

## ANALISIS PERPINDAHAN STRUKTUR BETON BERTULANG AKIBAT GAYA GESER HORIZONTAL PADA DAERAH RAWAN GEMPA

### ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURE REMOVAL DUE TO HORIZONTAL SHEARING FORCES IN EARTHQUAKE-PROOF AREAS

**Teddy Tambunan**

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau Kepulauan  
Email: teddy@ft.unrika.ac.id

#### **Abstract**

*The horizontal shear force is the equivalent static nominal earthquake load focused on the center of mass at a building floor level. The existence of different structures (number of levels and spans) in a building in an earthquake-prone area will cause several structural collapses, resulting in different structural plans. This analysis is able to generate and provide an overview of the collapse of the structure at the time of an earthquake, such as the magnitude of displacement, stress and strain conditions of structural elements during the design load. The comparison value between the load resulting from the factored load with the largest available strength ( $M_U/M_N$ ) is produced on the first beam of the 2nd and 3rd floors of the  $M_{10} = 2.2$  model in the soft soil view, while the smallest comparison value ( $M_U/M_N$ ) is generated on the beam. first floor 10 model  $M_{10} = 0.34$  on hard ground view. The stress-strain relationship that occurs in the beam structural elements in each structural model as a whole shows results that are greater than the allowable stress-strain according to the initial assumptions. The value obtained from the stress-strain relationship of each first beam is  $s = 0.00207$ ,  $y = 0.004415$ , this value belongs to condition I, where  $s \geq y$ . The beam structural element is declared destroyed when the design load occurs with the value of the reinforcing steel compressive strain  $s_s = 0.00218$  ( $> y = 0.002$ ), meaning that the assumptions in the initial step are correct.*

*Keywords: Horizontal shear force; Displacement*

#### **Abstrak**

Gaya geser horizontal merupakan beban gempa nominal statik ekuivalen yang terfokus pada pusat massa pada suatu tingkat lantai gedung. Dengan adanya struktur yang berbeda (jumlah tingkat dan bentang) pada suatu bangunan di wilayah rawan gempa akan menimbulkan beberapa keruntuhan struktur, sehingga menghasilkan perencanaan struktur yang berbeda pula. Analisa ini mampu menghasilkan dan memberikan gambaran keruntuhan struktur pada waktu terjadi gempa, seperti besarnya perpindahan, kondisi tegangan dan regangan element struktur saat beban rencana. Nilai perbandingan antara beban yang dihasilkan dari beban berfaktor dengan kekuatan yang tersedia ( $M_U/M_N$ ) terbesar dihasilkan pada balok pertama lantai 2 dan 3 model  $M_{10} = 2,2$  pada tinjauan tanah lunak, sedangkan nilai perbandingan ( $M_U/M_N$ ) terkecil dihasilkan pada balok pertama lantai 10 model  $M_{10} = 0,34$  pada tinjauan tanah keras. Hubungan tegangan regangan yang terjadi pada elemen struktur balok pada masing-masing model struktur secara keseluruhan menunjukkan hasil yang lebih besar daripada tegangan regangan yang diizinkan sesuai dengan asumsi awal. Nilai yang diperoleh dari hubungan tegangan regangan dari masing-masing balok pertama adalah  $\epsilon_s = 0,00207$ ,  $\epsilon_y = 0,004415$ , nilai ini termasuk pada kondisi I, dimana  $\epsilon_s \geq \epsilon_y$ . Elemen struktur balok dinyatakan hancur pada saat beban besar rencana terjadi dengan nilai regangan tekan baja tulangan  $\epsilon_s' = 0,00218$  ( $> \epsilon_y = 0,002$ ), artinya asumsi pada langkah awal telah benar.

Kata Kunci: Gaya geser horizontal; Perpindahan

## PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia termasuk wilayah yang rawan terhadap gempa, karena sebagian dari wilayah dilalui oleh dua jalur gempa, yaitu jalur sirkum pasifik (*Circum*

*Pasific Belt*) dan jalur trans asiatic (*Trans Asiatic Belt*) sesuai dengan peta gempa wilayah Indonesia dibagi menjadi 6 wilayah gempa, yaitu wilayah 1 dan 2 merupakan wilayah kegempaan rendah, wilayah 3 dan 4 merupakan wilayah kegempaan menengah (sedang), sedangkan wilayah 5 dan 6 merupakan wilayah kegempaan tinggi.

Gaya geser horizontal merupakan beban gempa nominal statik ekuivalen yang terfokus pada pusat massa pada suatu tingkat lantai gedung. Dengan adanya model struktur yang berbeda ( jumlah tingkat dan jumlah bentang ) pada suatu bangunan di wilayah rawan gempa akan menimbulkan berbagai bentuk keruntuhan struktur, sehingga menghasilkan perencanaan struktur yang berbeda pula. Untuk menganalisa dan mengkaji keruntuhan struktur akibat gaya geser horizontal pada wilayah rawan gempa dan diharapkan analisa ini dapat mampu menggambarkan keruntuhan struktur pada waktu terjadi gempa seperti besarnya perpindahan, kondisi tegangan regangan elemen struktur saat gempa rencana. Kemajuan teknologi yang berkembang pesat dan lahan bangunan yang terbatas menimbulkan ketertarikan para insinyur untuk merancang bangunan tingkat tinggi. Bangunan bertingkat tinggi tersebut sewaktu-waktu dapat mengalami kerusakan bahkan keruntuhan akibat gempa bumi apabila tidak direncanakan dan diperhitungkan dengan baik. Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental  $T_1$  dari struktur gedung harus dibatasi bergantung pada koefisien  $\xi$  (zeta) dan jumlah tingkatnya (SNI 1726-2002). Koefisien  $\xi$  (zeta) yaitu koefisien pengkali dari jumlah tingkat struktur gedung yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung, bergantung pada wilayah gempa.

Beban rencana minimum merupakan beban (gaya) geser dasar nominal statik ekuivalen akibat pengaruh gempa rencana yang bekerja ditingkat dasar struktur gedung beraturan dengan tingkat dektilitas umum, yang dihitung berdasarkan waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan tersebut (SNI 1726-2002) Desain suatu bangunan untuk daerah yang tidak merupakan rawan gempa, biasanya tidak memperhitungkan beban gempa sesuai beban rencana.

Berdasarkan latar belakang masalah, maka dilakukan penelitian untuk mengkaji seberapa besarkah beban gempa rencana minimum untuk setiap wilayah zona gempa di Indonesia sehingga struktur bangunan dapat direncanakan sebaik mungkin, dengan gambar struktur gedung yang sudah ditentukan.

