

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pendahuluan

Perencanaan dasar struktur bangunan dilandasi prinsip-prinsip umum yang memenuhi kelayakan pendirian suatu bangunan, misalnya bangunan harus memberikan jaminan keamanan dan kenyamanan bagi para penghuninya, memberikan nuansa estetika yang baik bagi lingkungan dan penghuninya, sesuai dengan fungsi dan manfaatnya serta memperhitungkan faktor lingkungan di sekitarnya.

3.2 Konsep Dasar Desain Kapasitas

Konsep desain kapasitas didasari oleh prinsip hukum Newton, dimana bila suatu struktur mengalami getaran akibat gempa dari lapisan tanah di bawah dasar bangunannya secara acak yang mendekati nol detik, maka besarnya gaya F , yang timbul adalah

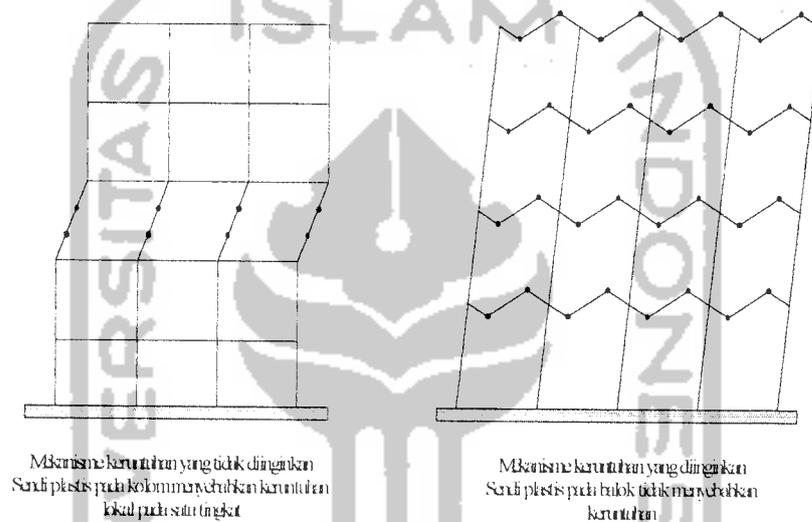
$$F = m \times a_g \tag{3-1}$$

m = massa bangunan

a_g = percepatan getaran

Menurut Gideon, konsep desain kapasitas adalah perencanaan bangunan tahan gempa, dimana terbentuknya sendi-sendi plastis mampu memencarkan

energi gempa dan membatasi besarnya beban gempa yang masuk ke dalam struktur, harus dikendalikan sedemikian rupa agar struktur berperilaku memuaskan dan tidak sampai runtuh saat terjadi gempa kuat. Mekanisme goyangan dengan pembentukan sebagian besar sendi plastis pada balok-balok lebih dikehendaki daripada mekanisme dengan pembentukan sendi plastis yang terpusat hanya pada ujung-ujung kolom suatu lantai (*soft-storey mechanism*).



Gambar 3.1. Mekanisme khas yang dapat terjadi pada portal rangka terbuka

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan untuk mencapai mekanisme ini :

- Faktor peningkatan kuat lentur balok sebagai elemen utama pemecar energi gempa.
- Faktor pengaruh beban dinamis pada kolom.
- Faktor penggunaan teknik redistribusi momen.
- Faktor kualitas pendetailan elemen struktur.

Untuk menjamin terjadinya mekanisme goyangan dengan pembentukan sebagian sendi plastis pada balok, direncanakan pada struktur bangunan dengan

konsep kolom-kolom dibuat lebih kuat dari balok-balok portal (*strong column-weak beam*), keruntuhan geser pada balok yang bersifat getas diusahakan agar tidak terjadi lebih dahulu dari kegagalan akibat beban lentur pada sendi-sendi plastis balok setelah mengalami beberapa kali torsi.

3.3 Ketentuan Umum Perencanaan Struktur

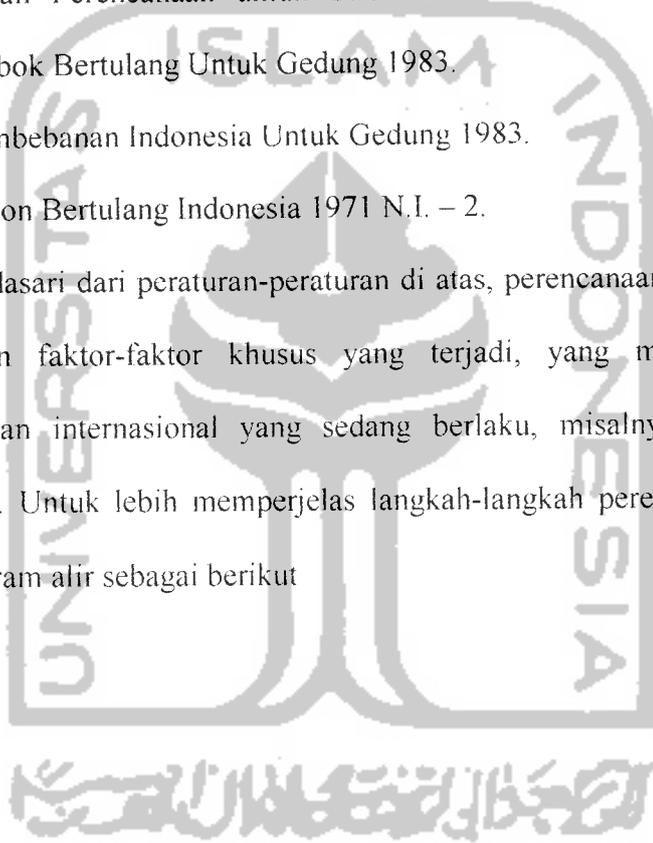
Untuk merencanakan bentuk dan dimensi struktur, diperlukan data utama yang berfungsi untuk menentukan jenis struktur yang cocok dan paling aman untuk digunakan. Adapun data tersebut meliputi kondisi, sifat, dan perilaku tanah yang ada pada dasar bangunan sebagai awal penentuan bentuk fondasi, kondisi geografis yang terjadi pada daerah tersebut (gempa, tekanan angin, cuaca), perilaku bentuk dan fungsi bangunan yang direncanakan, dan lain-lain.

