

Perbandingan Kapasitas Sambungan Balok kolom Sistem Konvensional Dengan Sistem Pracetak Yang Menggunakan *Dywidag Ductile Connector (DDC)*

Rachmat Hidayat, Zulfikar Djauhari, Iskandar Romey Sitompul

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR.Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293
E-mail: Hidayat.Rachm@gmail.com

ABSTRACT

Beam - column Joint is a critical part on a reinforced concrete frame structure which is designed specifically for inelastic deforming when obtain a strong earthquake . Beam - column Joint will get horizontal and vertical shear forces as a moment result from the column above and below it and moments of the beams when carry the load of the earthquake. Beam-column joint is a very important part when transfer forces between precast elements which are connected. Beam - column joint area should be planned well in order to avoid changes the force flow precast structure which result the collapse of the hierarchy which are achieved in the structure . when the system of structure is changed from conventional to precast, it should be needed a good analyze to get an accuracy capacity in the critical region structural elements . In this study is obtained a moment and shear capacity of the structure which is put on any type of soil between conventional beam-column connection and a precast use Dywidag Ductile Connector. The result show that there are a differences between two types of connections in moment and shear capacity what are placed in difference soil conditions . The greatest of moments capacity is in the conventional beam column connection, that is SE = 271.25kNm, SD = 222.40 kNm , SC = 199.35 kNm, SB = 162.20 kNm, SA = 162.20 KNm. While The greatest of shear capacity is in the precast beam column connection, that is SE = 1318.21 kN , SD = 1019.80 kN , SC = 1019.80 kN, SB = 878.80 kN, SA = 679.87 kN. it is caused of type of method in calculating for the capacity of conventional systems and precast connector with ductile connector type.

Keyword : Precast, Conventional, Ductile Connector, Beam – Column Connection

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tidak adanya Peraturan khusus pada SNI Beton mengenai tata cara perencanaan kapasitas pada struktur beton pracetak mengakibatkan perencanaan struktur beton pracetak direncanakan dengan menganggap struktur tersebut seperti struktur monolit yang di cor di tempat. Metoda desain seperti ini disebut sebagai pendekatan emulasi (Warnes 1992 dalam Imran et al 1999). Dengan pendekatan ini, sistem struktur pracetak dapat direncanakan sebagai sistem

struktur yang konvensional sehingga diharapkan kapasitas yang ada pada struktur pracetak sama dengan kapasitas struktur konvensional termasuk pada daerah yang sangat kritis dari struktur yaitu sambungan. Metode ini biasanya sering digunakan oleh perencana untuk merubah sistem pelaksanaan struktur yang awalnya cor ditempat menjadi sistem pracetak tanpa ada pemeriksaan terlebih dahulu terhadap kelayakan kapasitas dari penggunaan sistem pracetak tersebut. Pada SNI Beton pasal 23.2.(1(5)) menyebutkan bahwa “sistem struktur beton

bertulang yang tidak memenuhi ketentuan pasal 23 boleh digunakan bila dapat ditunjukkan dengan pengujian dan analisis bahwa sistem yang diusulkan mempunyai kekuatan dan ketegaran yang minimal sama dengan yang dimiliki oleh struktur beton bertulang monolit setara yang memenuhi pasal 23”

Ketelitian terhadap kapasitas sesungguhnya dari sambungan merupakan suatu hal yang sangat penting dalam desain dan konstruksi. Dimana biasanya Kegagalan atau keruntuhan bangunan pasca gempa ditentukan oleh kualitas sambungan. Oleh karena itu sambungan perlu didesain benar-benar akurat untuk mampu mendisipasi energi dengan baik pada saat terjadi gempa.