### **Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Perhitungan beban gempa rencana minimum mengacu pada SNI 1726-2002 dan ASCE 07-95, dimana ASCE 07-95 hanya sebagai data pembanding untuk SNI 1726-2002.
2. Banyaknya tingkat sampai dengan 10 tingkat.
3. Fungsi bangunan yang ditinjau dalam penulisan tugas akhir ini yaitu gedung umum seperti perkantoran.
4. Taraf kinerja dari gedung adalah struktur dektail.
5. Jenis tanah yang ditinjau yaitu jenis tanah keras, tanah sedang, tanah lunak.
6. Wilayah gempa yang ditinjau yaitu wilayah gempa 6.

### **Rumusan Masalah**

Perumusan masalah yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah seberapa besar beban gempa rencana minimum untuk setiap wilayah zona gempa di Indonesia dan hubungannya dengan waktu getar alami bangunan, dengan struktur gedung yang sudah ditentukan.

### **Tujuan**

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. mendapatkan besarnya beban gempa rencana minimum yang dibutuhkan untuk merencanakan bangunan di setiap wilayah zona gempa Indonesia.
2. Untuk dapat mengetahui seberapa besar nilai perpindahan yang berada pada kondisi tanah lunak dan tanah keras.
3. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari nilai berat lantai struktur ( $w_i$ ) dan *displacement* ( $h_i$ ) dan waktu getar alami ( $T$ ).
4. Untuk mengetahui nilai perbandingan antara beban yang dihasilkan dari beban berfaktor.
5. Untuk mengetahui hubungan tegangan regangan yang terjadi pada elemen struktur balok yang diizinkan.
6. Untuk mengetahui sifat keruntuhan yang terjadi.

## **Manfaat**

Selain untuk mendapatkan informasi yang bermanfaat tentang beban gempa rencana minimum pada suatu struktur bangunan, penulisan ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perencanaan struktur bangunan pada setiap wilayah zona gempa Indonesia.

## **Tinjauan Pustaka**

### **Prinsip Dasar**

Umumnya bangunan tahan gempa direncanakan dengan prosedur yang ditulis dalam peraturan perencanaan bangunan (*building codes*). Peraturan dibuat untuk menjamin keselamatan penghuni terhadap gempa besar yang mungkin terjadi, dan untuk menghindari atau mengurangi kerusakan atau kerugian harta benda terhadap gempa sedang yang sering terjadi. Meskipun demikian prosedur yang digunakan dalam peraturan tersebut tidak dapat secara langsung menunjukkan kinerja bangunan terhadap suatu gempa yang sebenarnya, kinerja tadi tentu terkait dengan resiko yang dihadapi pemilik bangunan dan investasi yang dibelanjakan terkait dengan resiko yang diambil.

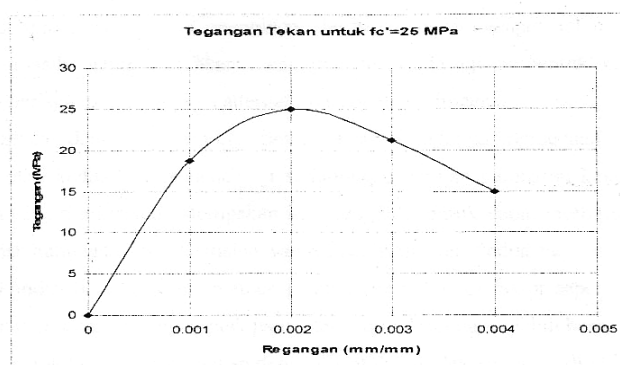
Peraturan perencanaan bangunan tahan gempa pada dasarnya memiliki dua ( 2 ) tujuan, pertama, untuk melindungi jiwa manusia terhadap gempa kuat, dengan memberikan kekuatan dan tahanan pada bangunan sehingga keruntuhan total atau sebagian dapat dihindari. Kedua, mencakup pembatasan kerugian harta benda dan gangguan kelancaran fungsi bangunan pasca gempa dengan intensitas kecil dan sedang. Gempa rencana ditetapkan mempunyai periode ulang 500 tahun, agar probabilitas terjadinya terbatas pada 10% selama umur gedung 50 tahun.

Untuk tujuan tersebut peraturan bangunan yang dipakai sampai saat ini mengacu kepada tiga filosofi. Pertama, mencegah kerusakan struktur dan non-struktur bila terjadi gempa kecil yang sering terjadi. Kedua, mencegah kerusakan struktur dan mengurangi kerusakan non-struktur, bila terjadi gempa bumi sedang (*moderate*) yang kadang-kadang terjadi. Ketiga, mencegah keruntuhan (*collapse*) sebagian atau total dari struktur bila terjadi gempa kuat yang jarang terjadi.

### **Hubungan Tegangan dan Regangan Struktur Beton**

Secara umum perilaku komponen struktur beton bertulang pada waktu menahan berbagai beban diantaranya ialah gaya aksial, lenturan, gaya geser puntiran, ataupun merupakan gabungan dari gaya-gaya tersebut bergantung pada hubungan tegangan-

regangan yang terjadi didalam beton dan juga jenis tegangan yang dapat ditahan. Karena sifat bahan beton yang hanya mempunyai nilai kuat tarik relatif rendah, maka pada umumnya hanya diperhitungkan bekerja dengan baik didaerah tekan pada penampangnya, dan hubungan tegangan-regangan yang timbul karena pengaruh gaya tekan tersebut digunakan sebagai pertimbangan.



Gambar 1 Hubungan Tegangan-Regangan Benda Uji Beton

Nilai kuat tekan beton didapat melalui tata cara pengujian standart, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji silinder beton ( diameter 150 mm, tinggi 300 mm ) sampai hancur. Tata cara pengujian umumnya yang dipakai adalah standart ASTM ( American Society for Testing Materials ). Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tinggi (  $f_c'$  ) yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan. Dengan demikian tegangan  $f_c'$  bukanlah tegangan yang timbul pada saat uji benda hancur, melainkan tegangan maksimum pada saat regangan beton (  $\epsilon_b$  ) mencapai nilai  $\pm 0,002$ . Di Indonesia dengan mengingat berbagai pertimbangan teknis dan ekonomis masih memperbolehkan menggunakan benda uji berbentuk kubus, umumnya berisi 150 mm, sebagai alternatif dari bentuk silinder.