Dari data tersebut dapat direncanakan struktur sesungguhnya dengan mengacu pada peraturan-peraturan yang ditetapkan dan yang masih berlaku pada daerah tersebut. Secara umum perencanaan struktur dimulai dengan menghitung besarnya pembebanan yang terjadi pada bangunan tiap lantai dan pengaruhnya terhadap gempa yang bekerja serta akibat gaya gravitasi, setelah itu dilakukan penghitungan gaya-gaya dalam portal dengan menggunakan bantuan komputer, kemudian dari hasil *output* komputer diperoleh gaya aksial, gaya geser, dan gaya momen yang digunakan untuk merancang dan merencanakan elemen struktur seperti balok, kolom, pelat lantai, dan dinding geser. Hasil yang diperoleh ini kemudian diaplikasikan di lapangan sesuai perhitungan yang telah direncanakan.

Peraturan-peraturan yang digunakan untuk merancang struktur bangunan ini adalah

- a. Standar Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SKSNI T-15-1991-03.
- b. Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung 1987.
- c. Buku Pedoman Perencanaan untuk Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang Untuk Gedung 1983.
- d. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983.
- e. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 N.I. – 2.

Selain didasari dari peraturan-peraturan di atas, perencanaan struktur juga memperhitungkan faktor-faktor khusus yang terjadi, yang meninjau pada peraturan-peraturan internasional yang sedang berlaku, misalnya AISC dari standar Amerika. Untuk lebih memperjelas langkah-langkah perencanaan dapat dilihat pada diagram alir sebagai berikut



3.4 Pembebanan Struktur

Secara umum beban diartikan suatu berat yang dihasilkan dari massa/gaya yang ditimbulkan karena pengaruh gravitasi bumi atau gerakan tertentu pada bidang yang menerimanya. Dalam Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 dijelaskan beberapa jenis beban yang bekerja pada suatu struktur bangunan. Beban-beban itu antara lain :

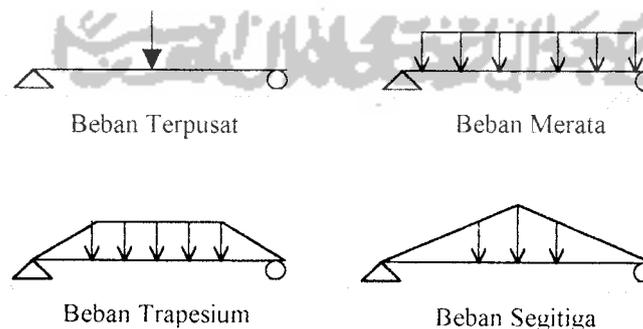
- a. **Beban Mati** ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.
- b. **Beban Hidup** ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap ke dalam beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air.
- c. **Beban Angin** ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.
- d. **Beban Gempa** ialah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan

suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa adalah gaya-gaya dari dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

- e. **Beban Khusus** ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang terjadi akibat selisih suhu, pengangkatan dan pemasangan, penurunan fondasi, susut, gaya-gaya tambahan yang berasal dari beban hidup seperti gaya rem yang berasal dari keran, gaya sentrifugal dan gaya dinamis yang berasal dari mesin-mesin, serta pengaruh-pengaruh khusus lainnya.

Perancangan struktur ini lebih memperhitungkan pengaruh beban mati, beban hidup, dan beban gempa yang ditimbulkan terhadap struktur. Dalam analisis struktur beban-beban ini ditranslasikan dalam bentuk beban terpusat dan beban merata yang membebani struktur baik secara vertikal maupun horisontal, selain itu terdapat juga bentuk translasi beban yang menyerupai trapesium dan segitiga.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 3.3. Jenis-jenis beban

3.5 Perencanaan Kekuatan Struktur

Dalam peraturan SK SNI T-15-1991-03, dijelaskan bahwa terhadap kombinasi beban dan gaya terfaktor, struktur dan komponen struktur harus direncanakan sesuai ketentuan di bawah ini :

- a. Struktur dan komponen struktur harus direncanakan hingga semua penampang mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu, yang dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya terfaktor.
- b. Komponen struktur juga harus memenuhi ketentuan lain sesuai standar yang berlaku untuk menjamin tercapainya perilaku struktur yang cukup baik pada tingkat beban kerja.

Untuk memenuhi syarat kekuatan pada struktur maka kuat perlu (U) diperoleh dari kombinasi pembebanan yang telah ditetapkan sesuai peraturan yang berlaku :

$$a. U = 1,2 D + 1,6 L \quad (3-2)$$

$$b. U = 1,05 (D + Lr + E) \quad (3-3)$$

$$c. U = 1,05 (D + Lr - E) \quad (3-4)$$

$$d. U = 0,9 (D + E) \quad (3-5)$$

$$e. U = 0,9 (D - E) \quad (3-6)$$

D = Beban mati

L = Beban hidup

Lr = Beban hidup reduksi = $0,6 L$

E = Beban gempa

Untuk nilai Lr dan E telah diatur sesuai dengan ketentuan SNI 1726-1989F tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah Dan Gedung. Kombinasi pembebanan ini disesuaikan dengan banyaknya jenis beban yang ditinjau dan direncanakan.

Dalam menentukan kuat rencana suatu komponen struktur, maka kuat minimalnya harus direduksikan dengan faktor reduksi kekuatan yang sesuai dengan sifat beban. Adapun pengaturannya disusun sesuai dengan ketentuan SK SNI T-15-1991-03 sebagai berikut :

- a. Kuat rencana yang tersedia pada suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya dalam kriteria lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebagai kekuatan nominal yang dihitung berdasarkan ketentuan asumsi, dikalikan dengan suatu faktor reduksi kekuatan ϕ .
- b. Faktor reduksi kekuatan ϕ ditentukan sebagai berikut :

Lentur tanpa beban aksial	0,80
Aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur	0,60
- c. Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur :

Komponen struktur dengan tulangan spiral maupun sengkang ikat.....	0,70
Komponen struktur dengan tulangan sengkang bias.....	0,65
- d. Geser dan torsi
- e. Tumpuan pada beton

Fungsi faktor reduksi ini untuk menghitung kekuatan nominal dari suatu struktur, sebagai contoh dalam hal balok, kapasitas momen tahanan yang dihitung dengan menggunakan persamaan kesetimbangan dan dengan menggunakan sifat-sifat beton dan baja disebut kapasitas momen tahanan nominal (M_n) dari penampang. Kapasitas nominal ini direduksi dengan menggunakan faktor reduksi ϕ untuk memperhitungkan ketidakpastian dalam pelaksanaan, seperti dimensi atau posisi penulangan, atau juga mutu beton maupun baja.

