

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1 Analisa Struktur Dengan Matrik

Perhitungan statis untuk struktur yang linear elastis dapat dilakukan dengan metode matrik. Pada umumnya struktur mempunyai sifat mekanis dan geometris yang diidealisasikan sebagai :

- Material bertingkah laku secara linear dan elastis
- Lendutan dari struktur dianggap sangat kecil sehingga analisa dapat dilakukan sebagai struktur yang belum dibebani

Dengan perkembangan komputer sebagai alat hitung elektronik yang otomatis, karena formulanya menjadi lebih sederhana dan mudah, dibandingkan dengan metode analisa yang manual. Banyak hal dapat dilakukan dalam analisa struktur sehubungan dengan penggunaan komputer ini, antara lain:

- 1 Analisa struktural, dalam arti kata menghitung gaya-gaya dalam yang timbul pada elemen-elemen struktur sebagai akibat bekerjanya gaya luar pada struktur, dan sekaligus menghitung besarnya tegangan yang terjadi pada penampang-penampang elemen sebagai akibat timbulnya gaya dalam pada elemen yang bersangkutan.
- 2 Perencanaan elemen struktur, sebagai hasil dari analisa yang telah disebutkan di atas, sehingga dengan demikian tegangan elemen dan lendutan stuktur yang terjadi tidak melampaui tegangan dan lendutan yang diijinkan. Setelah selesai perencanaan dapat dilakukan pernggambaran geometrik dari struktur, sebagai hasil dari analisa di atas, lengkap dengan ukuran dan karakteristik bahan dari masing-masing elemen struktur.
- 3 Data prossesing dari hasil test pembebanan, yaitu *prossesing* untuk mendapatkan tegangan dan lendutan sebagai hasil test pembebanan yang dilakukan pada struktur atau elemen struktur

- 4 Perhitungan banyaknya bahan bangunan yang dapat dipakai dan perencanaan biaya.
- 5 Perencanaan time schedule

II.2 Modelisasi Pelat Lantai Dengan Membran Dan Shell

Pelat adalah suatu struktur solid 3 dimensi yang mempunyai tebal h (arah z) lebih kecil dibandingkan dengan dimensi lainnya yaitu: panjang L_x (arah x) dan lebar L_y (arah y)¹.

Modelisasi pelat ada 2 yaitu:

1. Membran

Membran adalah lembaran tipis dan fleksibel, dimana gaya dan deformasi bekerja pada bidang (*inplane*), dalam modelisasi membran dapat dilakukan dengan:

- *Plane stress*
- *Plain strain*

2. Shell

Shell atau cangkang adalah struktur pelat-satu-kelengkungan dimana gaya dan deformasi yang bekerja adalah gabungan dari modelisasi membran dan pelat lentur. Cangkang/ *shell* mempunyai bentang longitudinal dan lengkungannya tegak lurus terhadap diameter bentang

II.3 Beban-beban Pada Bangunan

Beban-beban yang bekerja pada suatu struktur terdiri dari beban langsung dari alam dan beban dari manusia. Oleh karena itu terdapat 2(dua)sumber dasar beban-beban yang bekerja pada suatu struktur bangunan gedung, yaitu *geophysical* dan *man made*.

Gaya-gaya *geophysical* merupakan hasil perubahan secara kontinu dari alam, dan dibagi menjadi gaya gravitasi, meteorologi, dan seismological. Karena adanya gaya gravitasi, berat sendiri dari suatu struktur menjadi sebuah beban yang disebut beban mati (*dead load*) yang besarnya konstan selama umur bangunan. Gaya-gaya meteorological bervariasi tergantung dari waktu, lokasi dan dari cuaca, seperti

¹ Metode Elemen Hingga Untuk Pelat Lentur

angin, temperatur, kelembaban, hujan salju dan es. sedangkan gaya *seismological* berasal dari pergerakan tanah (seperti gempa bumi).

Gaya-gaya buatan (*man made*) berasal dari pergerakan mobil, elevator, mesin dan lainnya, atau bisa juga dari pergerakan manusia dan perabot ruangan yang ada dalam bangunan tersebut, atau juga karena adanya ledakan dan akibatnya.

