

## Penerapan Konsep Disain Kapasitas pada Perencanaan Struktur Tahan Gempa

Riza Aryanti<sup>[1]</sup>

Muhammad Aminsyah<sup>[2]</sup>

(Jurusan Teknik Sipil Universitas Andalas)

### Abstract

Reinforced concrete construction was the common choice of building construction in Indonesia. Land of Indonesia in general was in earthquake area, in order to that building construction necessary designed to hold the earthquake. The anti earthquake structure building planning for Manulife financial Building used capacity design concept.

Manulife Financial Building structure elements planning due to draft of Reinforced Concrete Structure Analyse for Building Construction. Loads for structure analyse is vertical load (dead load and live load) and horizontal load (earthquake load).

**Key Words :** reinforced concrete construction, capacity design concept, structur analysis

### I. PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Pembangunan konstruksi dengan beton bertulang merupakan jenis konstruksi yang paling banyak digunakan karena mudah dalam mendapatkan material dan pelaksanaannya. Beton bertulang efektif digunakan pada konstruksi dengan bentang balok yang tidak begitu panjang sehingga untuk konstruksi gedung, struktur beton bertulang menjadi pilihan yang tepat.

Indonesia merupakan daerah rawan gempa, oleh sebab itu industri konstruksi di Indonesia harus memperhatikan masalah ketahanan struktur terhadap gempa<sup>[3]</sup>. Perencanaan untuk ketahanan struktur terhadap gempa dengan menerapkan konsep disain kapasitas.

#### 1.2 Tujuan dan Manfaat

Perencanaan struktur gedung dilakukan untuk mendapatkan dimensi elemen-elemen struktur gedung.

Hasil yang didapatkan dari perencanaan ini mudah-mudahan dapat dijadikan acuan umum untuk pembangunan struktur gedung dengan

penerapan konsep disain kapasitas.

#### 1.3 Batasan Masalah

Dalam menganalisis dan merencanakan struktur i, ruang lingkup pembahasan meliputi:

1. Dimensi komponen-komponen utama seperti : balok, kolom, dan pelat direncanakan sendiri dalam perencanaan awal (*preliminary design*).
2. Beban-beban yang ditinjau meliputi beban mati, beban hidup dan beban gempa.
3. Perhitungan respon struktur dilakukan dengan mempergunakan program komputer SAP 2000 (*Structure Analysis Program 2000*).
4. Peraturan-peraturan yang digunakan adalah sebagai berikut:
  - a. Draft Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SK SNI 03 – xxxx – 2002)
  - b. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung (SNI 03-1726-2002)
  - c. Peraturan Muatan Indonesia 1970
  - d. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk gedung 1983

1.4 Spesifikasi Teknis

Struktur yang ditinjau terletak di Jakarta yang termasuk ke dalam wilayah gempa IV dibangun menggunakan konstruksi beton bertulang.

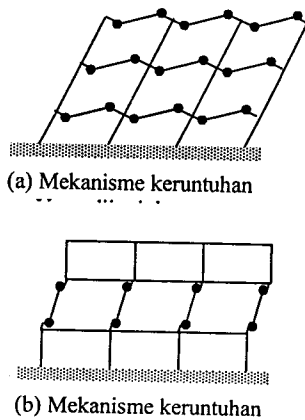
Mutu beton yang digunakan adalah K-350 ( $f'_c = 35 \text{ MPa}$ ) serta mutu baja tulangan adalah BJTD - 39 ( $f_y = 390 \text{ MPa}$ ) dan BJTP - 24 ( $f_y = 240 \text{ MPa}$ ).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Disain Kapasitas

Konsep disain kapasitas adalah mengatur bagian yang satu lebih kuat dari bagian yang lain, sehingga bentuk keruntuhan dapat ditentukan lebih dahulu.

Gambar berikut memperlihatkan dua mekanisme keruntuhan yang dapat terjadi pada portal-portal rangka terbuka.



Gambar 1. Ragam mekanisme keruntuhan

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan agar mekanisme ini dapat dijamin tercapai adalah:

1. Faktor peningkatan kuat lentur balok sebagai elemen utama pemencar energi gempa.

2. Faktor pengaruh beban dinamis pada kolom.

2.1.1 Faktor Peningkatan Kuat Lentur Balok

Guna memperhitungkan adanya kemungkinan peningkatan kuat lentur penampang balok di daerah sendi plastis, Draft Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung menentukan faktor penambahan kekuatan (*Over Strength Factor*)  $\phi_o$  sebesar 1,25. Selanjutnya kapasitas lentur penampang balok dapat dihitung sebesar:

$$M_{kap,b} = \phi_o \cdot M_{nak,b} \tag{1}$$

dengan:

$M_{nak,b}$  = Kuat lentur nominal balok yang dihitung berdasarkan luas tulangan yang sebenarnya ada pada penampang yang ditinjau.