Dywidag Ductile Connection (DDC) adalah salah satu bentuk sambungan yang bersifat daktail dan memiliki tahanan penuh baik pada momen maupun geser dengan karakteristik perilaku respons siklik yang sangat stabil serta memiliki batas *drift* yang tinggi. Tipe ini diusulkan oleh Robert E. Englekirk dan diproduksi oleh *Dywidag System International (DSI)*

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perencanaan Struktur Balok SRPMK

2.1.1 Menghitung Kapasitas Momen perlu Momen Nominal Rencana (M_n)

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = 1.25 M_u$$

2.1.2 Menghitung Jumlah Tulangan

Kondisi tulangan tarik yang diperlukan diambil kurang dari kondisi seimbang (balanced) guna mencapai perencanaan *underreinforced* (perkuatan kurang). Untuk keperluan tersebut, maka diberi batasan rasio tulangan tidak boleh melebihi 75% rasio tulangan kondisi seimbang.

$$\rho_{min} < \rho < 0.75 \rho_b$$

$$\rho_{Min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0.85 f_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{maks} = 0.75 \rho_b$$

Nilai rasio tulangan (ρ) diperoleh dengan mengikuti rumusan berikut

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi b d^2}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0.85 f'_c}} \right)$$

Untuk Luas tulangan yang harus dipasang untuk mendapatkan Kapasitas Momen pada balok adalah

$$A_s = \rho b d$$

2.1.3 Menghitung Momen Nominal Aktual

$$C_c = 0.85 f'_c a b$$

$$T_s = A_s f_y$$

Dengan keseimbangan $\sum H = 0$ maka,

$$C_c = T_s$$

$$0.85 f'_c a b = A_s f_y$$

Sehingga diperoleh tinggi blok tegangan sebagai berikut

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b}$$

Kapasitas Momen Nominal yang dihasilkan akibat adanya Tulangan pada balok adalah

$$M_n = T_z$$

$$z = d - \frac{a}{2}$$

$$M_n = A_s x f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Periksa kondisi regangan tulangan tarik telah mencapai tegangan leleh dengan menggunakan persamaan : ϵ_s dan $\epsilon_s' \geq \epsilon_y$

$$\epsilon_s = 0.003 \frac{\beta_1 \cdot d - a}{a}$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

2.1.4 Perencanaan Hubungan Balok-Kolom

Tinggi blok tegangan pada daerah tekan beton serta kapasitas momen dalam menahan beban gempa adalah

$$a = \frac{1.25 A_s f_y}{0.85 f_c' b}$$

$$M_{pr} = 1.25 A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

Besarnya gaya geser terfaktor yang terjadi pada sambungan adalah

1. Sambungan Balok kolom *Interior*

$$V_u = T_1 + C - V_{col}$$

$$V_u = T_1 + T_2 - V_{col}$$

2. Sambungan balok kolom *Eksterior*

$$V_u = T - V_{col}$$

Besarnya gaya geser pada kolom dihitung dengan

$$V_{col} = \frac{0.5 (M_{pr1} + M_{pr2})}{\frac{h_{x1}}{2} + \frac{h_{x2}}{2}}$$

Periksa Kapasitas geser yang diizinkan oleh SNI dengan :

$$V_u \leq \phi V_c$$

2.2 Perencanaan Struktur Pracetak Dengan Dywidag Ductile Connector.

2.2.1 Perencanaan Ductile Rod terhadap Momen

Nilai Momen nominal yang diterima oleh *Ductile Rod* adalah

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

Jumlah *Ductile Rod* yang dibutuhkan berdasarkan momen nominal yang terjadi pada daerah sambungan adalah

$$N = \frac{M_n}{T_{yi}(d - d')}$$

$$T_{yi} = A_s \times f_y$$

$$A_s = 0.25 \times \pi \times d^2$$

$$M_{nrod} = N T_{yi}(d - d')$$

2.2.2 Perencanaan Baut Terhadap Momen

Baut A490 direncanakan menahan momen dan gaya geser yang selanjutnya ditransfer ke balok. Jumlah baut yang akan dipakai direncanakan sedemikian rupa

sehingga sama dengan jumlah *ductile rod* yang digunakan. Besarnya gaya tarik dan tekan yang berasal dari *ductile rods* yang terjadi dimuka kolom adalah

$$\begin{aligned} T_{bn} &= \lambda_o \frac{M_{nrod}}{d - d'} \\ &= \lambda_o \frac{N T_{yi}(d - d')}{d - d'} \\ &= \lambda_o N T_{yi} \end{aligned}$$