Kedua sumber beban tersebut, khususnya geophysical, sangat tergantung pada berat, ukuran, bentuk dan juga material yang digunakan pada bangunan tersebut. Seorang *engineer* haruslah membuat sebuah studi kelayakan tentang respon bangunan terhadap beban-beban yang bekerja, agar masalah-masalah yang mungkin timbul dimasa yang akan datang dapat dieliminasi dan keselamatan bangunan dapat terjaga.

II.3.1 Gaya Gravitasi

Gaya gravitasi pada struktur bangunan gedung antara lain:

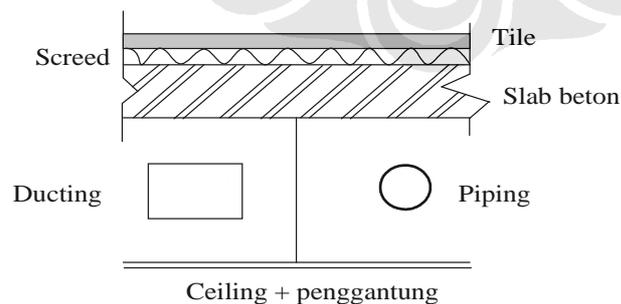
1. Beban Mati

Beban Mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin, serta peralatan yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu².

Beban mati mencakup berat semua bagian struktur gedung yang bersifat tetap, unsur-unsur tembok, *finishing*, mesin-mesin dan peralatan tetap.

- Berat sendiri

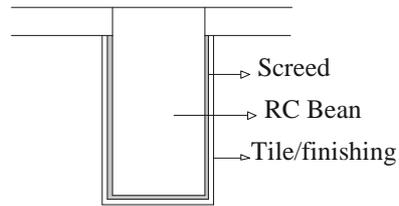
Slab



Gambar 2.1 Slab dan komponen beban gravitasi

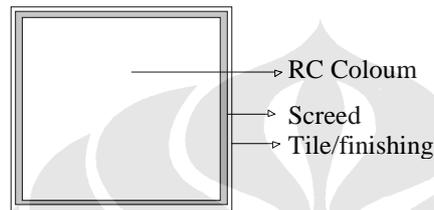
² Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung

Balok (Girder dan beam)



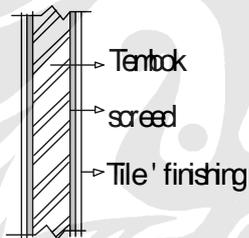
Gambar 2.2 Balok dan girder

Kolom



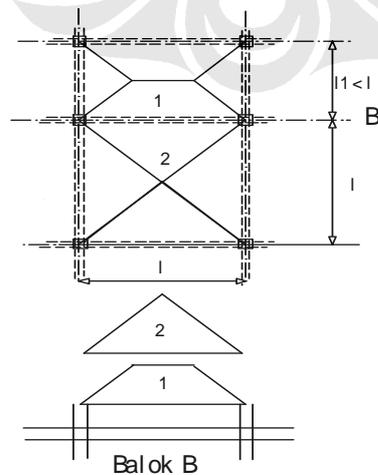
Gambar 2.3 Kolom dan finishingnya

Dinding (Walls):



Gambar 2.4 Tembok dan finishingnya

- Berat sendiri lantai bangunan dan slab beton bertulang dan struktur beton bertulang



Gambar 2.5 Distribusi beban slab pada girder

2. Beban Hidup

Beban Hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut³.

- Beban hidup lantai gedung dapat dilihat pada Table 2 PPPuRdG. Termasuk kedalam beban hidup tersebut:
 - Kelengkapan ruangan
 - Dinding pemisah ringan dengan $g \leq 100 \text{ kg/m}^2$.

Tidak termasuk:

- Lemari-lemari arsip dan perpustakaan
- Alat-alat, mesin
- Beban hidup atap gedung:
 - Dapat dicapai orang: 100 kg/m^2 .
 - Tidak dapat dicapai orang:
 - Air hujan: $(40-0.80\alpha) \leq 20 \text{ kg/m}^2$.
 - Beban terpusat 100 kg .
- Koefisien Beban Hidup

Peluang untuk tercapainya suatu persentase tertentu dari beban hidup yang membebani struktur pemikul suatu gedung selama umur gedung tersebut tergantung pada:

- Bagian struktur yang ditinjau
- Penggunaan gedung
- Tujuan beban tersebut ditinjau.

³ Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung

Tabel 2.1 Koefisien Reduksi Beban Hidup

Penggunaan gedung	Koefisien reduksi beban hidup	
	Untuk perencanaan balok induk dan portal	Untuk peninjauan gempa
PERUMAHAN/PENGHUNIAN: Rumah tinggal, asrama, hotel, rumah sakit	0,75	0,30
PENDIDIKAN: Sekolah, ruang kuliah	0,90	0,50
PERTEMUAN UMUM: Mesjid, gereja, bioskop, restoran, ruang dansa, ruang pagelaran	0,90	0,50
KANTOR: Kantor, bank	0,60	0,30
PERDAGANGAN: Toko, toserba, pasar	0,80	0,80
PENYIMPANAN: Gudang, perpustakaan, ruang arsip	0,80	0,80
INDUSTRI: Pabrik, bengkel	1,00	0,90
TEMPAT KENDARAAN: Garasi, gedung parkir	0,90	0,50
GANG DAN TANGGA:		
— perumahan/penghunian	0,75	0,30
— pendidikan, kantor	0,75	0,50
— pertemuan umum, perdagangan penyimpanan, industri, tempat kendaraan	0,90	0,50

Sumber
Pedoman perencanaan pembebanan untuk Rumah dan Gedung

Tabel 2.2 Koefisien Reduksi Beban Hidup Kumulatif

Jumlah lantai yang dipikul	Koefisien reduksi yang dikalikan kepada beban hidup kumulatif
1	1,0
2	1,0
3	0,9
4	0,8
5	0,7
6	0,6
7	0,5
8 dan lebih	0,4

Sumber
Pedoman perencanaan pembebanan untuk Rumah dan Gedung

3. Kombinasi pembebanan yang harus ditinjau adalah sebagai berikut :

- $U = 1,4 D$
- $U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 (E_x \pm 0,3E_y)$
- $U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 (0,3E_x \pm E_y)$

- $U = 0,9 D \pm 1,0 (E_x \pm 0,3E_y)$
 - $U = 0,9 D \pm 1,0 (0,3E_x \pm 0,3E_y)$
4. Faktor reduksi kekuatan ϕ , dikerjakan pada kekuatan nominal untuk mendapatkan kekuatan rencana yang disediakan oleh sebuah elemen beton bertulang, faktor ϕ untuk lentur, gaya aksial, geser dan torsi adalah sebagai berikut :

Tabel 2.3 Faktor reduksi kekuatan

ϕ	Fungsi
0,8	untuk lentur
0,8	untuk tarik
0,8	untuk aksial tarik dan lentur
0,7	untuk aksial tekan dan lentur, dengan tulangan spiral
0,65	Untuk aksial, aksial tekan dan lentur, dengan tulangan sengkang biasa
0,75	untuk geser dan torsi
0,55	untuk geser pada komponen struktur penahan gempa yang kuat geser nominalnya < gaya geser yang timbul sehubungan dengan pengembangan kuat lentur nominalnya
0,80	untuk geser hubungan balok kolom dan pada balok perangkai dengan tulangan diagonal
0,65	untuk tumpuan beton
0,85	untuk daerah pengangkuran pasca tarik

5. Daktilitas, adalah rasio antara simpangan maksimum diambang keruntuhan dan simpangan leleh awal dari struktur yang ditinjau. Tingkat daktilitas merupakan hubungan beban-lendutan dari struktur yang berespon secara elastik dan daktail sehubungan dengan tingkat daktilitas seperti pada gambar 2.6. Dengan demikian tingkat daktilitas bangunan dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