Nilai  $M_{kap}$  digunakan untuk perhitungan elemen struktur selanjutnya.

2.1.2 Faktor Pengaruh Beban Dinamis Pada Kolom

Pada mekanisme daktail yang dikehendaki untuk portal rangka terbuka, sebagian besar sendi plastis terjadi pada ujung-ujung akhir bentang balok. Bila daerah sendi plastis ini sudah direncanakan penulangannya, maka momen kapasitas balok dapat diperhitungkan sebagai momen rencana yang bekerja pada kolom.

Bila kemungkinan terbentuknya sendi plastis pada ujung-ujung kolom hendak dipastikan tidak terjadi, maka distribusi momen yang memperhatikan pengaruh beban dinamis arus dilakukan. Untuk mencapai maksud ini dapat digunakan persamaan:

$$M_{u,k} \geq \left(\frac{6}{5}\right) \sum M_{kap,b} \tag{2}$$

$\sum M_{kap,b}$  = Jumlah momen kapasitas balok di sebelah kiri dan kanan kolom pada pusat join, yang berhubungan dengan kapasitas lentur aktual balok

**2.2 Disain Dan Perhitungan Konstruksi Beton Bertulang**

**2.2.1 Balok**

**1. Perencanaan Tulangan Lentur Balok**

Momen Nominal Rencana ( $M_n$ )

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \phi & (3) \\ &= M_u / 0,8 \\ &= 1,25 M_u \end{aligned}$$

Nilai momen nominal positif adalah:

$$M_n^+ = M_u^+ / \phi, \quad (4)$$

Dan nilai momen nominal negatif adalah:

$$M_n^- = M_u^- / \phi \quad (5)$$

Perbandingan antara rasio tulangan tarik dan rasio tulangan tekan untuk tulangan positif:

$$\rho' / \rho = M_n^- / M_n^+ \quad (6)$$

Perbandingan antara rasio tulangan tarik dan rasio tulangan tekan untuk tulangan negatif:

$$\rho' / \rho = M_n^+ / M_n^- \quad (7)$$

Jika  $\rho'/\rho$  nilainya kurang dari 0,5, nilai  $\rho'/\rho$  yang diambil adalah 0,5 dan jika  $\rho'/\rho$  nilainya lebih dari 1, maka nilai  $\rho'/\rho$  yang diambil adalah 1.

Agar balok dapat bersifat daktail, maka tulangan lentur harus direncanakan *under reinforced* sehingga tidak terjadi keruntuhan yang mendadak. Kondisi ini bisa terjadi bila tulangan tarik yang diperlukan diambil kurang dari kondisi seimbang (*balanced*). Untuk keperluan tersebut, maka diberi batasan rasio tulangan tidak boleh melebihi 0,75 rasio tulangan kondisi seimbang.

Luas tulangan perlu balok, yaitu luas

tulangan tarik ( $A_s$ ) dan luas tulangan tekan ( $A_s'$ ) berturut-turut adalah:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (8)$$

$$A_s' = \rho' / \rho \cdot A_s \quad (9)$$

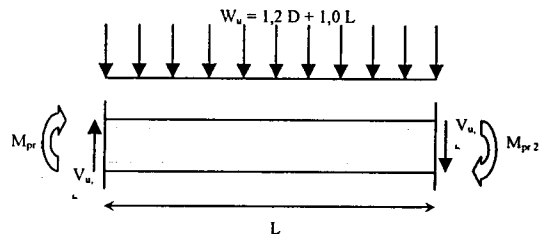
**2. Perencanaan Gaya Geser dan Tulangan Geser Balok**

Sesuai dengan konsep disain kapasitas, kuat geser balok portal ( $V_u$ ) yang dibebani oleh beban gravitasi sepanjang bentangnya harus dihitung dalam kondisi terjadi sendi plastis pada kedua ujung balok tersebut, menurut persamaan berikut <sup>(1)</sup>:

$$V_{u,b} = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L} \pm \frac{W_u \cdot L}{2} \quad (10)$$

Lihat gambar 2

tetapi  $V_{u,b}$  tidak boleh lebih kecil daripada nilai yang dibutuhkan berdasarkan hasil analisa struktur.