3.6 Dasar Perencanaan Beton Bertulang/Beton Struktural

Dalam perencanaan struktur bangunan struktur beton merupakan bagian yang sangat penting untuk menjaga kekakuan pada struktur bangunan. Struktur beton terbagi atas beberapa jenis, antara lain sebagai berikut ini.

- a. Beton normal ialah beton yang mempunyai berat isi $2200 - 2500 \text{ kg/m}^3$ menggunakan agregat alam yang pecah atau tanpa dipecah yang tidak menggunakan bahan tambahan.
- b. Beton bertulang ialah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategangan dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.
- c. Beton pratekan ialah beton bertulang yang telah diberikan tegangan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja.
- d. Beton pracetak ialah elemen atau komponen beton tanpa atau dengan tulangan yang dicetak terlebih dahulu sebelum dirakit menjadi bangunan.

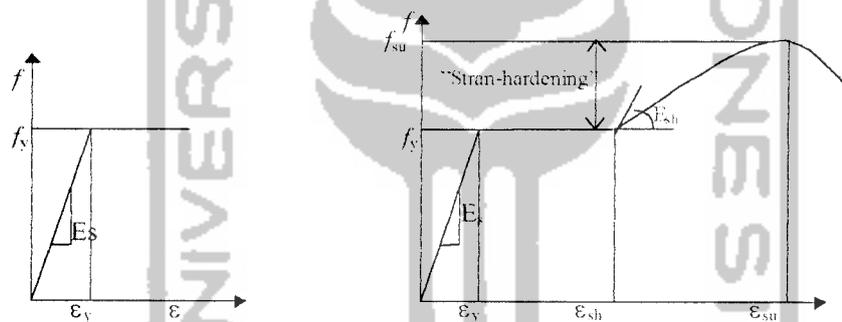
Perencanaan struktur ini menggunakan disain beton bertulang dimana manfaat dan keserbagunaannya dicapai dengan mengkombinasikan segi-segi terbaik dari beton dan baja. Beton memiliki sifat kuat terhadap pengaruh tekan, sedangkan terhadap pengaruh tarik lemah. Oleh karena itu, perlu tulangan baja untuk menahan gaya tarik untuk memikul beban-beban yang bekerja pada beton. Selain itu tulangan baja juga bermanfaat untuk mengurangi lendutan jangka panjang akibat beban-beban berat. Di dalam analisis dan perencanaan tampang beton bertulang komposit, dianggap lekatan adalah sempurna, sehingga regangan di dalam tulangan adalah identik dengan regangan di dalam beton yang berdekatan, ini menjamin adanya apa yang dikenal sebagai “kesesuaian regangan” (*compatibility of strains*) melewati tampang melintang dari susunan tersebut (*Mosley dan Bungey*).

Selain beton, baja tulangan juga terbagi atas dua jenis yaitu baja tulangan polos dan baja tulangan ulir. Untuk baja tulangan ulir memiliki tingkat lekatan tinggi terhadap beton. Sedangkan untuk ukuran dari tulangan tergantung dari hasil analisis perencanaan. Untuk mengetahui kekuatan dari beton dan baja yang ada biasanya dilakukan penelitian atau pengujian terlebih dahulu sebelum digunakan, yang diuji adalah besarnya pengaruh tegangan dan regangan yang terjadi sehingga diketahui besarnya modulus elastisitas bahan tersebut. Sifat-sifat yang terpenting dari baja tulangan antara lain ; modulus young (E_s), kekuatan leleh (f_y), kekuatan batas (f_u), mutu baja, dan ukuran atau diameter batang atau kawat. Supaya tulangan pada balok atau kolom tidak menekuk, digunakan sengkang-sengkang baja untuk membantu penahanan yang diberikan oleh beton di sekelilingnya.

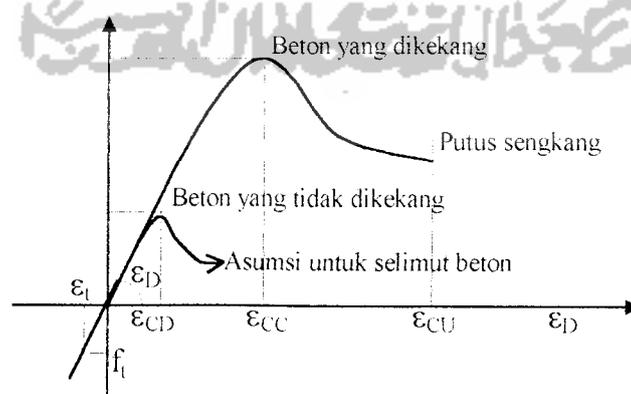
Dalam SK SNI T-15-1991-03 dijelaskan secara terinci tentang standar perencanaan struktur beton bertulang yaitu harus memenuhi ketentuan berikut :

- Perhitungan perencanaan lebih diutamakan serta diarahkan untuk menggunakan metode kekuatan (ultimit).
- Konsep hitungan keamanan dan beban yang lebih realistis dihubungkan dengan tingkat daktilitas struktur.
- Tata cara perhitungan geser dan puntir pada keadaan ultimit (batas).
- Menggunakan satuan SI dan notasi disesuaikan dengan standar internasional.

Adapun gambar hubungan tegangan – regangan yang terjadi pada beton dan baja tulangan dapat dilihat di bawah ini :



Gambar 3.4. Hubungan Tegangan – Regangan Tulangan Baja



Gambar 3.5. Hubungan Tegangan – Regangan Tekan Beton

3.6.1 Perencanaan pelat lantai

Pelat-pelat beton bertulang dipakai sebagai lantai, atap, dan dinding dari bangunan gedung, serta untuk *deck* (lantai) jembatan. Sistem lantai suatu konstruksi dapat berbentuk bermacam-macam, seperti pelat-pelat padat dicor di tempat, pelat-pelat berusuk atau satuan-satuan pracetak. Pelat-pelat dapat mempunyai bentang satu arah atau dua arah dan dapat ditumpu pada balok-balok beton monolit, balok-balok baja, dinding-dinding atau oleh kolom-kolom konstruksi secara langsung.