Nilai kuat tekan beton didapat melalui tata cara pengujian standart, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji silinder beton ( diameter 150 mm, tinggi 300 mm) sampai hancur. Tata cara pengujian umumnya yang dipakai adalah standart ASTM (American Society for Testing Materials). Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tinggi (  $f_c'$  ) yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama

percobaan. Dengan demikian tegangan  $f_c'$  bukanlah tegangan yang timbul pada saat uji benda hancur, melainkan tegangan maksimum pada saat regangan beton ( $\epsilon_b$ ) mencapai nilai  $\pm 0,002$ . Di Indonesia dengan mengingat berbagai pertimbangan teknis dan ekonomis masih memperbolehkan menggunakan benda uji berbentuk kubus, umumnya berisi 150 mm, sebagai alternatif dari bentuk silinder.

Dengan demikian, penting untuk disadari adanya perbedaan hasil pengujian dari kedua bentuk benda uji sehubungan dengan gambaran kekuatan beton yang ingin diketahui, merupakan hal yang sulit untuk dapat merumuskan secara tepat hubungan nilai kekuatan yang dihasilkan oleh kedua bentuk untuk berbagai kondisi beton maupun metode pengujiannya. Faktor-faktor seperti kuat tarik beton dan luasan bidang kontak pada mesin uji berpengaruh lebih besar pada kekuatan bentuk kubus dibandingkan dengan bentuk silinder, sehingga diperlukan nilai korelasi rata-rata antar keduanya. Untuk beton normal, kuat tekan silinder ukuran 150 mm x 300 mm adalah 80% kuat kubus ukuran 150 mm x 150 mm, dan 83% kuat kubus ukuran 200 mm x 200 mm.

### **Baja Tulangan**

Beton tidak dapat menahan gaya tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami retak-retak. Untuk itu agar beton dapat bekerja dengan baik dalam suatu sistim struktur, perlu dibantu dengan memberinya perkuatan penulangan yang terutama akan mengemban tugas menahan gaya tarik yang akan timbul di dalam sistim. Untuk keperluan penulangan tersebut digunakan bahan baja yang memiliki sifat teknis menguntungkan, dan baja tulangan yang digunakan dapat berupa batang baja lonjoran, ataupun kawat rangkai las (*wire mesh*) yang berupa batang kawat baja yang dirangkai dengan teknis pengelasan. Yang terakhir tersebut, terutama dipakai untuk plat dan cangkang tipis atau struktur lain yang tidak mempunyai tempat cukup bebas untuk pemasangan tulangan, jarak spasi, dan selimut beton sesuai dengan persyaratan pada umumnya. Bahan batang baja rangkai dengan penelasan yang dimaksud, didapat dari hasil penarikan baja pada suhu dingin dan dibentuk dengan pola ortognal, bujur sangkar, atau persegi empat, dengan di las pada semua titik pertemuannya.

### **Kekuatan Batas / Ultimit**

Di dalam metode perencanaan kekuatan (*strength design method*) atau *ultimate strength methode*) beban kerja dinaikkan secukupnya dengan beberapa faktor untuk

mendapatkan beban ultimit (batas). Beban ini disebut dengan beban berfaktor (*factored load*) atau beban layan berfaktor (*factored service load*). Struktur atau diproporsikan sesuai dengan ketentuan hingga mencapai kekuatan pada saat bekerjanya beban berfaktor. Perhitungan dari kekuatan ini memperhitungkan sifat hubungan tidak linear antara tegangan dan regangan dari beton. Metode rencana kekuatan dapat dinyatakan sebagai berikut,

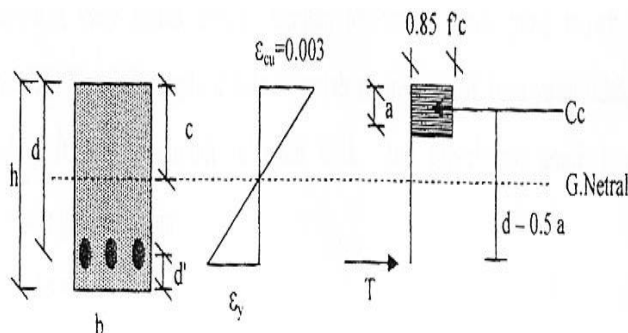
$$\phi M_N \geq M \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana kekuatan yang tersedia ( $M_N$ ) dihitung sesuai dengan peraturan dan asumsi dari sifat yang ditetapkan oleh peraturan bangunan, dan kekuatan yang diperlukan ( $M_U$ ) adalah kekuatan yang dihitung dengan menggunakan suatu analisis untuk beban berfaktor.

**Tulangan Lentur Balok Beton Bertulang**

Balok adalah suatu bagian kontruksi dari bangunan yang berfungsi sebagai elemen pendukung struktur yang mengalami momen lentur, gaya geser, gaya puntir, dan gaya aksial baik berupa tarik maupun tekan.

Berikut diberikan tinjauan ulang perilaku balok beton bertulang bila diberi beban yang relatif kecil, dengan menganggap belum terjadi retakan, beton dan baja secara bersama-sama memikul beban yang bekerja. Beban tekan hanya dipikul oleh beton dan beban tarik dipikul oleh tulangan baja. Distribusi tegangan dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2 Distribusi Tegangan Regangan

Berdasarkan diagram tegangan-regangan struktur diatas, maka keadaan seimbang resultan gaya horizontal ( $\Sigma H$ ) = 0, berarti  $C_c = T$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$A = \beta_1 \cdot C$$

Untuk  $f'_c \leq 30 \text{ Mpa}$  (  $300 \text{ kg/cm}^2$  ) berlaku  $\beta_1 = 0,85$

Untuk  $f'_c = 35 \text{ Mpa}$  (  $350 \text{ kg/cm}^2$  ) berlaku  $\beta_1 = 0,81$

Sehingga  $0,85 f'_c \cdot \beta_1 c b = A_s f_y$

$$C = \frac{A_s \cdot f_y}{(0,85 f'_c) \beta_1 \cdot b} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$A_s = \rho b d$$

$$C = \frac{\rho b d}{(0,85 f'_c) \beta_1} \dots\dots\dots (2.3)$$

Momen pada keadaan seimbang dapat ditentukan dari  $\Sigma M = 0$

$$M_b = C_c ( d - 0,5a ) = T ( d - 0,5a ) \dots\dots\dots (2.4)$$

$$T = \rho b d f_y, \text{ sehingga } M_b = \rho b d f_y ( d - 0,5a )$$

Pada beban yang lebih besar, tegangan yang terjadi telah melampaui kuat tarik beton yang regangan batas asumsi 0,003 hingga beton mengalami retak rambut dan tidak dapat meneruskan gaya tarik hingga diambil alih oleh tulangan baja.