Luas penampang baut yang harus ada ditentukan dari spesifikasi LRFD sebagai berikut :

$$N = \frac{T_{bn}}{\phi R_n} = \frac{T_{bn}}{\phi (F_n \times A_b)}$$

2.2.3 Pemeriksaan Bearing Pressure Beton Akibat Gaya Geser

Besarnya Gaya geser yang terjadi pada balok adalah

$$\begin{aligned} V_b &= \left(\frac{M_a + M_b}{l_c} \right) + 0.75(1.4V + 1.7VL) \\ &= \left(\frac{1.25 \times 2 M_{nrod}}{l_c} \right) + 0.75(1.4VD \\ &\quad + 1.7VL) \end{aligned}$$

Gaya geser yang terjadi pada balok ditahan oleh besarnya ikatan agregat pada beton serta gaya friksi yang terjadi dipermukaan baja. Gaya friksi yang terjadi adalah

$$f = \frac{V_b}{\lambda_o N T_{yi}} = \frac{V_b}{T_{bn}}$$

Akibat adanya *washer* atau plat yang ditempatkan pada baut, sehingga *bearing pressure* menjadi :

$$\rho = \frac{V_b / N}{A_{washer}}$$

Bearing pressure yang diizinkan oleh peraturan ACI adalah sebesar

$$\rho_{izin} = 1.7 \phi f_c' \text{ atau } 1.2 f_c'$$

$$\rho_{izin} \geq \rho$$

Mereduksi nilai *bearing Pressure* dengan cara memperbesar ukuran *Bell* pada *ductile rods* di muka kolom perlu dilakukan guna mengurangi kegagalan mekanisme pada desain sehingga,

$$\rho_{izin} = 1.2 f_c' \times A_{bell}$$

2.2.4 Pemeriksaan *Bearing Pressure* Beton Akibat Gaya Aksial

Kemampuan tekan atau tarik *ductile rods* pada sambungan (*Interior*) adalah

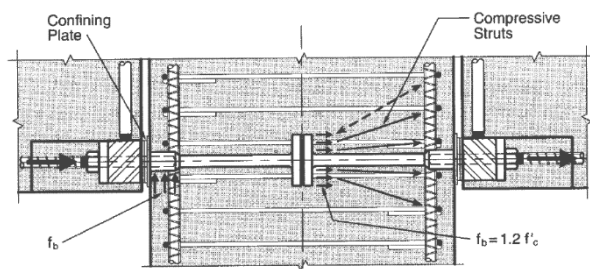
$$F_{aks} = 2 \times \lambda_o \times T_{yi}$$

Pada sambungan *eksterior*, kemampuan tekan atau tarik *ductile rods* menjadi:

$$F_{aks} = \lambda_o \times T_{yi}$$

Bearing stresses yang terjadi di ujung *ductile rods* adalah Syarat kekuatan adalah sebagai berikut

$$\frac{F_{aks}}{A_{head} - A_s} \leq \rho \text{ izin}$$

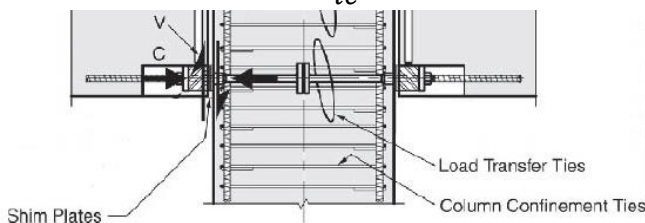


Gambar 4 : Transfer Geser Melalui *Bearing Stresses* dari *Ductile Rod* ke Beton

2.2.5 Perencanaan Kapasitas DDC Dalam Menahan Geser

Besarnya gaya geser rencana yang dihasilkan oleh *ductile rods* pada mekanisme transfer beban dimuka kolom adalah

$$V_{ne} = \frac{2 \lambda_o M_{n_{rods}}}{l_c}$$



Gambar 5: Transfer Geser baja ke baja pada elemen- elemen *Ductile Connector*

Gaya geser maupun aksial yang diizinkan dalam mekanisme transfer geser dan aksial yang dimulai dari bagian ujung *ductile rod* menuju ke *beam Connection*