Untuk pelat satu arah, pelat yang memikul momen lentur dapat dianggap sebagai balok persegi dengan tinggi setebal pelat dan lebar satu meter. Beban yang bekerja pada pelat adalah beban persatuan luas (kN/m^2), pada tulangan lentur dipasang pada arah tegak lurus tumpuan dan harus dipasang juga tulangan pembagi. Pada pelat, geser yang terjadi seluruhnya dipikul oleh beton, jadi tidak ada tulangan geser (Januar, 1998). Pada perencanaan pelat dua arah digunakan metode dasar mencakup khayalan atas pemotongan vertikal dari seluruh bangunan sepanjang garis-garis tengah antara kolom-kolom. Pemotongan menghasilkan beberapa portal yang melebar di antara garis-garis tengah dari dua panel yang berdekatan, portal-portal kaku yang dihasilkan yang diambil tersendiri untuk masing-masing arah longitudinal dan transversal dari bangunan dapat ditinjau terhadap beban gravitasi untuk lantai per lantai yang umumnya diperbolehkan untuk portal kaku yang terdiri atas kolom-kolom dan balok-balok. Dengan demikian perencanaan dari sistem lantai dua arah (pelat dua arah, lantai cendawan, dan pelat datar) disederhanakan menjadi perencanaan dari suatu portal

kaku yang dinamakan “metoda portal ekuivalen “(*equivalent frame method*)” (Wang dan Salmon).

3.6.2 Perencanaan elemen balok

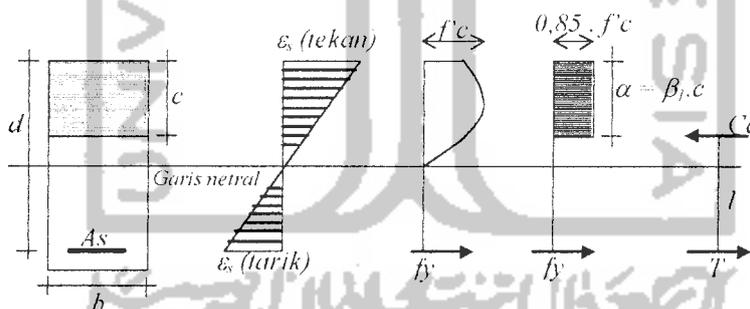
Beban-beban yang membebani balok bila terus menerus bertambah maka akan menimbulkan deformasi dan regangan pada balok yang mengakibatkan timbulnya (bertambahnya) retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila bebannya semakin bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban luarnya mencapai kapasitas elemen. Taraf pembebanan demikian disebut *keadaan limit dari keruntuhan pada lentur*.

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam menetapkan perilaku penampang adalah sebagai berikut ini.

- a. Distribusi regangan dianggap linier. Asumsi ini berdasarkan hipotesis Bernoulli yaitu penampang yang datar sebelum mengalami lentur akan tetap datar dan tegak lurus terhadap sumbu netral setelah mengalami lentur. Sedangkan hipotesis Navier mengatakan bahwa nilai regangan dalam penampang komponen struktur sebanding lurus terhadap jarak ke garis netral.
- b. Tegangan sebanding dengan regangan hanya sampai pada kira-kira beban sedang, tegangan beton tekan tidak melampaui $\pm \frac{1}{2} f'_c$. Bila beban meningkat sampai beban ultimit, tegangan yang timbul tidak sebanding lagi dengan regangannya berarti distribusi tegangan tekan tidak lagi linear. Bentuk blok tegangan beton tekan pada penampangnya berupa garis lengkung dimulai dari garis netral dan berakhir pada serat tepi tekan terluar. Tegangan tekan

- maksimum sebagai kuat tekan lentur beton pada umumnya tidak terjadi pada serat tepi tekan terluar, tetapi agak masuk ke dalam. Regangan pada baja dan beton di sekitarnya sama sebelum terjadi retak pada beton atau leleh pada baja.
- c. Beton lemah terhadap tarik. Beton akan retak pada taraf pembebanan kecil, yaitu sekitar 10% dari kekuatan tekannya. Akibatnya bagian beton yang mengalami tarik pada penampang diabaikan dalam perhitungan analisis dan desain, juga tulangan tarik yang ada dianggap memikul gaya tarik tersebut.

Dalam memperhitungkan letak resultante gaya tarik yang bekerja pada tulangan baja, baja tulangan dianggap teregang secara serempak dengan nilai regangan diukur pada pusat beratnya. Kuat lentur suatu balok beton tersedia karena berlangsungnya mekanisme tegangan dalam yang timbul di dalam balok yang pada keadaan tertentu dapat diwakili oleh gaya-gaya dalam.



Gambar 3.6. Distribusi tegangan regangan balok

Pada gambar 3.6 memperlihatkan tampang melintang bagian konstruksi yang mengalami lenturan, dan diagram resultan regangan beserta tiga distribusi tegangan yang ada di dalam beton. Adapun ketiga tipe distribusi tersebut adalah :

- a. Distribusi tegangan segitiga, diterapkan bila tegangan sangat sebanding dengan regangan, yang umumnya terjadi pada tingkat pembebanan yang ditemui pada kondisi kerja, oleh karena itu digunakan pada keadaan batas kemampuan.
- b. Blok tegangan parabola-persegi menyatakan distribusi tegangan pada saat runtuh bila regangan tekan berada dalam rentang plastik dan ini berkaitan dengan perencanaan untuk keadaan batas ultimit.
- c. Blok tegangan persegi-ekivalen merupakan alternatif distribusi parabola-persegi yang disederhanakan.

Untuk perencanaan elemen balok telah tersusun dalam peraturan SK SNI T-15-1991-03, dimana ketentuan-ketentuan tersebut terikat untuk seluruh wilayah Indonesia sebagai standar perencanaan struktur bangunan.

a. Tahap perencanaan elemen balok

1. Mencari Momen Nominal.

$$Mn_{aktual} = \frac{Mu}{\phi} \quad (3-7)$$

2. Cek tulangan tunggal atau tulangan rangkap.

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{fy} \quad (3-8)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \left\{ \left(\frac{0.85 \times f'c \times \beta}{fy} \right) \times \left(\frac{600}{600 \times fy} \right) \right\} \quad (3-9)$$