Cara hancur elemen beton bertulang yang terjadi ada 2 macam yaitu melelehnya tulangan tarik pada baja terjadi secara perlahan-lahan sedangkan kehancuran yang kedua diawali dengan hancurnya beton yang terjadi secara mendadak. Untuk itu perlu dibatasi jumlah tulangan tarik baja yaitu tidak boleh melebihi 0,75 dari jumlah tulangan tarik yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan.

$$A_s < 0,75 A_{sb} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dalam kaitannya dengan rasio penulangan dimana  $\rho = A_s / b d$  maka rasio penulangan yang di izinkan dibatasi dengan 0,75 kali rasio penulangan seimbang.

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho \dots\dots\dots (2.6)$$

Penentuan  $\rho$  dapat diuraikan sebagai berikut :

Penentuan garis netral dengan persamaan

$$\frac{c}{0,003} = \frac{d}{(0,0003 + f_y / E_s)} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan memasukkan nilai Modulus elastisitas (  $E_s$  ) = 200.000 Mpa maka :

$$C = \frac{600 d}{600 + f_y} \dots\dots\dots (2.8)$$



Dari persamaan (1.2) dan (1.3) dapat di cari nilai rasio tulangan (  $\rho$  ) :

$$\rho = \frac{(0,85 \cdot f'c \cdot \beta 1)}{f_y} \cdot \frac{600}{(600 + f_y)} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dalam persamaan momen nominal (  $M_n$  ), didapat ;

$$M_n = ( C \text{ atau } T ) \times (d - \frac{a}{2})$$

$$M_n = \rho \times b \times d \times [d - \frac{\rho}{2} (\frac{f_y}{0,85 \times f'c}) \times d] \dots \dots \dots (2.10)$$

Suatu koefisien lawan ( *coefisient of resistence* ) yang dinyatakan dengan  $R_n$ , diperoleh dengan jalan membaginya dengan persamaan  $bd^2$  dan menuliskan

$$M = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} \dots \dots \dots (2.11)$$

Kemudian,

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \rho \times f_y \times (1 - 0,5 \rho \times m) \dots \dots \dots (2.12)$$

Nilai rasio tulangan (  $\rho$  ) dapat ditetapkan dengan jalan memecahkan persamaan kuadrat menjadi :

$$R_n = \rho \times f_y \times (1 - 0,5 \rho \times m) \dots \dots \dots (2.13)$$

Diperoleh :  $\rho = \frac{1}{m} (\frac{1 - \sqrt{1 - 2 \times m \times R_n}}{f_y})$ , setelah nilai  $\rho$  didapat maka luas tulangan yang dibutuhkan adalah :  $A = \rho \times b \times d \dots \dots \dots (2.14)$

Faktor pembebanan dasar U didalam pelampauan beban adalah 1,2 dan 1,6 yang digunakan sebagai berikut :

$$U = 1,2 D + 1,6 \dots \dots \dots (2.15)$$

Dan faktor  $\emptyset$  untuk lentur adalah 0,90, besaran U, D, L dari pelampauan beban juga dapat mewakili besaran-besaran yang merupakan fungsi dari beban. Seperti misalnya momen, geser, dan gaya aksial. Jika  $M_u$  didefinisikan sebagai momen akibat beban berfaktor dan  $M_D$  dan  $M_L$  adalah momen masing-masing akibat beban mati dan beban hidup, maka provisi pelampauan beban dasar untuk lentur dinyatakan sebagai :

$$M_u = 1,2 M_D + 1,6 M_L \dots \dots \dots (2.16)$$

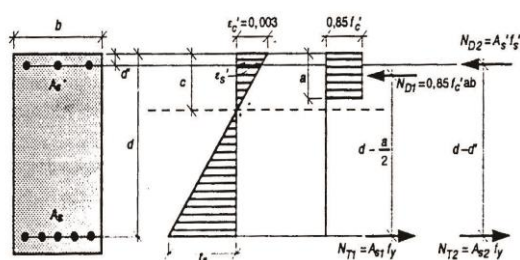
Persyaratan kekuatan untuk lentur dengan demikian dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\emptyset M_n \geq M_u \dots \dots \dots (2.17)$$

### Analisis Balok Terlentur Bertulang Rangkap

Analisis dengan balok bertulang tarik saja. Hanya ada satu tambahan anggapan yang penting ialah bahwa tegangan tulangan baja tekan ( $f_s'$ ) merupakan fungsi dari regangannya tepat pada titik berat tulangan baja tekan. Seperti pembahasan terdahulu, tulangan baja berperilaku elastik hanya sampai pada tingkat dimana regangannya mencapai leleh ( $\epsilon_y$ ). Dengan kata lain, apabila regangan tekan baja ( $\epsilon_s$ ) sama atau lebih besar dari regangan lelehnya ( $\epsilon_y$ ) maka sebagai batas maksimum tegangan tekan baja ( $f_s'$ ) diambil sama dengan tegangan lelehnya ( $f_y$ ). Sedangkan apabila regangan tekan baja yang terjadi kurang dari tegangan lelehnya maka tegangan tekan baja  $f_s' = \epsilon_s \cdot E_s$  dimana  $E_s$  adalah modulus elastis baja. Tercapainya masing-masing keadaan (kondisi) tersebut tergantung dari posisi garis netral penampang.

Dengan dua bahan berbeda yang akan menahan gaya tekan  $N_D$ , beton dan lentur balok bertulang rangkap seperti dijelaskan pada gambar dibawah ini, menyangkut penentuan kuat nominal lentur  $M_n$  suatu penampang dengan nilai-nilai  $b$ ,  $d$ ,  $d'$ ,  $A_s'$ ,  $F_c'$ , dan  $f_y$  yang sudah tertentu. Anggapan-anggapan dasar yang digunakan untuk analisis balok beton bertulang rangkap pada dasarnya sama baja tekan, gaya tekan total terbagi menjadi dua komponen ialah gaya tekan yang ditahan oleh beton  $N_{D1}$  dan yang ditahan oleh tulangan baja tekan  $N_{D2}$ . Sehingga didalam analisis momen tahanan dalam total dari balok diperhitungkan terdiri dari dua bagian atau dua kopel momen dalam, yaitu kopel pasangan beton tekan dengan tulangan baja tekan dengan tambahan tulangan baja tarik. Kedua kopel momen dalam, seperti tergambar pada gambar, kuat momen total balok bertulang rangkap merupakan penjumlahan kedua kopel momen dalam dengan mengabaikan luas beton tekan yang ditempati oleh tulangan baja tekan.