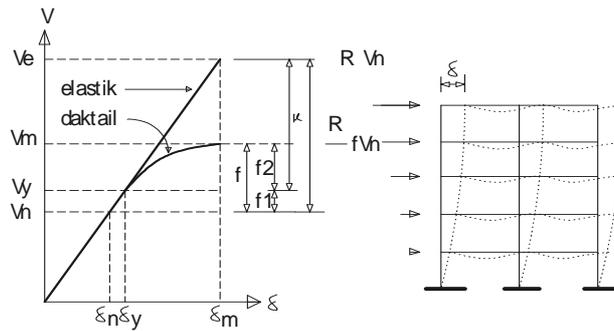


Diagram beban-simpangan (diagram V-d) struktur gedung

Sumber

Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002

gambar 2.6. Diagram beban-simpangan

Tabel 2.4 Daktilitas

Daktilitas	Keterangan
Elastik penuh	Struktur beton diproporsikan sedemikian rupa, sehingga dengan memenuhi persyaratan penyelesaian detail struktur yang ringan, struktur akan berespon terhadap gempa kuat sepenuhnya secara elastik, $\mu=1$. Beban gempa dihitung berdasarkan nilai faktor reduksi gempa $R = 1,6$.
Daktil parsial	Struktur beton diproporsikan sedemikian berdasarkan ketentuan penyelesaian detail khusus yang memungkinkan struktur berespon inelastik terhadap beban siklik yang bekerja tanpa mengalami keruntuhan getas, $\mu=1,5-5,0$. kondisi ini dinamakan juga kondisi daktilitas parsial. Dalam hal ini beban gempa rencana harus diperhitungkan dengan menggunakan nilai faktor reduksi gempa $R = 2,4-8,0$
Daktil penuh	Struktur beton diproporsikan berdasarkan suatu ketentuan penyelesaian detail khusus yang memungkinkan struktur memberikan respon inelastik terhadap beban siklik yang bekerja dan mampu menjamin pengembangan mekanisme sendi plastis dengan kapasitas disipasi energi yang diperlukan tanpa mengalami keruntuhan, $\mu=5,3$. kondisi ini dinamakan juga kondisi daktilitas penuh. Dalam hal ini beban gempa rencana harus diperhitungkan dengan menggunakan nilai faktor reduksi gempa $R = 8,5$

6. Stiffness Modeling

Kekakuan struktur berdasarkan Standar Tata Cara Perencanaan Gempa Untuk Bangunan Gedung:

- a. Kolom dan balok rangka beton bertulang terbuka : 75%
- b. Dinding geser beton bertulang terbuka : 60%
- c. Dinding geser beton bertulang berangkai :
 - Komponen dinding yang mengalami tarikan aksial : 50%
 - Komponen dinding yang mengalami tekanan aksial : 80%
 - Komponen balok perangkai dengan tulangan diagonal : 40%
 - Komponen balok perangkai dengan tulangan memanjang : 20%
- d. Modulus elastisitas beton E_c harus ditetapkan sesuai dengan mutu (kuat tekan) beton yang dipakai, sedangkan modulus elastisitas baja ditetapkan $E_s = 200\text{Gpa}$

Kekakuan elemen struktur berdasarkan Standar Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, SNI-03-2847-2002

- Balok : 0,35 I_g
- Kolom : 0,70 I_g
- Dinding :
 - a. Tidak retak : 0,70 I_g
 - b. Retak : 0,35 I_g
- Pelat datar dan lantai datar : 0,25 I_g
- Luas : 1,00 A_g
- Modulus elastisitas Beton :

a. $E_c = (w_c)^{1,5} 0,043 \sqrt{f'c}$

b. $E_c = 4700 \sqrt{f'c}$

Sedangkan modulus elastisitas baja ditetapkan $E_s = 200\text{Gpa}$

7. Sistem Pemikul Momen

Sistem rangka ruang dalam mana komponen-komponen struktur dan join-joinnya menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial.

Sistem pemikul rangka momen dapat dikelompokkan sebagai berikut:

Tabel 2.5 Sistem Pemikul Momen

Rangka pemikul momen biasa	Suatu sistem rangka ruang yang memenuhi ketentuan-ketentuan butir 1 hingga butir 20 SKSNI, dengan $\mu=2,1$ dan $R=3,5$
Rangka pemikul momen menengah	Suatu sistem rangka ruang yang selain memenuhi ketentuan-ketentuan untuk rangka pemikul momen biasa juga memenuhi ketentuan-ketentuan untuk butir 23.2 dan 23.10, dengan $\mu=3,3$ dan $R=5,5$
Rangka pemikul momen khusus	Suatu sistem rangka ruang yang selain memenuhi ketentuan-ketentuan butir 23.2 sampai butir 23.5, dengan $\mu=5,3$ dan $R=8,5$

II.3.2 Gaya Lateral

Beban angin dan juga beban gempa menyebabkan gaya horizontal pada suatu bangunan, yang disebut gaya dinamik, namun terkadang disebut juga sebagai gaya lateral external, sedangkan pergerakan tanah karena gempa bumi menyebabkan gaya lateral internal, disamping gaya vertikal, yang dihiraukan.