.....SK SNI T- 15-1991-03 pasal 3.3.3.3

$$\rho = 0.5 \times \rho_{maks} \quad (3-10)$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} \quad (3-11)$$

$$Rn = \rho \times f_y \times (1 - 0.5 \times \rho \times m) \quad (3-12)$$

$$b \times d^2 = \frac{Mn}{Rn} \quad (3-13)$$

$$d_2 = h - \rho b - \phi_{sengkang} - 0.5 \times \phi_{tul\ pokok} \quad (3-14)$$

$$d_2 < d_1, \text{ pakai tul rangkap} \quad (3-15)$$

$$d_2 < d_1, \text{ pakai tul tunggal} \quad (3-16)$$

3. Perhitungan tulangan rangkap

$$\rho_1 = (\rho - \rho') \quad (3-17)$$

$$As_1 = \rho_1 \times b \times d \quad (3-18)$$

$$a = \frac{As_1 \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \quad (3-19)$$

$$Mn_1 = As_1 \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3-20)$$

❖ Tulangan desak.

$$Mn_2 = \frac{Mu}{\phi} - Mn_1 \quad (3-21)$$

$$f_s' = 600 \times \left(1 - \frac{0.85 \times f'_c \times b}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right) \quad (3-22)$$

$$As_2 = As' = \frac{Mn_2}{f_s' \times (d - d')} \quad (3-23)$$

❖ Tulangan tarik

$$As = As_1 + As' \quad (3-24)$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} \quad (3-11)$$

$$R_n = \rho \times f_y \times (1 - 0.5 \times \rho \times m) \quad (3-12)$$

$$b \times d^2 = \frac{M_n}{R_n} \quad (3-13)$$

$$d_2 = h - \rho b - \phi \text{ sengkang} - 0.5 \times \phi \text{ tul pokok} \quad (3-14)$$

$$d_2 < d_1, \text{ pakai tul rangkap} \quad (3-15)$$

$$d_2 < d_1, \text{ pakai tul tunggal} \quad (3-16)$$

3. Perhitungan tulangan rangkap

$$\rho_1 = (\rho - \rho') \quad (3-17)$$

$$A_{s_1} = \rho_1 \times b \times d \quad (3-18)$$

$$a = \frac{A_{s_1} \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \quad (3-19)$$

$$M_{n_1} = A_{s_1} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3-20)$$

- Tulangan desak.

$$M_{n_2} = \frac{M_u}{\phi} - M_{n_1} \quad (3-21)$$

$$f_s' = 600 \times \left(1 - \frac{0.85 \times f'_c \times b \times d'}{(\rho - \rho') \times f_y \times d} \right) \quad (3-22)$$

$$A_{s_2} = A_{s'} = \frac{M_{n_2}}{f_s' \times (d - d')} \quad (3-23)$$

- Tulangan tarik

$$A_s = A_{s_1} + A_{s'} \quad (3-24)$$

❖ Kontrol kapasitas

$$a = \frac{As \times fy - As' \times fs}{0.85 \times f'c \times b} \quad (3-25)$$

$$Mn_1 = (As \times fy - As' \times fs) \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3-26)$$

$$Mn = Mn_1 + Mn_2 \quad (3-27)$$

$$\phi Mn > Mu_{\text{terjadi}} \quad (3-28)$$

4. Perhitungan tulangan sebelah

$$Rn_{\text{baru}} = \frac{Mn}{b \times d^2} \quad (3-29)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{Rn_{\text{baru}}}{Rn_{\text{lama}}} \times \rho \quad (3-30)$$

$$As = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \quad (3-31)$$

-. Kontrol kapasitas

$$a = \frac{As \times fy}{0.85 \times f'c \times b} \quad (3-32)$$

$$Mn = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3-33)$$

$$\phi Mn > Mu_{\text{terjadi}} \quad (3-34)$$

b. Tahap perencanaan tulangan geser balok

-. Didalam sendi plastis

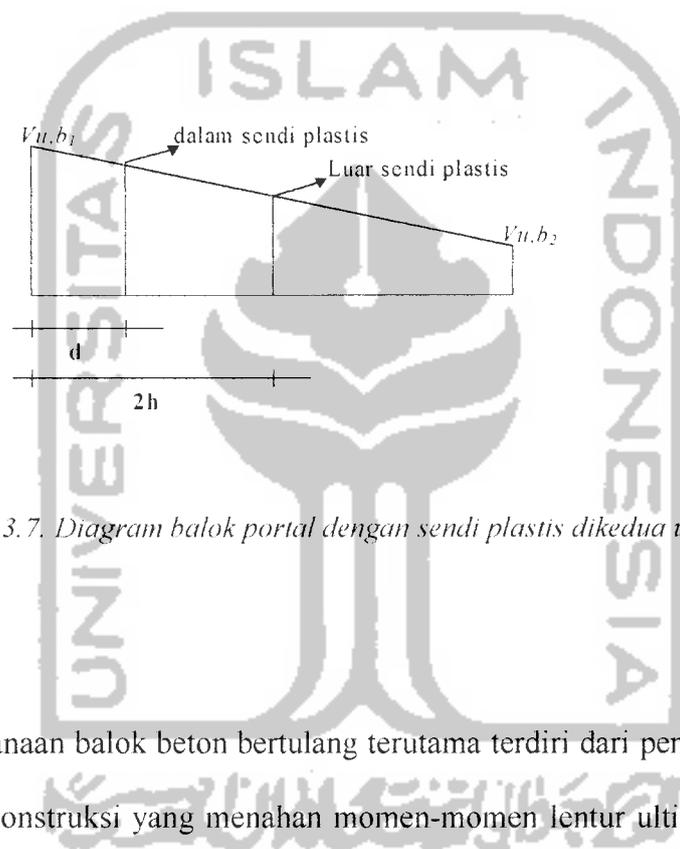
$$Vs = \frac{Vu}{\phi} \quad (3-35)$$

- Di luar sendi plastis

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \quad (3-36)$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} \quad (3-37)$$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c \quad (3-38)$$



Gambar 3.7. Diagram balok portal dengan sendi plastis dikedua ujungnya

Perencanaan balok beton bertulang terutama terdiri dari pembuatan detail-detail bagian konstruksi yang menahan momen-momen lentur ultimit, gaya-gaya lintang, dan momen-momen puntir dengan cukup kuat. secara umum ada tiga tahap perencanaan dasar :

- a. Analisis pendahuluan dan penempatan ukuran (pendimensian)
- b. Analisis dan perencanaan detail tulangan
- c. Perhitungan-perhitungan kemampuan