Gambar 3 Analisis Balok Bertulang Rangkap

Kuat momen dari pasangan kopel tulangan baja tekan dan baja tarik tambahan dihitung sebagai berikut :

$$M_{n2} = N_{T2} \cdot z_2 \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

Dengan menganggap tulangan baja tarik telah leleh, sehingga  $f_s = f_y$  :

$$M_{n2} = A_{s2} \cdot f_y ( d - d ) \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

Keseimbangan gaya-gaya :  $(\sum H) = 0$ , sehingga  $N_{D1} = N_{D2}$ , maka ;

$$A_{s'} \cdot f_s' = A_{s2} \cdot f_y \quad \dots\dots\dots(2.20)$$

Apabila dianggap tulangan baja tekan sudah leleh, sehingga  $f_s' = f_y$  ;

$$A_{s'} \cdot f_y = A_{s2} \cdot f_y \quad \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana :  $A_{s'} = A_{s2}$

Maka,  $M_{n2} = A_{s'} \cdot f_y \cdot ( d - d ) \quad \dots\dots\dots(2.22)$

Sedangkan kuat momen dari pasangan kopel gaya beton tekan dan tulangan baja tarik dihitung sebagai berikut ;  $M_{n1} = N_{T1} \cdot z_1$

Dengan menganggap tulangan baja tarik telah leleh,  $f_s = f_y$ :

$$M_{n1} = ( A_s - A_{s'} ) \cdot f_y ( d - \frac{1}{2} a ) \quad \dots\dots\dots(2.23)$$

Karena  $A_s = A_{s1} + A_{s2}$ , maka  $A_{s1} = A_s - A_{s2}$

Dan karena  $A_{s2} = A_{s'}$ , maka  $A_{s1} = A_s - A_{s'}$

Dengan demikian,  $M_{n1} = ( A_s - A_{s'} ) \cdot f_y ( d - \frac{1}{2} a )$   
 .....(2.24)

Dengan menjumlahkan dua kopel momen tersebut didapatkan kuat momen ideal balok bertulang rangkap :

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} = ( A_s - A_{s'} ) \cdot f_y \cdot ( d - \frac{1}{2} a ) + A_{s'} \cdot f_y ( d - d )$$

$$\dots\dots\dots(2.25)$$

Momen tahan  $M_R$  didapatkan dengan mengalihkan faktor reduksi kekuatan terhadap  $M_n$  ,

$$M_R = \phi \cdot M_n \quad \dots\dots\dots(2.26)$$

Kuat momen tahan atau kapasitas pasangan kopel gaya beton tekan dan tulangan baja tarik adalah ;  $M_{R1} = 0,8 \times b \times d^2 \times k$ , dengan nilai k adalah koefisien tahanan yang didapat dari tabel A.28 ( Ismawan Dipohusodo; Struktur Beton Bertulang ). Pasangan kopel gaya tulangan baja tekan dan tarik ditentukan sedemikian rupa sehingga kuat momennya memenuhi keseimbangan terhadap momen rencana,

$$M_{R2} = M_U - M_{R1} \dots \dots \dots (2.27)$$

$$M_{R2} = \phi \cdot N_{D2} \cdot (d - d')$$

$$N_{D2} = \frac{M_{R2}}{\phi \cdot (d - d')} \dots \dots \dots (2.28)$$

Karena  $N_{D2} = A_s' \cdot f_s'$ , maka  $f_s'$  dihitung berdasarkan letak garis netral pasangan kopel gaya beton tekan dan tulangan baja tarik, kemudian dilakukan pemeriksaan terhadap regangan  $\epsilon_s$  pada tulangan baja tekan.

Ungkapan tersebut didasarkan pada anggapan bahwa kedua penulangan baik tekan maupun tarik telah meleleh sebelum atau paling tidak pada saat regangan beton mencapai 0,003. Hal tersebut dapat diperiksa dengan menghitung regangan-regangan yang tercapai pada saat terjadi momen batas yang dengan sendirinya tergantung pada letak posisi garis netral pada penampang balok.

Letak garis netral dapat ditentukan dengan terlebih dahulu menghitung tinggi blok tegangan beton tekan

$$N_D = N_{D1} + N_{D2} \dots \dots \dots (2.29)$$

$$A_s \cdot f_y = (0,85 \cdot f_c') \cdot a \cdot b + A_s \cdot f \dots \dots \dots (2.30)$$

$$a = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{(0,85 \cdot f_y) \cdot b} \text{ atau } a = \frac{A_s \cdot f_y}{(0,85 \cdot f_c') \cdot b} \dots \dots \dots (2.31)$$

Dengan didapatkannya nilai  $a$  maka letak posisi garis netral dapat ditentukan dengan menggunakan rumus  $c = \beta_1 \cdot a$  dan kemudian dilakukan pemeriksaan terhadap kebenaran anggapan-anggapan yang digunakan. Letak garis netral dapat ditentukan dan selanjutnya digunakan untuk memeriksa regangan-regangan tulangan baja.

$$c = \frac{a}{\beta_1} \dots \dots \dots (2.32)$$

Regangan yang diperhitungkan terjadi pada saat dicapai momen ultimit :

$$\epsilon_s = \frac{c-d}{c} \times \epsilon_{cu}, \text{ untuk regangan tekan} \dots \dots \dots (2.33)$$

$$\epsilon_s = \frac{d-c}{c} \times \epsilon_{cu}, \text{ untuk regangan tarik} \dots \dots \dots (2.34)$$

pemeriksaan terhadap regangan tulangan baja tekan maupun tarik, dapat dilihat melalui beberapa kondisi berikut :

1. Kondisi I :  $\epsilon_s' \geq \epsilon_y$ ; artinya, tulangan tekan baja telah luluh/leleh,
2. Kondisi II :  $\epsilon_s' \leq \epsilon_y$ ; artinya, tulangan baja tekan belum luluh/leleh,

3. Kondisi III :  $\epsilon_s < \epsilon_y$ ; artinya, tulangan baja tarik belum melampaui tegangan luluh/leleh, kondisi ini jarang terjadi, dan akan terjadi jika adanya penulangan berlebihan.
4. Kondisi IV :  $\epsilon_s > \epsilon_y > \epsilon_s'$  ; artinya, tulangan baja tarik telah luluh/leleh, tetapi baja tekan belum luluh/leleh.

Dengan ketentuan bahwa  $\epsilon_y = ( F_y / E_S )$  dan regangan beton (  $\epsilon_{cu}$  ) pada saat batas hancur adalah 0,003.

