Pemodelan *Multi Degree of Freedom* (MDOF)

Beban gempa berupa :



Gambar 2.5. Beban Gempa

2.3. Karakteristik Dinamis

Dalam analisis dinamik, sifat-sifat dinamik struktur seperti massa (m), redaman (c), dan kekakuan (k) sangat berpengaruh terhadap respons struktur. Hal ini berbeda dengan analisis statik dimana hanya kekakuan struktur saja saja yang berpengaruh terhadap respons struktur.

1. Massa struktur (m), menentukan besarnya gaya inersia pada struktur yang besarnya sama dengan massa kali percepatan.
2. Nilai redaman struktur (c), menunjukkan kemampuan struktur untuk meredam getaran. Besarnya gaya redaman ini sebanding dengan kecepatan yaitu redaman struktur kali kecepatan.
3. Kekakuan struktur (k), menunjukkan kemampuan struktur terhadap perubahan deformasi pada struktur. Pengaruh ini dinyatakan sebagai gaya elastik yaitu kekakuan kali perpindahan.

Sedangkan respons dinamik suatu struktur ditentukan oleh 2 faktor, yaitu :

1. Waktu getar (T)

Waktu getar (T) suatu gempa bumi tertentu akan menghasilkan respons maksimum tertentu pula. Sehingga respons spektrum merupakan suatu gambar dari respons maksimum yang dialami oleh suatu sistem SDOF dengan waktu getar masing-masing.

2. Faktor redaman (*damping*)

Besar nilai faktor redaman dipengaruhi oleh :

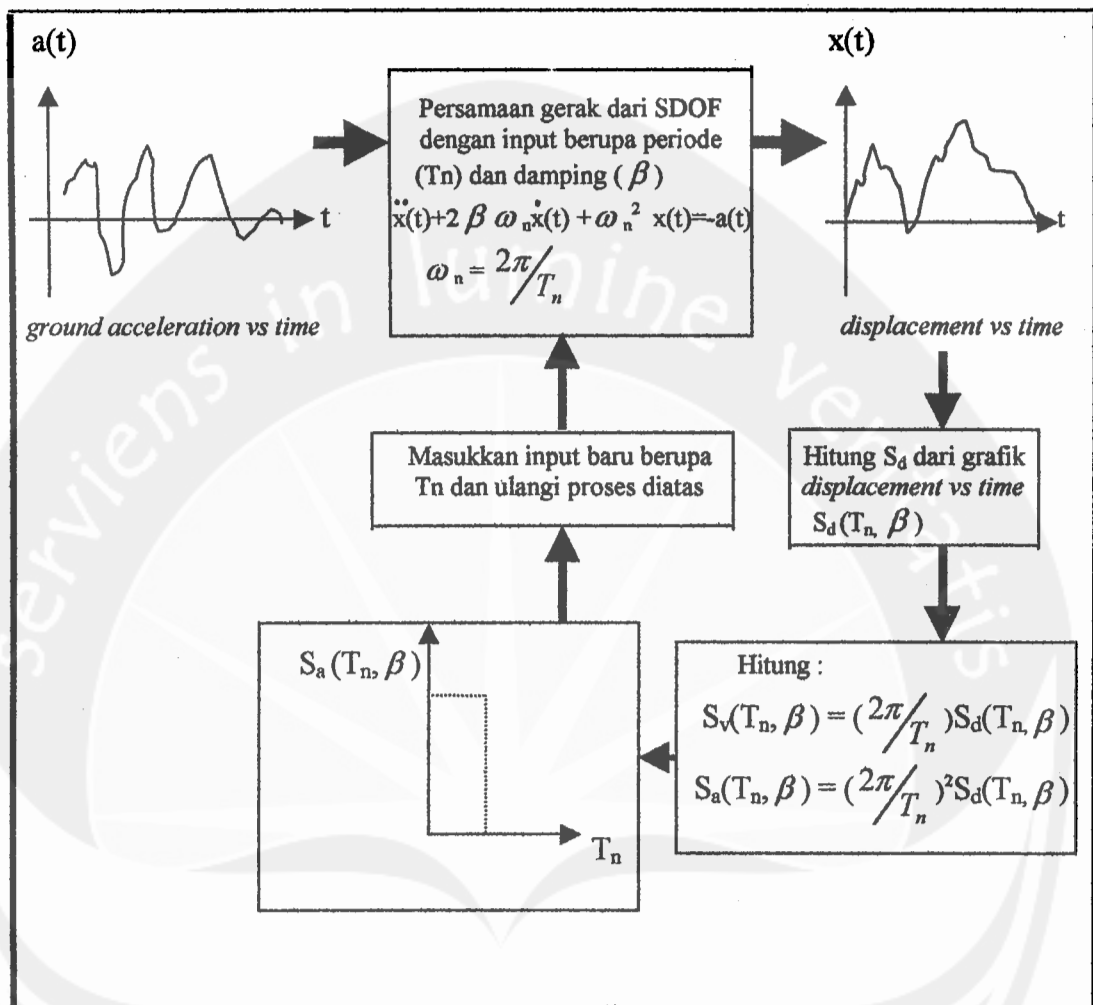
- 1). material yang dipakai
- 2). bentuk / jenis konstruksi
- 3). jenis / keadaan tanah tempat struktur didirikan

2.4. Hitungan Analisis Ragam Respons Spektrum

Respons spektrum merupakan suatu pemetaan yang menunjukkan variasi dari harga maksimum suatu respons parameter tertentu seperti : perpindahan (S_d), percepatan (S_a), kecepatan (S_v) dan lain sebagainya terhadap waktu getar suatu sistem SDOF bila terkena suatu fungsi gaya tertentu, misalnya gaya gempa.

Respons spektrum ini merupakan garis pengaruh respons maksimum suatu bangunan. Waktu getar (T) suatu gempa bumi tertentu akan menghasilkan respons spektrum maksimum tertentu pula. Jadi respons spektrum adalah sekedar suatu gambar dari respons spektrum maksimum yang didapat atau dialami oleh suatu sistem *Single Degree of Freedom* (SDOF) dengan waktu getar masing-masing. Gambar yang diperoleh menunjukkan maksimum respons selama seluruh spektrum dari waktu getar bangunan.

Lengkung respons spektrum berdasarkan analisis respons sistem SDOF dapat digunakan sebagai sarana untuk analisis respons sistem MDOF. Maksimum *relative displacement* (S_d) penting dalam perencanaan karena regangan dalam suatu bangunan proportional terhadap S_d . Maksimum *relative velocity* (S_v) memberikan suatu ukuran terhadap tenaga elastik yang tersimpan didalam sistem. Maksimum *absolute acceleration* (S_a) berhubungan langsung dengan gaya gempa atau koefisien gaya lateral dalam peraturan muatan, juga untuk mengontrol suatu perhitungan karena mudahnya *absolute acceleration* tersebut dicatat.



Gambar 2.6. Bagan Alir Pembuatan Respons Spektrum