3.6.3 Perencanaan elemen kolom

Pada kolom beban aksial lebih dominan sehingga keruntuhan yang berupa keruntuhan tekan sulit dihindari. Namun hampir tidak pernah dijumpai kolom yang menopang beban aksial tekan secara konsentris, bahkan kombinasi beban aksial dengan eksentrisitas kecil sangan jarang ditemui. Apabila beban pada kolom bertambah, maka retak akan banyak terjadi di seluruh tinggi kolom pada lokasi-lokasi tulangan sengkang. Dalam keadaan batas keruntuhan (*limit state failure*), selimut diluar sengkang (pada kolom bersengkang) atau di luar spiral (pada kolom berspiral) akan lepas sehingga tulangan memanjangnya akan mulai kelihatan. Bila beban terus bertambah, maka terjadi keruntuhan dan tekuk lokal (*local buckling*) tulangan memanjang pada panjang tak tertumpu sengkang atau spiral. Dapat dikatakan bahwa dalam keadaan batas keruntuhan, selimut beton lepas dahulu sebelum lekatan baja beton lepas. Keruntuhan kolom dapat terjadi apabila tulangan bajanya leleh karena tarik, atau terjadinya kehancuran pada beton yang tertekan. Selain itu dapat pula kolom mengalami keruntuhan apabila terjadi kehilangan stabilitas lateral yaitu erjadi tekuk (*Nawy, 1990*).

Kekuatan kolom dievaluasi berdasarkan prinsip-prinsip dasar sebagai berikut :

1. Distribusi regangannya linier diseluruh tebal kolom
2. Tidak ada gelincir antara beton dengan tulangan baja (ini berarti regangan pada baja sama dengan regangan pada beton yang mengelilinginya)
3. Regangan beton maksimum yang diijinkan pada keadaan gagal (untuk perhitungan kekuatan) adalah 0,003

a. Tahap perencanaan elemen kolom

1. Kontrol kelangsingan kolom

$$\frac{k \times l}{r} \leq 34 - 12 \times \left(\frac{Mu_{ujung\ atas}}{Mu_{ujung\ bawah}} \right) \quad (3-39)$$

- Mencari nilai K

$$Ec = 4700 \times \sqrt{f'c} \quad (3-40)$$

$$Ic = \frac{1}{12} \times b \times h^3 \quad (3-41)$$

Untuk kolom langsing :

$$\beta_d = \frac{1.2 \times M_D}{1.2 \times M_D + 1.6 \times M_L} < 1 \quad (3-42)$$

2. Kontrol pembesaran momen

$$EI = \frac{Ec \times Ic}{2.5 \times (1 + \beta_d)} \quad (3-43)$$

Momen inersia balok

$$Ujung\ atas, I_{cr} = \frac{I_{gb}}{2} = \frac{1}{2} \times b \times h^3 \quad (3-44)$$

$$Ujung\ bawah, I_{cr} = \frac{I_{gb}}{2} = \frac{1}{2} \times b \times h^3 \quad (3-45)$$

$$\psi_A\ ujung\ atas\ kolom = \frac{\sum EI_{kolom-kolom}}{\sum EI \times I_{cr\ balok-balok}} \quad (3-46)$$

$$\psi_A\ ujung\ bawah\ kolom = \frac{\sum EI_{kolom-kolom}}{\sum EI \times I_{cr\ balok-balok}} \quad (3-47)$$

Dari diagram Nomogram didapat faktor tekuk K

$$r = 0.289 \times h \quad (3-48)$$

$$\text{bila } \frac{k \times l}{r} > 34 - 12 \times \left(\frac{Mu_{\text{ujung atas}}}{Mu_{\text{ujung bawah}}} \right), \text{ maka perlu pembesaran momen} \quad (3-49)$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \times Ec \times Ic}{(k \times lu)^2} \quad (3-50)$$

$$\delta_b = \frac{1}{1 - \left(\frac{Pu}{\phi \times Pc} \right)} \quad (3-51)$$

$$Mc = \delta_b \times Mu \quad (3-52)$$

$$Mn = \frac{Mc}{\phi} \quad (3-53)$$

3. kontrol eksentrisitas

$$\rho_{\min} = (15 + 0.03 \times h_{\text{kolom}}) \quad (3-54)$$

$$Pn = \frac{Pu}{\phi} \quad (3-55)$$

$$e = \frac{Mn}{Pn} > e_{\min}, \text{ maka eksentrisitas besar} \quad (3-56)$$

4. Mencari rasio penulangan

a. Akibat pengaruh beban aksial :

$$Po = Ag (0.85 \cdot f'c + \rho_g \cdot (fy - 0.85 \cdot f'c)) \quad (3-57)$$

$$Pn = 0.80 \cdot Po \quad (3-58)$$

$$\text{Check : } \phi \cdot Pn \geq Pu \quad \text{untuk pengikat sengkang : } \phi = 0,65$$

b. Pada kondisi regangan seimbang

$$x_b = \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) d \quad (3-59)$$

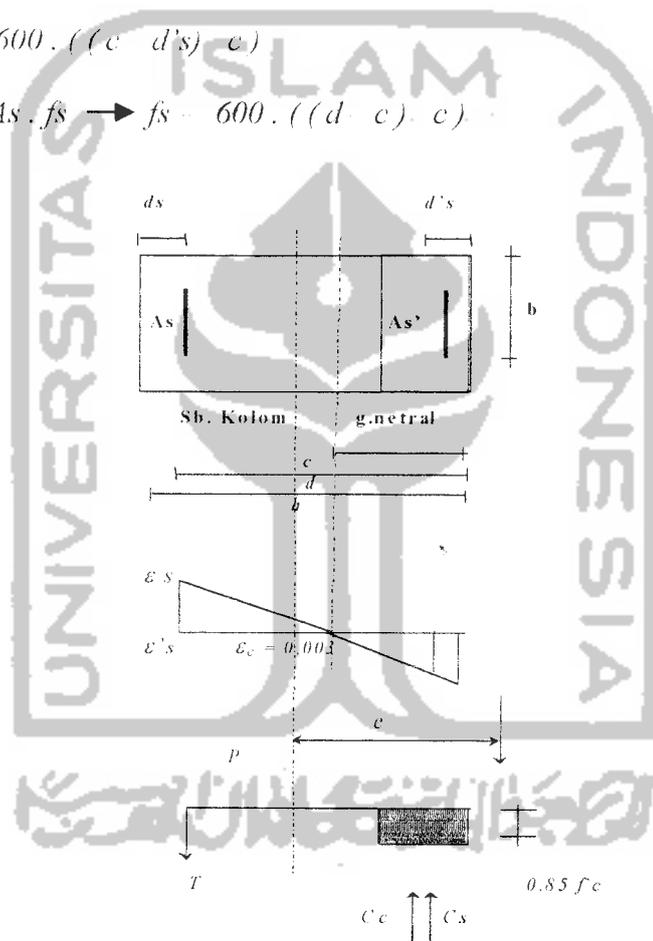
$$C_c = 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot \beta_1 \cdot c \quad (3-60)$$