### **Perencanaan Portal Daerah Rawan Gempa**

#### **a. Gempa Rencana dan Kategori Gedung**

Standar ini menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan struktur gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Akibat pengaruh gempa rencana, struktur gedung secara keseluruhan harus masih berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan. Gempa rencana ditetapkan mempunyai periode ulang 500 tahun, agar probabilitas terjadinya terbatas pada 10% selama umur gedung 50 tahun. Untuk berbagai kategori gedung bergantung pada probabilitasnya 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 :

$$I = I_1 \times I_2 \quad \dots\dots\dots(2.35)$$

#### **b. Wilayah Gempa dan Spektrum Respon**

Indonesia ditetapkan terbagi dalam 6 wilayah gempa seperti ditunjukkan dalam peta wilayah gempa indonesia (SNI 1726-2002). Pembagian wilayah gempa ini didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh gempa rencana dengan periode ulang 500 tahun,

#### **c. Beban Gempa Nominal Statistik Ekuivalen**

Struktur gedung beraturan dapat direncanakan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam arah masing-masing sumbu utama denah struktur tersebut, berupa beban gempa nominal statik ekuivalen, yang ditetapkan lebih lanjut dalam pembahasan berikut. Apabila kategori gedung memiliki faktor keutamaan I menurut tabel faktor keutamaan dan strukturnya untuk suatu arah sumbu utama denah struktur dan sekaligus arah pembebanan gempa rencana memiliki faktor reduksi gempa R

dan waktu getar alami fundamental  $T_1$ , maka beban dasar nominal statik ekuivalen  $V$  yang terjadi di tingkat dasar dapat dihitung menurut persamaan :

$$V = \frac{C_1 \times I}{R} \times W_t \dots\dots\dots(2.36)$$

Dimana  $C_1$  adalah nilai faktor respons gempa yang didapat dari spektrum respons gempa rencana untuk waktu getar alami fundamental  $T_1$ , sedangkan  $W_t$  adalah berat total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai.

Beban geser dasar nominal  $V$  harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen  $F_i$  yang menangkap pada pusat massa lantai tinggi ke –  $I$  menurut persamaan :

$$F_i = \frac{W_i \times z_i}{\sum_{i=1}^n W_i \times z_i} \times V \dots\dots\dots(2.37)$$

Dimana  $W_i$  adalah berat lantai tingkat ke- $i$ , termasuk beban hidup yang sesuai,  $Z_i$  adalah ketinggian lantai tingkat ke- $i$  diukur dari saraf penjepitan lateral, sedangkan  $n$  adalah nomor lantai tingkat yang paling atas.

**Waktu Getar Alami Fundamental**

Waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan dalam arah masing-masing sumbu utama dapat ditentukan dengan rumus Rayleigh berikut :

$$T_1 = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i d_i}} \dots\dots\dots(2.38)$$

Dimana  $W_i$  adalah total berat struktur lantai ke- $I$  dan  $F_i$  adalah distribusi gaya geser horizontal pada lantai  $i$ . sedangkan  $d_i$  adalah simpangan hirizontal lantai tingkat ke- $I$  dinyatakan dalam mm dan ‘ $g$ ’ adalah percepatan gravitasi yang ditetapkan sebesar 9810 mm/det<sup>2</sup>.

Apabila waktu getar alami fundamental  $T_c$  struktur gedung untuk penentuan Faktor Respons Gempa  $C_i$  menurut Tabel 2.5 dan Gambar 2.4.

**Kinerja Batas Layan Struktur Gedung**

Kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana, yaitu untuk membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, disamping untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Simpangan antar tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung tersebut akibat pengaruh Genpa 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 tersebut tidak boleh melampaui  $0,03/R$

## **Metodologi Penelitian**

### **Data**

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu banyaknya tingkat (  $n$  ), jenis tanah, koefisien penggali (  $\xi$  ), koefisien gempa (  $C_v$  ), faktor keutamaan gedung, (  $I$  ), berat total gedung (  $W_t$  dan  $W$  ), faktor reduksi gempa (  $R$  ).

#### **a. Banyaknya Tingkat ( $n$ )**

Jumlah tingkat suatu bangunan ini dapat mempengaruhi waktu getar alami suatu bangunan. Semakin banyak jumlah tingkat bangunan tersebut maka semakin besar pula waktu getar alaminya. Pada penulisan tugas akhir ini penulis menetapkan jumlah tingkat bangunan sebanyak 10 tingkat, dengan tinggi tingkat per lantai 4 meter dan 3 jumlah bentang, dengan lebar per bentang 6 meter,

#### **b. Jenis Tanah**

Jenis tanah juga memiliki pengaruh dalam perhitungan beban gempa rencana minimum. Oleh karena itu dalam penelitian ini penulis meninjau dari ketiga jenis tanah yang berbeda. Ketiga jenis tanah tersebut antara lain :

1. Tanah Keras
2. Tanah Sedang
3. Tanah Lunak

#### **c. Koefisien Penggali ( $\xi$ )**

Koefisien penggali dari jumlah tingkat struktur gedung yang membatasi waktu getar alami fundamental dari struktur gedung, tergantung pada wilayah zona gempa yang dapat dilihat pada Tabel 2.4 pada bab II.

#### **d. Faktor Keutamaan Gedung ( $I$ )**

Tingkat kepentingan suatu struktur terhadap bahaya gempa dapat berbeda-beda tergantung pada fungsinya. Semakin penting struktur tersebut semakin besar pula perlindungan yang harus diberikan. Sesuai dengan fungsi gedung yang akan digunakan oleh penulis yaitu gedung umum untuk perkantoran, dengan nilai faktor keutamaan gedungnya adalah 1 ( satu ) yang dapat dilihat pada Tabel 2.2 pada bab II.

#### **e. Berat Total Gedung ( Wt dan W )**

Dalam perhitungan beban gempa rencana minimum (V), berat total gedung (Wt dan W) juga mempengaruhinya. Dalam penulisan tugas akhir ini nilai berat total gedung tidak disebutkan nilainya melainkan hanya dalam bentuk Wt pada SNI dan W pada ASCE, hal ini bertujuan agar perhitungan ini dapat digunakan untuk semua jenis struktur.

#### **f. Faktor Reduksi Gempa ( R )**

Berdasarkan peraturan SNI 1726-2002 faktor reduksi gempa ( R ) yang ditinjau ada 2 ( dua ), tergantung dari taraf kinerja struktur gedung yaitu struktur daktail dan daktail penuh yang nilai ( R ) nya berkisar antara 2,4 – 8,5.