**Gambar 2.** Perencanaan geser untuk balok

Persamaan tulangan geser pada balok adalah:

$$V_u / \phi \leq V_c + V_s \quad (11)$$

dimana  $V_u / \phi$  adalah gaya geser balok terfaktor pada penampang yang ditinjau dan  $V_c$  adalah kuat geser nominal yang disediakan oleh beton yang pada daerah sendi plastis nilainya adalah nol. Nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk gaya lintang dan torsi adalah 0,75. Kuat geser nominal dari tulangan geser yang tegak lurus terhadap sumbu aksial

komponen struktur dalam jarak  $s$  adalah:

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (12)$$

sehingga:

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \quad (13)$$

dengan  $V_s = \frac{V_u}{\phi}$  (14)

Nilai tegangan geser beton dihitung dengan persamaan:

$$V_c = \left( \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) b_w \cdot d \quad (15)$$

sehingga

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (16)$$

pada lokasi diluar daerah yang berpotensi terjadinya sendi plastis, spasi maksimum tulangan geser disyaratkan tidak boleh melebihi nilai setengah tinggi manfaat balok ( $d/2$ ) dan 600 mm.

### 2.2.2 Kolom

Perhitungan tulangan lentur dan geser kolom dilakukan sesuai dengan konsep disain kapasitas yang mensyaratkan agar kolom lebih kuat daripada balok (*strong column-weak beam*).

#### a. Tulangan Lentur Kolom

Kuat lentur kolom portal ( $M_u$ ) yang ditentukan pada bidang muka balok harus dihitung berdasarkan terjadinya kapasitas lentur sendi plastis pada kedua ujung balok yang bertemu dengan kolom tersebut, yakni sebagai berikut:

$$\Sigma M_e \geq \left( \frac{6}{5} \right) \Sigma M_g \quad (17)$$

dengan:

$\Sigma M_e$  = Jumlah momen pada pusat hubungan balok kolom, sehubungan dengan kuat lentur nominal kolom yang merangka pada hubungan balok kolom tersebut

$\Sigma M_g$  = Jumlah momen pada pusat hubungan balok kolom, sehubungan dengan kuat lentur nominal balok-balok yang merangka pada hubungan balok kolom tersebut didasarkan pada tegangan tarik  $1,25 f_y$

Tetapi  $\Sigma M_e$  tidak perlu lebih dari nilai momen hasil dari analisa struktur.

Perencanaan tulangan lentur kolom dilakukan dengan bantuan tabel-tabel dan grafik-grafik perencanaan<sup>[1]</sup>.

Nilai pada sumbu vertikal grafik perencanaan dinyatakan dengan:

$$\frac{P_u}{\phi \cdot A_{gr} \cdot 0,85 \cdot f_c'} \quad (18)$$

Sedangkan nilai pada sumbu horizontal dinyatakan dengan:

$$\frac{M_u}{\phi \cdot A_{gr} \cdot 0,85 \cdot f_c' \cdot h} \quad (19)$$

Dengan memasukkan kedua nilai di atas, maka dari grafik perencanaan akan dapat dibaca suatu nilai  $r$ . Penulangan yang diperlukan ( $\rho$ ) adalah  $r \cdot \beta$ , dengan  $\beta$  tergantung pada mutu beton yang dipakai.

#### b. Tulangan Geser Kolom

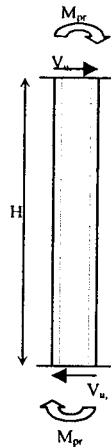
Kuat geser kolom portal berdasarkan terjadinya sendi plastis pada ujung-ujung balok yang bertemu pada muka kolom tersebut, harus dihitung sebagai berikut<sup>[1]</sup>:

$$V_{u,k} = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{H} \quad (20)$$

Lihat gambar 3

tetapi  $V_{u,k}$  tidak boleh lebih kecil daripada nilai yang dibutuhkan berdasarkan hasil analisa

struktur



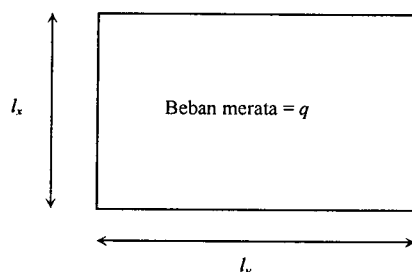
Gambar 3. Perencanaan geser untuk kolom

Perhitungan tulangan geser kolom sama dengan perhitungan tulangan geser balok, kecuali nilai  $V_c$  yang dihitung dengan:

$$V_c = \left( 1 + \frac{N_{u,k}}{14.A_g} \right) \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) . b.d \quad (21)$$

2.2.3 Pelat

Metode yang digunakan dalam perencanaan penulangan pelat dua arah adalah metode koefisien momen,  $M_u$  pelat didapat dengan mengalikan beban yang bekerja pada pelat dengan koefisien tertentu. Koefisien tergantung pada kondisi jepitan pada tepi pelat.