$$C_s = A's \cdot f_y \quad \text{bila baja desak sudah luluh} \quad (3-61)$$

$$C_s = A's \cdot f_s \quad \text{bila baja desak belum luluh} \quad (3-62)$$

$$f_s = 600 \cdot \left(\frac{c - d's}{c} \right) \quad (3-63)$$

$$T = A_s \cdot f_s \rightarrow f_s = 600 \cdot \left(\frac{d - c}{c} \right) \quad (3-64)$$



Gambar 3.8. Distribusi tegangan regangan kolom pada kondisi seimbang

c. Pada kondisi desak

Jika $P_n > P_{n,b}$ atau $e < e_b \longrightarrow C > C_b$, maka nilai P_n dan M_n dapat dihitung sebagai berikut :

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot \beta_1 \cdot c \quad (3-65)$$

$$C_s = A'_s \cdot f_y \quad \text{bila baja desak sudah luluh} \quad (3-66)$$

$$C_s = A'_s \cdot f'_s \quad \text{bila baja desak belum luluh} \quad (3-67)$$

$$f'_s = 600 \cdot ((c - d') / c) \quad (3-68)$$

$$T = A_s \cdot f_s \longrightarrow f_s = 600 \cdot ((d - c) / c) \quad (3-69)$$

d. Pada kondisi tarik

Bila $P_n < P_{n,b}$ atau $e > e_b \Rightarrow C < C_b$, maka nilai P_n dan M_n dapat dihitung sama seperti di atas, namun nilai T dihitung sebagai berikut :

$$T = A_s \cdot f_y \quad (3-70)$$

Rasio penulangan (ρ) dicari dari grafik iterasi kolom.

$$A_{st} = A_g \times \rho \quad (3-71)$$

Pada masing-masing sisi kolom :

$$A_s = A_s' = \frac{A_{st}}{2} \quad (3-72)$$

5. Kontrol kekuatan penampang.

$$P_n = \frac{A_s' \times f_y}{e + 0.5} + \frac{b \times h \times f'_c}{3 \times h \times e + 1.18 d^2} \quad (3-73)$$

$$P_u = \phi \times P_n > P_{u_{terjadi}} \quad (3-74)$$

b. Tahap perencanaan tulangan geser kolom

- Daerah ujung kolom

$$V_c = 0 \dots\dots\dots \text{SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.14.4.4.2} \quad (3-75)$$

jarak sengkang :

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{\phi (V_{uk} - V_c)} \quad (3-76)$$

- Daerah tengah kolom

$$V_c = \left(1 - \frac{N_{uk}}{14 \times A_{gr}} \right) \times \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \times b \times d \quad (3-77)$$

3.7 Metoda Analisis Gempa Pada Struktur

Pada prinsipnya, ketentuan perencanaan analisis gempa pada struktur diberikan untuk gaya rencana akibat gerak gempa yang ditentukan berdasarkan difusi energi di dalam daerah nonlinear dari respon struktur, dimana beban lateral rencana dasar akibat gerak gempa untuk suatu daerah harus diambil sesuai ketentuan yang ditetapkan dalam SK SNI-1726-1989-F. Dalam standar tersebut ditentukan bahwa gedung-gedung dengan segenap komponen struktur penahan gempa harus direncanakan dan dibuat detailnya sedemikian rupa sehingga keseluruhannya mampu memberikan perilaku daktail sepenuhnya. Hal ini didasarkan pada kenyataan bahwa secara ekonomis tidaklah lazim untuk merencanakan struktur gedung sedemikian kuat sehingga tahan terhadap gempa secara elastik. Dengan merencanakan struktur terhadap beban inersia yang jauh lebih kecil maka bagian-bagian yang kritis dari batang-batang harus mempunyai

daktilitas yang cukup agar struktur tidak sampai runtuh. Daktilitas berarti kemampuan suatu batang saat mengalami pembebanan bolak-balik di atas titik lelehnya tanpa mengalami pengurangan dalam kemampuan kapasitas penampangnya.

Di dalam standar gempa Indonesia dianut filosofi struktur tahan gempa, sebagai berikut ini :

1. Terhadap gempa ringan, struktur tidak boleh rusak, non struktur boleh rusak ringan (plester retak).
2. Terhadap gempa sedang, non struktur boleh rusak (dinding pasangan retak), tetapi struktur tidak boleh rusak.
3. Terhadap gempa berat, struktur boleh rusak, tetapi tidak runtuh, artinya struktur masih mempunyai daktilitas yang cukup.
4. Kerusakan apapun yang terjadi, tidak boleh membahayakan jiwa manusia, penghuni atau orang sekitarnya.

Dalam analisisnya dikenal ada dua cara menghitung struktur terhadap gaya gempa, sebagai berikut ini.

3.7.1 Analisis Statik Ekuivalen

Cara analisa yang menganggap struktur masih dalam kondisi elastis, dan gaya lateral gempa didistribusikan ke setiap tingkat dalam bentuk segitiga terbalik, atau dalam kondisi *first mode*. Untuk gaya gesernya dihitung dengan rumus berikut :

$$V = C.I.K.WI \quad (3-78)$$

I = faktor jenis struktur C = koefisien gempa dasar, tergantung T

K = faktor keutamaan WI = berat total lantai

Untuk waktu getar dihitung :

$$T = 0,06 (H)^{0,75} \dots\dots \text{ untuk struktur beton bertulang} \quad (3-79)$$

$$C \Rightarrow T \quad H = \text{tinggi bangunan}$$

Sedangkan untuk menentukan besarnya beban geser pada bangunan baik secara total maupun tiap lantainya diperoleh dengan rumus berikut :

$$F_i = \frac{W_i \times h_i}{\sum (W_i \times h_i)} \times V \quad (3-80)$$

W_i = berat tiap lantai

Kontrol : $\sum F_i = V$ h_i = ketinggian sampai tingkat - i

V = beban geser dasar

Perbandingan antara tinggi dan lebar sistem penahan gempa adalah sama atau lebih besar dari 3, maka 0,1 V harus dianggap sebagai beban terpusat di lantai puncak dan 0,9 V sisanya harus didistribusikan seperti rumus di atas.