Beban gempa bumi yang menghasilkan gaya lateral internal dihasilkan dari distribusi beban dan kekakuan pada respon gerak. Angin menyebabkan gaya external pada kekakuan bangunan yang bergantung pada luas area bangunan.

Selain angin dan gempa bumi, gaya gravitasi juga menyebabkan gaya lateral pada sebuah bangunan. Ketika posisi kolom miring, gaya gravitasi akan menyebabkan gaya dorong lateral.

1. Beban Angin

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

Beban angin merupakan suatu yang dinamik dan dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan sebagai skala dasarnya dan juga daerah sekitarnya, bentuk, kelangsingan, dan tekture permukaan bangunan serta pengaturan bangunan-bangunan yang berada disekitar bangunan tersebut.

Beban angin mempunyai 2 (dua) komponen aliran, yaitu mean velocity (statik) dan gust velocity (dinamik). Pada statik mean velocity, tekanan angin

yang terjadi merata sepanjang waktu (konstan). Sedangkan pada dinamik gust velocity dihasilkan tekanan angin dinamik yang menyebabkan penambahan perpindahan yang setara dengan lendutan seimbang pada bangunan.

2. Beban Gempa

Beban Gempa adalah semua beban static ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa⁴.

Beban gempa merupakan beban yang bekerja pada sebuah bangunan sebagai pengaruh dari pergerakan tanah akibat gempa. Beban gempa bumi pada suatu bangunan biasanya bersifat sebagai beban dinamik, namun pada kondisi tertentu dapat pula dilakukan analisa statik ekivalen.

Gempa bumi dapat dihitung dalam skala richter antara 3 sampai 9 dengan klasifikasi sebagai berikut :

- Moderate, dengan nilai antara 6 sampai 7 skala Richter
- Major, dengan nilai antara 7 sampai 7,75 skala Richter
- Great, dengan nilai lebih besar dari 7,75 skala Richter

Sebuah bangunan harus mampu menahan gempa bumi kecil/minor tanpa terjadi kerusakan, gempa bumi moderate tanpa adanya kerusakan struktur, tetapi masih dimungkinkan terjadi kerusakan non struktur, dan gempa bumi major tanpa terjadi collapse, namun masih dimungkinkan terjadinya kerusakan beberapa struktur dan non struktur. Namun komponen bangunan tidak boleh mengalami kerusakan karena collapsenya bangunan.

Jenis Tanah dan Perambatan Gelombang Gempa:

Penentuan percepatan gempa dimuka tanah sesuai dengan Gambar 2 Response Spektrum Gempa Rencana tergantung jenis tanah diatas batuan dasar setebal 30 m paling atas.

Jenis tanah:

- Tanah Keras
- Tanah Sedang

⁴ Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung

- Tanah lunak
- Tanah khusus

Persyaratan jenis tanah tersebut tercantum pada Tabel 2.6 Jenis-jenis tanah (SNI).

Tabel 2.6 Jenis-jenis tanah

Jenis Tanah	Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata, \bar{v}_s (m/det)	Nilai hasil Test Penetrasi Standar rata-rata, \bar{N}	Kuat geser niralir rata-rata, \bar{S}_u (kPa)
Tanah Keras	$\bar{v}_s \geq 350$	$\bar{N} \geq 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
Tanah Sedang	$175 \leq \bar{v}_s < 350$	$15 \leq \bar{N} < 50$	$50 \leq \bar{S}_u < 100$
Tanah Lunak	$\bar{v}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
	Atau, setiap profil dengan tanah lunak yang tebal total lebih dari 3 m dengan $PI > 20$, $w_n \geq 40\%$ dan $S_u < 25$ kPa		
Tanah Khusus	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi		

Sumber

Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002

II.4 Sistem Struktur Gedung

Struktur gedung memiliki jenis elemen yang dapat dibedakan berdasarkan elemen vertikal dan elemen horizontal. Dalam keadaan gaya gempa struktur vertikal direncanakan sebagai elemen yang meneruskan gaya gempa kepondasi.