Gambar 2.5 Dimensi pelat dan pembebanan merata pelat

Mengacu pada gambar di 2.5, momen perlebar satuan dalam arah bentang pendek dan panjang diberikan menurut rumus:

$$M = 0,001x.ql_x^2 \quad (22)$$

Dengan  $q$  merupakan beban terdistribusi merata, Koefisien momen ( $x$ ) tergantung pada perbandingan ( $l_y/l_x$ ) dari pelat dan kondisi tumpuannya.

Setelah  $M_u$  didapat, maka selanjutnya ditentukan momen nominal perlu dengan menggunakan rumus:

$$M_n = M_u / \phi, \text{ dengan } \phi = 0,9 \quad (23)$$

Kemudian hitung nilai koefisien ketahanan ( $R_n$ ) dengan rumus:

$$1. R_n = \frac{M_n}{b.d^2} \quad (24)$$

$$2. R_n = \rho.f_y \left( 1 - 0,59 \frac{\rho.f_y}{f'_c} \right) \quad (25)$$

Dengan menyamakan kedua nilai  $R_n$  di atas, maka akan diperoleh nilai  $\rho$ .

Setelah nilai  $\rho$  diperoleh, maka dapat dihitung luas tulangan yang diperlukan ( $A_s$ ) dengan persamaan:

$$A_s = \rho.b.d \quad (26)$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai lengan momen dengan:

$$\text{Lengan momen : } a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c . b} \quad (27)$$

$M_n$  aktual dapat dihitung:

$$M_{n,akt} = A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (28)$$

Dimana  $M_{n,akt}$  harus  $> M_n$  perlu.

2.2.4 Dinding Geser

Dalam suatu bangunan tahan gempa, sistem struktur dinding geser sering digunakan. Dinding ini mempunyai kekakuan yang sangat

besar, sehingga dapat menyerap sebagian besar gaya geser yang terjadi akibat gempa.

Dinding geser direncanakan dengan kolom-kolom ujung. Langkah-langkah perencanaan dinding geser dengan adanya kolom ujung adalah sebagai berikut [6]:

1. Tulangi daerah kolom ujung sebagai salah satu elemen penahan beban momen.

$$M_{wall} = \omega \cdot M_u$$

Dimana  $\omega$  adalah faktor pembesaran dinamis = 1,3 (utk lt. 1,  $\omega = 1$ )

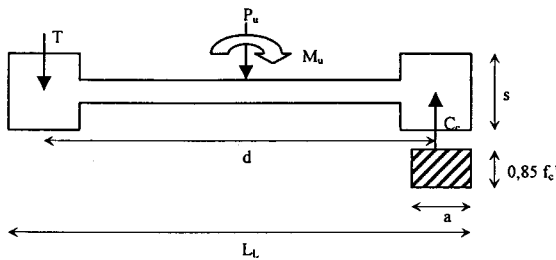
Gaya-gaya disain adalah:

$$\text{Momen rencana} = \omega \cdot M_u / \phi$$

$$\text{Gaya aksial rencana} = P_u / \phi$$

$$\text{Nilai } \phi = 0,8 - 0,15 \cdot P_u / (0,1 \cdot A_g \cdot f_c)$$

Dimana  $A_g$  = Luas total penampang dinding geser



Gambar 4. Beban-beban kerja dinding geser

Perhitungan penambahan tulangan pada kolom sisi dinding geser:

Berdasarkan pada gambar 2.6:

$$\sum M_T = 0 \dots$$

$$C_c \cdot d = M_u + P_u (L_L - s) \quad (29)$$

Persamaan XX menghasilkan d sebagai variabel

Volume blok tekan beton:

$$C_c = 0,85 f'_c \cdot a \cdot \text{sisi kolom} \quad (30)$$

Dengan memasukkan nilai  $a = L_L - s/2 - d$

Substitusikan persamaan 27 dan 28 sehingga didapatkan nilai d.