#### **g. Koefisien Gempa ( Cv )**

Nilai koefisien gempa ( Cv ) untuk peraturan ASCE 07-95 dengan berbagai percepatan puncak tanah ( Aa ) dan berdasarkan ketiga jenis tanah yang ditinjau, maka nilai koefisien gempanya

#### **Perhitungan**

Perhitungan beban gempa rencana minimum (V) mengacu pada dua (2) peraturan yaitu berdasarkan peraturan SNI 1726-2002 dan berdasarkan peraturan ASCE 07-95.

#### **Berdasarkan Peraturan SNI 1726 – 2002**

Untuk mendapatkan nilai beban gempa rencana minimum (V), terlebih dahulu dihitung waktu getar alami fundamental ( T<sub>1</sub> ) dan faktor respons gempa ( C<sub>1</sub> ) untuk setiap tingkat dan wilayah zona gempanya.

#### **a. Waktu Getar Alami Fundamental ( T<sub>1</sub> )**

Untuk menghitung beban gempa rencana maksimum diperlukan waktu getar alami fundamental (T<sub>1</sub>) yang harus dibatasi dengan cara mengalikan jumlah tingkat suatu gedung ( n ) dengan koefisien penggali ( ξ ) sesuai dengan masing-masing wilayah zona gempanya. Pembatasan waktu getar alami fundamental ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.11) yang terdapat pada bab II, yaitu sebagai berikut :

$$T_1 \leq \xi \cdot N$$

#### **b. Faktor Repons Gempa ( C<sub>1</sub> )**

Dalam peraturan SNI 1726-2002 faktor respons gempa ( C<sub>1</sub> ) tergantung pada waktu getar alami dan jenis tanah yang digunakan pada masing-masing wilayah zona gempa.



### c. Beban Gempa Rencana Minimum ( V )

Perhitungan beban gempa rencana maksimum menurut peraturan SNI 1726-2002 menggunakan rumus pada persamaan ( 2.15 ) yang terdapat pada Bab II, yaitu sebagai berikut :

$$V = 0,8 \frac{C_1 \cdot I \cdot W_t}{R}$$

Yang dihitung untuk setiap masing-masing wilayah zona gempa.

### Berdasarkan Peraturan ASCE 07-95

Sama halnya dengan peraturan SNI diatas untuk menentukan nilai beban gempa rencana minimum ( V ), pada peraturan ini juga terlebih dahulu menghitung nilai waktu getar alami fundamental ( T ) nya.

#### a. Waktu Getar Alami Fundamental ( T )

Penghitungan waktu getar alami fundamental didapat dengan menggunakan rumus yang terdapat dalam persamaan ( 2.12 ) pada Bab II yaitu sebagai berikut :

$$T = 0,1 \cdot n$$

#### b. Beban Gempa Rencana Minimum ( V )

Untuk beban gempa rencana minimum berdasarkan peraturan ASCE 07-95 digunakan rumus :

$$V = C_s \cdot W$$

Karena ketentuan W dianggap sama dengan peraturan SNI 1726-2002 maka yang dibandingkan hanyalah harga  $C_s$  nya dengan menggunakan rumus :

$$V = \frac{1,2 \cdot C_v}{RT^{2/3}}$$

## PERHITUNGAN DAN HASIL

### Perhitungan Dimensi Balok

Perencanaan Dimensi Balok

- Syarat dimensi balok  
 $H \geq L/21$  ( SK SNI-T-15-1991-03 tabel 3.2.5.6 ) dimensi L diambil bentang terpanjang. Ketentuan diatas berlaku hanya untuk  $f_y = 400$  Mpa, sedangkan untuk nilai mutu tulangan yang harus dikalikan dengan faktor  $0,4 + ( f_y/700 )$  ( SK-SNI-T-15-1991-03 tabel 3.2.5 butir 2 sub butir 1 penjelasan 6 )  
 $B_w = ( 1/2 ) \cdot h$  s/d  $( 2,3 ) \cdot h$

Diketahui :  $L = 6 \text{ m} = 600 \text{ cm}$

$$F_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$F_c' = 25 \text{ Mpa}$$

$$h \geq (L/21)$$

$$h \geq 28.5714 \text{ cm}$$

untuk perencanaan diambil  $h=45 \text{ cm}$

$b_w = (1/2) \cdot h$  sampai dengan  $(2/3) \cdot h$   $b_w = 22.5 \text{ cm}$  sampai dengan  $30 \text{ cm}$

untuk perencanaan diambil  $b_w = 30 \text{ cm}$

Jadi perencanaan digunakan balok dengan dimensi  $30 \text{ cm} \times 45 \text{ cm}$

#### Perhitungan Dimensi Kolom

- Perencanaan dimensi kolom

Tinggi Balok =  $45 \text{ cm}$

Lebar Balok =  $30 \text{ cm}$

Tebal Plat Rencana =  $12 \text{ cm}$

Bentang Balok 1 =  $600 \text{ cm}$

Bentang Balok 2 =  $600 \text{ cm}$

$$d_1 = h + (h_f/2) = 51 \text{ cm}$$

$$d_2 = h/2 = 22.5 \text{ cm}$$

Menurut SK-SNI-T-15-1991-03 pasal 3.1.10

Lebar  $b_f = b_f \leq (1/4) \cdot L$  dimana  $L$  adalah bentang terpanjang

$$b_f \leq b_1 + b_w + b_2$$

$b_1 \leq 8 h_f$  atau  $(1/2) \cdot L_1$  ( $L_1 =$  jarak bersih dari badan balok yang bersebelahan)

$$b_1 \leq 8 \cdot (12) \text{ atau } (1/2) \cdot (800 - 30)$$

$$b_1 \leq 96 \text{ cm atau } 285 \text{ cm}$$

diambil  $b_1 = 96 \text{ cm}$  (nilai yang terkecil)

karena  $L_1 = L_2$ , maka nilai  $b_1 = b_2$

jadi,  $b_2 = 96 \text{ cm}$  (nilai yang terkecil juga)

Maka,

1.  $b_f \leq (1/4) \cdot L$

2.  $b_f \leq b_1 + b_w + b_2$

$$b_f \leq (1/4) * 800$$

$$b_f \leq 96 + 30 + 96$$

$$b_f \leq 150 \text{ cm}$$

$$b_f \leq 222 \text{ cm}$$

diambil nilai terkecil, yaitu  $b_f \leq 150 \text{ cm}$

• **Penentuan titik Berat ( Y )**

$$Y = \frac{b_f x h_f x d_1 + h x b_w x d_2}{b_f x h_f + h x b_w}$$

$$Y = 38.79 \text{ cm}$$

**Perhitungan Inersia balok T terhadap sumbu x**

$$I_x \text{ balok T} = \Sigma \left( \frac{1}{12} \times b_f x h^3 fA x d^2 \right)$$

$$= 876005 \text{ cm}^4$$

• **Perhitungan K balok T**

$$K \text{ balok T} = \frac{I_x \text{ balok T}}{L} = \frac{876005}{600}$$

$$= 1460.01 \text{ cm}^3$$

Direncanakan kolom dengan  $b = h$  dimana akan digunakan dimensi yang sama untuk tiap lantai. Hal ini dikarenakan belum adanya perhitungan pembebanan.