- Elemen vertikal dapat berupa :

a. Rangka Brecing

Rangka brecing merupakan elemen diagonal vertikal pada rangka struktur yang memberikan kontribusi kekakuan pada struktur gedung. Sistem struktur brecing direncanakan untuk mengurangi bending yang terjadi pada kolom dan balok. Dengan menambahkan suatu elemen diagonal, struktur gedung memiliki penambahan kekakuan struktur dalam menahan gaya gempa.

b. Dinding Geser

Dinding geser merupakan kekakuan elemen secara vertikal yang didesain untuk menahan gaya lateral yang bekerja pada sebuah bangunan sebagai akibat

dari angin atau gempa bumi, shear wall direncanakan secara menerus dari pondasi hingga keatas struktur.

- Struktur elemen horizontal direncanakan sebagai elemen pendistribusi gaya lateral keelemen vertikal. Bentuk elemen horizontal dapat berupa ;
 - a. Diafragma, suatu bagian struktur berupa sekat (pelat lantai atau atap) atau rangka yang mendistribusikan gaya lateral
 - b. Horizontal brecing, berupa pelat lantai
 - c. Balok

Untuk sistem pada struktur gedung, terdapat beberapa sistem struktur yang berfungsi untuk menahan gaya gempa yang terjadi. Sistem ini sering digunakan pada struktur gedung dalam mendistribusikan gaya gempa, sistem struktur dapat berupa :

1. struktur gedung dengan sistem rangka (moment-resisting frame), dimana elemen struktur gedung baik vertikal dan horizontal (kolom dan balok) bereaksi dalam menahan bending gaya gempa. Dalam keadaan gempa defleksi yang terjadi dapat diijinkan selama tidak terjadi keruntuhan atau kegagalan terhadap kolom dan balok
2. struktur dengan sistem dinding geser (shear wall) atau bresing (bresing frame). Struktur ini memiliki kekakuan yang besar dibandingkan dengan struktur rangka. Defleksi yang terjadi sangat kecil, hal ini disebabkan oleh kekakuan struktur yang bertambah.
3. struktur dengan sistem kombinasi, sistem ini mengkombinasikan antara sistem rangka dengan sistem bresing atau dinding.

II.5 Persamaan Dinamik

Dinamik secara sederhana dapat didefinisikan sebagai perubahan waktu, jadi beban yang dinamik adalah setiap beban yang besarnya, arahnya atau posisinya berubah menurut waktu. Pada dasarnya ada dua pendekatan yang berbeda, yang dapat dipakai untuk mengevaluasi struktur terhadap beban dinamik, yakni pendekatan deterministik dan non deterministik.

- Yang dimaksud dengan analisa deterministik adalah jika variasi waktu pembebanan diketahui secara lengkap, walaupun sifatnya tidak beraturan, dan besarnya selalu sama atau tetap.
- Yang dimaksud dengan analisa non deterministik adalah jika variasi waktu tidak diketahui secara lengkap.

Getaran tanah akibat gempa bumi merupakan suatu peristiwa dinamik, sehingga dalam menganalisa struktur terhadap beban gempa lebih tepat jika menggunakan analisa dinamik dibandingkan dengan analisa statik. Gaya gempa merupakan gaya dinamik non deterministik yaitu gaya dinamik yang bila diulang tidak akan menghasilkan gaya yang sama dengan gaya sebelumnya.