Dengan didapatkannya nilai d, maka

didapatkan pula nilai  $C_c$

$$\sum V = 0 \dots$$

$$T = C_c - P_u \quad (31)$$

Didapatkan nilai gaya T.

Sehingga luas tulangan tambahan perlu pada kolom sisi dinding geser:

$$A_s = T/f_y \quad (32)$$

Tulangan vertikal dinding geser

Tulangan vertikal dinding geser dihitung dengan memakai  $\rho$  minimum:

$$\rho_v = \rho_n = 0,0025$$

$$A_s = 0,0025 A_{cv}$$

2. Tulangan horizontal dinding geser

Kuat geser nominal ( $V_n$ ) dinding struktural [1]:

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_n \cdot f_y) \quad (2.4-39) \quad (33)$$

dengan koefisien  $\alpha_c = 1/4$  untuk  $(h_w/l_w) \leq 1,5$ ,  $\alpha_c = 1/6$  untuk  $(h_w/l_w) \geq 2,0$  dan dapat diinterpolasi linier untuk nilai-nilai diantaranya.

Beban geser rencana  $V_u$  adalah beban geser terfaktor.

Dengan persyaratan  $\phi \cdot V_n \geq V_u$ , dapat dihitung nilai  $\rho_n$ :

$$0,75 \cdot A_{cv} (\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_n \cdot f_y) \geq V_u \quad (34)$$

$$A_s = \rho_n \cdot A_{cv} \quad (35)$$

### III. HASIL PERENCANAAN

Berdasarkan perencanaan yang dilakukan, didapatkan:

1. Dimensi struktur atas:

a. Dimensi balok anak:  $(400 \times 600) \text{ mm}^2$

b. Dimensi balok induk:  $(500 \times 750) \text{ mm}^2$

c. Dimensi kolom:

1. Lantai basement – lantai 1:  $(80 \times 80) \text{ cm}^2$

2. Lantai 2 dan 3:  $(70 \times 70) \text{ cm}^2$

3. Lantai 4 dan 5:  $(60 \times 60) \text{ cm}^2$

4. Lantai 6 – atap:  $(50 \times 50) \text{ cm}^2$

- d. Dimensi dinding geser: tebal 20 cm
- 2. Baja tulangan yang digunakan:
  - a. Balok: BJTD-39 diameter 22 mm dan BJTP-24 diameter 16 mm
  - b. Kolom: BJTD-39 diameter 22 mm dan BJTP-24 diameter 16 mm
  - c. Pelat: BJTP-24 diameter 10 mm
  - d. Dinding geser: BJTP-24 diameter 10 mm

#### IV. PENUTUP

##### 4.1 Kesimpulan

Persentase tulangan terhadap iuasan penampang elemen struktur untuk gedung dengan spesifikasi: terletak di wilayah gempa IV, daya dukung tanah dasar sedang, dan menggunakan perhitungan disain kapasitas adalah:

- a. tulangan tarik balok: 0,4 – 2 %
- b. kolom: 0,3 – 5 %

##### 4.2 Saran

Untuk keakuratan perhitungan disain kapasitas, sebaiknya dilakukan juga perhitungan redistribusi momen dan pendetailan elemen struktur.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Standardisasi Nasional. "*Draft Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*". 2002
2. Badan Standardisasi Nasional. "*Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*". 2002
3. Aryanti, Riza. "*Kajian Eksperimental Joint Balok-Kolom Eksterior Pracetak dengan Sambungan Basah Dibawah Beban Siklik*" Tesis Magister.ITB.2001.
4. Burhan, Hendri dan Wizar, Salfendi. "*Perhitungan dan Desain Konstruksi Gedung Bimantara Headquarters-Jakarta*". Tugas Akhir Strata 1. Universitas Andalas. Padang. 2000.
5. Wahyudi, Laurentius. "*Struktur Beton Bertulang*", Gramedia, Jakarta, 1999
6. Kurniawan,Ruddy."Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Sistem Portal dan Dinding Geser" . Tugas perkuliahan Perilaku Struktur Beton, S2. ITB,1998.
7. Kusuma, Gideon dan Andriono, Takim."Desain Struktur Rangka Beton Bertulang di Daerah Rawan Gempa". Erlangga, Jakarta, 1993.
8. Vis, W.C dan Kusuma, Gideon. "*Dasar-dasar perencanaan beton bertulang*". Erlangga, Jakarta, 1993