3.7.2 Metode Analisis Dinamik

Analisis dinamik pada perencanaan struktur bangunan tahan gempa dilakukan jika diperlukan evaluasi yang lebih akurat dari gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur, serta untuk mengetahui perilaku akibat pengaruh gempa yang sifatnya berulang. Tujuan analisis dinamik adalah untuk menentukan pembagian gaya geser tingkat akibat gerakan tanah oleh gempa.

Persyaratan- persyaratan struktur bangunan yang memenuhi cara analisis dinamik :

- a. Strukturnya sangat tidak beraturan.
- b. Mempunyai loncatan bidang muka (*set back*)
- c. Kekakuan tingkatnya tidak merata
- d. Tinggi gedung lebih dari 40 meter.
- e. Bentuk, kegunaannya, ukurannya tidak umum.

Dalam analisis dinamik dikenal ada dua cara yang sering digunakan untuk menentukan distribusi beban gempa pada struktur.

- a. Analisis Ragam Spektum Respon (*Spectral Modal Analysis*) digunakan untuk menentukan respon elastik dari struktur-struktur bangunan dengan banyak derajat kebebasan (*multi degrees of freedom MDOF*), yang didasarkan pada kenyataan bahwa respon dinamik suatu struktur merupakan superposisi dari respon masing-masing ragam getarnya.
- b. Analisis Respon Dinamik Riwayat Waktu (*Time History Analysis*) dimaksudkan untuk menentukan pembagian atau distribusi gaya gempa di sepanjang tinggi tingkat gedung dengan lebih tepat. Cara ini memerlukan rekaman percepatan gempa rencana sebagai percepatan gempa yang diperkirakan bekerja pada struktur.

Koefisien gempa dasar C sama dengan spektrum percepatan respon gempa rencana dibagi dengan percepatan gravitasi ($g = 9,81 \text{ m/det}^2$), maka spektrum percepatan respon gempa rencana diperoleh dari nilai C dikalikan 9,81. Prinsip dasar dari analisis dinamik adalah menentukan respon dinamik dari struktur,

berupa perpindahan (*displacement*), kecepatan (*velocity*), dan percepatan (*acceleration*). Prinsip di atas dapat dibuat dalam bentuk persamaan keseimbangan dinamik.

$$[M]a + [C]v + [K]d = -[M] \times ag \quad (3-81)$$

[M] = Matrik massa struktur

[C] = Matrik redaman struktur

[K] = Matrik kekakuan struktur

ag = Percepatan tanah akibat gempa pada dasar struktur

a, v, d = respon dinamik berupa percepatan, kecepatan, dan perpindahan

Pada program SAP 90, analisis dinamik struktur dengan metode analisis ragam spektrum respon dianalisis dengan memasukkan data berupa *blok MASSES* dan *blok SPEC*. Pada *blok MASSES* berisi data masukan untuk masa-masa dari struktur yang dipusatkan pada join-join struktur, sedangkan blok *SPEC* berisi data masukan untuk diagram spektrum respon gempa yang akan digunakan untuk memperhitungkan pengaruh beban dinamik pada struktur.

Faktor redaman sangat bergantung pada sambungan, bagian non-struktur dan bahan yang digunakan. Umumnya gedung mempunyai faktor redaman 2 % - 5 %, pada pembahasan ini nilai faktor redaman diambil nilai $D = 0,05$ (5 %). Dalam SKBI-1.3.53.1987 dijelaskan bahwa gaya geser tingkat dasar (V) yang diperoleh dari analisis ragam spektrum respon, nilainya tidak boleh kurang dari 0,9 kali beban geser dasar hitungan analisis statik ekuivalen. Spektrum percepatan respon

gempa rencana menggunakan diagram koefisien gempa dasar wilayah 3 pada struktur tanah keras.

Selain analisis di atas, dalam perencanaan struktur tahan gempa juga memperhitungkan beberapa faktor pengaruh yang terjadi pada bangunan, seperti faktor pengaruh momen puntir tingkat yaitu dengan memperhitungkan gerakan memuntir yang dapat menimbulkan gaya geser tambahan pada komponen struktur vertikal (seperti kolom atau dinding), di suatu tingkat. Hal ini dapat ditulis dalam rumus berikut :

$$Q_i = \sum_{l=x}^n F_i \quad x = \text{tingkat yang ditinjau} \quad (3-82)$$

$$e_d = 1,5 e_c - 0,05 B \quad e_d = \text{jarak pusat kekakuan } C_R \text{ terhadap}$$

$$e_d = 1,5 e_c - 0,05 B \quad \text{pusat massa } C_M$$

$$M_{\text{puntir}} = Q_i \times e_d \quad B = \text{lebar gedung diukur dalam arah tegak}$$

Lurus gaya F_i

Kemudian faktor pusat kekakuan (C_R) dan pusat massa (C_M). Titik pusat massa adalah titik tangkap teoritis beban geser tingkat, dan harus dihitung sebagai titik pusat dari semua beban gravitasi yang bekerja di atas lantai tingkat yang ditinjau (kumulatif) dan yang ditumpu pada tingkat lantai itu, sedangkan titik pusat kekakuan adalah titik tangkap resultante gaya geser gempa yang bekerja di dalam semua penampang komponen struktur vertikal (kolom atau dinding) yang terdapat pada lantai yang ditinjau. Bila $e_c > 0,3 B$, maka struktur harus dihitung dengan analisa dinamik tiga-dimensi.

$$e_d = e_c \pm ve \quad (3-83)$$

$$ve = 0,05 B \quad \text{atau} \quad e_d = e_c \pm B$$

Perencanaan struktur Hotel Treva Internasional Jakarta menggunakan analisis dinamik dengan pendekatan analisis ragam respon spektrum, yang juga mengacu pada standar SK SNI T-15-1991-03 dan perhitungan desain struktur rangka beton bertulang di daerah rawan gempa dari buku Ir Gideon. Untuk perhitungan tangga hanya dilakukan penaksiran beban yang bekerja terhadap struktur, khususnya pengaruh terhadap beban mati tambahan.