Efek gempa berasal dari gaya inersia internal yang arahnya horizontal dan disebabkan oleh adanya percepatan tanah (ground acceleration). Besarnya gaya inersia horizontal ini terutama tergantung pada:

- Massa bangunan
 - Intensitas pergerakan tanah
 - Interaksi struktur terhadap tanah
 - Sifat dinamis bangunan, seperti misalnya periode vibrasi dan nilai redaman
- Peninjauan efek gempa bagi suatu bangunan terutama dimaksudkan untuk :
- a. Meminimalkan jumlah korban jiwa/kecelakaan lainnya
 - b. Menjamin kelangsungan bangunan-bangunan yang dipandang penting
 - c. Meminimalkan kerusakan harta benda

Jika struktur bangunan dikenakan gaya luar yang berupa beban dinamik, maka ada 3 (tiga) komponen gaya yang melawan beban dinamik tersebut, yaitu :

- Gaya inersia (kelembaman) yang merupakan perkalian massa dan percepatan struktur
- Gaya redaman yang merupakan perkalian koefisien redaman dan kecepatan struktur
- Gaya elastis yang merupakan perkalian kekakuan dan displacement (lendutan) struktur.

Dengan menggunakan hukum kesetimbangan Newton II, dari komponen-komponen utama tersebut didapat gaya-gaya yang bekerja meliputi beban yang

dikenakan $p(t)$, dan ketiga gaya yang diakibatkan gerak, yaitu inersia (f_I), redaman (f_D) dan gaya elastis (f_S), dimana :

- Gaya inersia adalah perkalian massa dan percepatan gerakan tanah

$$f_I = m \cdot \ddot{u}$$

- Gaya redaman adalah perkalian antara konstanta redam dengan kecepatan gerakan tanah

$$f_D = c \cdot \dot{u}$$

- Gaya elastis adalah perkalian antara kekakuan perpindahan gerakan tanah

$$f_S = k \cdot u$$

dan

$$f_I + f_D + f_S = p(t)$$

sehingga didapat rumusan kesetimbangan dinamik

$$m \cdot \ddot{u} + c \cdot \dot{u} + k \cdot u = p(t)$$

pada dasarnya beban gempa merupakan gaya inersia yang bekerja dipusat massa akibat percepatan tanah yang disebabkan oleh gempa. Pada saat terjadi gempa, tanah dan bangunan mengalami percepatan, sehingga persamaan kesetimbangan dinamik menjadi :

$$m \cdot \ddot{u} + c \cdot \dot{u} + k \cdot u = -m \cdot \ddot{u}_g$$

Dimana :

z = vektor pengaruh yang menentukan DoF yang ditinjau

\ddot{u}_g = percepatan akibat gempa

II.5.1 Waktu Getar Alami

Waktu getar alami berfungsi untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental T_1 dari struktur gedung harus dibatasi, bergantung pada koefisien ζ untuk wilayah gempa tempat struktur gedung berada dan jumlah tingkatnya (n), menurut persamaan:

$$T_1 < \zeta \cdot n$$

Dimana koefisien ζ , ditetapkan menurut tabel ;

Tabel 2.7 Koefisien ζ yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung

Wilayah Gempa	ζ
1	0,20
2	0,19
3	0,18
4	0,17
5	0,16
6	0,15

II.5.2 Arah Pembebanan Gempa

- Dalam perencanaan struktur gedung, arah utama pengaruh gempa rencana harus ditentukan sedemikian rupa, sehingga memberi pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur subsistem dan system struktur gedung secara keseluruhan
- Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan menurut ketentuan diatas harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas hanya 30%.
- Nilai seismic base shear dipengaruhi oleh: wilayah gempa, kondisi tanah (tanah lunak, sedang dan keras), waktu getar alami bangunan dalam arah yang ditinjau, faktor keutamaan bangunan (I), dan level ductility serta berat bangunan total. Besarnya seismic base shear nominal:

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t$$

Dimana C_1 adalah nilai factor response gempa yang didapat dari spectrum response gempa rencana, untuk waktu getar alami fundamental T_1 dalam arah yang ditinjau, dan W_t adalah berat total bangunan, termasuk beban hidup yang sesuai.

- Nilai akhir respons dinamik struktur terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 80 % nilai response ragam yang pertama. Bila response dinamik dinyatakan dalam V , maka persyaratan tersebut:

$$V \geq 0.80 V_1$$

dimana V_1 adalah gaya geser dasar nominal sebagai response ragam yang pertama terhadap pengaruh gempa rencana.