$$h_{\text{kolom}} = 400 \text{ cm (tinggi kolom)}$$

$$I_x \text{ kolom} = (1/12) * b * h^3 = (1/12) * h^4$$

$$K_{\text{kolom}} = \frac{I_x \text{ kolom}}{h \text{ kolom}} = \frac{1}{12} \frac{d^4}{800} = 0.00021 b^4 \text{ cm}^3$$

$$0.00021 b^4 = 1460.01 \text{ ( } K_{\text{kolom}} = K_{\text{balok T}} \text{ )}$$

$$b^4 = 7008043$$

$$b = 51.4516 \text{ cm} = 55 \text{ cm}$$

sehingga untuk perencanaan, digunakan ukuran kolom ( 55 x 55 ) cm.

**Kesimpulan**

Dari seluruh tahapan alisa dan pembahasan dalam skripsi ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan melakukan pembebanan gempa rencana atau gaya geser horizontal pada model struktur yang bervariasi menghasilkan kurva distribusi gaya geser,  $F_i$

- terhadap perpindahan  $d$  pada masing-masing lantai model struktur. Semakin tinggi bangunan, maka nilai perpindahan semakin besar sesuai dengan distribusi gaya geser yang diberikan dari lantai 1 sampai dengan lantai atas atau atap.
2. Model struktur yang berada pada kondisi tanah lunak memberikan hasil perhitungan gaya geser yang lebih besar dari pada model struktur dengan tinjauan tanah keras. Hal ini disebabkan pengaruh dari nilai faktor respon gempa ( $C$ ) untuk tanah lebih besar dengan nilai  $C = 0,95$  sedangkan tanah keras memiliki nilai  $C = 0,83$ . Sehingga model struktur tanah lunak memberikan nilai perpindahan, perbandingan  $M_U/M_N$  dan perbandingan  $F_{i,n}/M_N$  yang lebih besar.
  3. Semakin tinggi tingkat model struktur maka semakin besar waktu getar alami yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh pengaruh dari nilai berat lantai struktur ( $W_i$ ) dan *displacement* ( $h_i$ ) pada rumusan T.Rayleigh, waktu getar alami terbesar ( $T$ ) dihasilkan oleh model  $M_{10}$  dengan tinjauan tanah lunak dan tanah keras ( $T = 3,02$  detik), sedangkan nilai  $T$  terkecil dihasilkan oleh model  $M_2$  dengan tinjauan tanah lunak dan tanah keras ( $T = 0,47$  detik).
  4. Nilai perbandingan antara beban yang dihasilkan dari beban berfaktor dengan kekuatan yang tersedia ( $M_U/M_N$ ) pada balok pertama masing-masing lantai model struktur menunjukkan hasil dengan  $M_U < M_N$  dan  $M_N > M_U$ . Nilai perbandingan  $M_U/M_N$  terbesar dihasilkan pada balok pertama lantai 2 dan 3 model  $M_{10} = 2,2$  tinjauan tanah lunak, sedangkan nilai perbandingan  $M_U/M_N$  terkecil dihasilkan pada balok pertama lantai 10 model  $M_{10} = 0,34$  dengan tinjauan tanah keras.
  5. Hubungan tegangan dan regangan yang terjadi pada elemen struktur balok pada masing-masing model struktur secara keseluruhan menunjukkan hasil yang lebih besar daripada tegangan regangan yang diizinkan sesuai dengan asumsi awal. Nilai yang diperoleh dari hubungan tegangan–regangan dari masing-masing balok pertama adalah  $\varepsilon_s' = 0,00207$ ;  $\varepsilon_s = 0,004415$ . Nilai ini termasuk dalam kondisi I, dimana  $\varepsilon_s' \geq \varepsilon_y$ .
  6. Elemen struktur balok dinyatakan hancur pada saat beban gempa rencana terjadi dengan nilai regangan tekan baja tulangan  $\varepsilon_s' = 0,00218$  ( $> \varepsilon_y = 0,002$ ). Artinya asumsi pada langkah awal telah benar, sifat keruntuhannya yaitu tulangan baja tarik

akan meleleh sebelum regangan beton tekan mencapai batas hancur/retak,  $\varepsilon_{cu} = 0,003$ .

### Saran

1. Dalam menganalisa *displacement* ( perpindahan ) yang terjadi pada masing-masing model struktur akibat gaya gempa horizontal ( beban gempa rencana ) yang terjadi ini banyak melibatkan asumsi, satuan dan tahapan yang sangat kompleks, sehingga diperlukan ketelitian dan pemahaman yang seksama agar dapat memberikan hasil yang tepat.
2. Untuk mendapatkan perilaku elemen struktur secara keseluruhan dan lebih detail, maka sebaiknya seluruh elemen struktur balok dan kolom pada suatu model struktur ditinjau dan di analisa secara keseluruhan.
3. Diperlukan pembuatan suatu program perencanaan gempa yang dapat menggambarkan pola keruntuhan dan perilaku struktur saat terjadi gempa rencana, sehingga menghasilkan nilai tegangan – regangan, kekuatan elemen dan alternatif penyelesaian dalam mengantisipasi gempa rencana.

### DAFTAR PUSTAKA

- W.C. Vis Gideon, 1993. *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang*, Erlangga jakatra.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 1726-2002*. Bandung
- ASCE 07-95 Standart. 1995. *Minimum Design Loads For Buildings And Other Structures*. New York,
- Dept. Pekerjaan Umum. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SK SNI 03-2847-2002)*. Yayasan LPBM. Bandung.
- Yosafat Aji Pranata. 2006. *Studi Perencanaan Berbasis Kinerja Pada Rangka Beton Bertulang dengan Metode Direct Displacement-based Design*. Jurnal Teknik Sipil. Vol.3, No.2
- Yosafat Aji Pranata. 2006. *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan pushover Analysis*. Jurnal Teknik Sipil. Vol.3, No.3
- Wiryanto Dewobroto. 2006. *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa*. Jurnal Teknik Sipil. Vol.3, No.1