- Untuk berbagai kategori gedung, bergantung pada probabilitas terjadinya keruntuhan struktur gedung selama umur gedung dan umur gedung tersebut yang diharapkan, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I , menurut persamaan :

$$I = I_1 \times I_2$$

Dimana :

I_1 = faktor keutamaan untuk menyesuaikan periode ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu selama umur gedung.

I_2 = faktor keutamaan untuk menyesuaikan periode ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian umur gedung tersebut

Tabel 2.8 Faktor keutamaan I untuk berbagai kategori gedung dan bangunan

Kategori Gedung	Faktor Keutamaan		
	I_1	I_2	I
Gedung Umum, seperti untuk perumahan, perniagaan dan perkantoran	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam bahan beracun	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki diatas menara	1,5	1,0	1,5

Catatan:

Untuk semua struktur bangunan gedung yang ijin penggunaannya diterbitkan sebelum berlakunya standar ini maka faktor keutamaan, I , dapat dikalikan 80%

II.5.3 Analisa Respon Dinamik

Pendekatan analisa dinamik untuk mendapatkan respon struktur terhadap gempa dengan pemodelan massa tergroupal, dapat dibedakan menjadi 2 (dua) metode perhitungan, yaitu ;

1. *Respon History Analysis* (RHA), yang menghasilkan fungsi struktur terhadap waktu
 2. *Respon Spectrum Analysis* (RSA), yang merupakan estimasi respon puncak struktur yang cukup baik
- *Respon History Analysis* (RHA) atau analisa dinamik riwayat waktu adalah analisa dengan memberlakukan riwayat waktu beban dinamik pada model struktur. Untuk analisa struktur terhadap beban gempa, suatu model struktur dikenakan riwayat percepatan gempa yang didapat dari hasil pencatatan rekaman gempa atau rekaman gempa tiruan.
Analisa ini dapat diterapkan untuk struktur linear (analisa statik) maupun struktur non linear (analisa inelastik). Namun umumnya analisa ini digunakan untuk struktur non linear
 - *Respon Spectrum Analysis* (RSA) merupakan estimasi respon puncak struktur selama terjadi gempa, secara langsung dari respon spektrum tanpa adanya analisa riwayat waktu dari struktur. Pada respon history analysis menghasilkan respon struktur sebagai fungsi waktu, nilai yang dibutuhkan dalam desain adalah maksimum. Untuk menentukan langsung nilai maksimum respon dapat digunakan respon spectrum analysis.

II.6 Kinerja Struktur

II.6.1 Kinerja Batas Layan

Kinerja Batas Layan; Drift atau simpangan antara tingkat adalah selisih displacemen lateral antara dua lantai yang berturutan, dengan demikian untuk tingkat ke-i, $drift = \Delta_i - \Delta_{i-1}$. Simpangan antar-tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung tersebut akibat pengaruh gempa nominal yang telah dibagi Faktor Skala.

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung

tidak boleh melampaui $0.03/R$ kali tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm , bergantung yang mana yang nilainya terkecil.

II.6.2 Kinerja batas ultimate

Kinerja batas ultimate: Akibat pengaruh beban gempa rencana, dalam kondisi diambang keruntuhan dan untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan untuk mencegah benturan antar-gedung yang dipisahkan oleh sela pemisah, simpangan atau simpangan antar-tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung akibat pembebanan gempa nominal, dikalikan dengan factor pengali ζ sebagai berikut:

- untuk struktur gedung beraturan:

$$\zeta = 0.70 R$$

- untuk struktur gedung tidak beraturan:

$$\zeta = 0.70 R / \text{Faktor Skala}$$

Simpangan antar-tingkat dalam kondisi batas ultimate ini tidak boleh melampaui 0.02 kali tinggi tingkat yang bersangkutan.

II.6.3 Lebar sela pemisah

Jarak pemisah antar-gedung paling sedikit sama sama dengan jumlah simpangan maksimum masing-masing struktur pada taraf yang dihitung. Dalam segala hal masing-masing jarak tersebut tidak boleh kurang dari 0.025 kali ketinggian taraf diukur dari taraf penjepitan lateral. Lebar sela pemisah tidak boleh kurang dari 75 mm .