Plate melalui seperangkat plat baja (*shim plates*) adalah sebesar nilai maksimum dari V_1 dan V_2 berikut ini.

$$V_1 = N T_p f$$

$$V_2 = \frac{M_u}{d - d'} f$$

$$V_n = \text{Maxs}(V_1 \text{ atau } V_2)$$

$$C = \text{Maxs}\left(\frac{M_u}{d - d'} \text{ atau } N T_p\right)$$

$$V_n \geq V_{ne} \text{ atau } C \geq T_{bn}$$

Besarnya kapasitas geser nominal yang dibutuhkan oleh konektor sesuai dengan peraturan kode ACI adalah

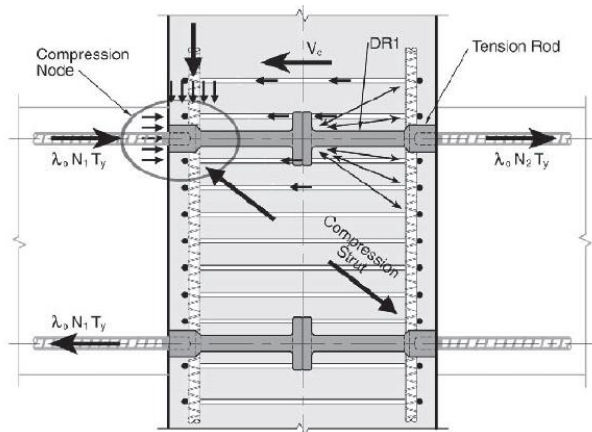
$$V_{nc} = V_{ne} + 0.75 (1.4VD + 1.7VL)$$

$$VD = Wd \left(\frac{l_c}{2}\right)$$

$$VL = Wl \left(\frac{l_c}{2}\right)$$

2.2.6 Perencanaan Sambungan Balok Kolom

Gaya geser yang bekerja pada sambungan balok kolom hanya terdiri dari gaya geser horizontal (V_{jh}).



Gambar 6: Transfer gaya yang terjadi pada sambungan Balok Kolom

Gaya geser yang terjadi pada sambungan *interior* dan *eksterior* adalah sebagai berikut:

$$V_{bpr} = \frac{\lambda_o M_{nrod}}{l_c/2}$$

$$V_{cpr} = \frac{V_{bpr} \times l}{h_x}$$

Untuk sambungan (*Interior*) dapat dihitung dengan rumusan berikut

$$V_{jh} = 2 \times \lambda_o \times N \times T_{yi} - V_{cpr}$$

Pada sambungan (*eksterior*) menggunakan rumusan:

$$V_{jh} = \lambda_o \times N \times T_{yi} - V_{cpr}$$

Kuat geser terfaktor yang terjadi pada hubungan balok-kolom tidak boleh lebih besar dari pada ketentuan berikut :

1. Hubungan balok-kolom yang terkekang pada keempat sisinya digunakan

$$V_c = 1,7 \times 0,75 \sqrt{f'c} \cdot A_j$$

2. Hubungan yang terkekang pada ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan digunakan

$$V_c = 1,25 \times 0,75 \sqrt{f'c} \cdot A_j$$

3. Hubungan lainnya digunakan :

$$V_c = 1,0 \times 0,75 \sqrt{f'c} \cdot A_j$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Perencanaan Struktur Balok

3.1.1 Momen Desain

Tabel 3.5 Momen desain pada balok akibat beban gravitasi dan beban gempa.

| Kondisi | Lokasi | Arah goyangan | Momen ultimit (Mu) kNm |
|---------|------------------------|---------------|------------------------|
| 1 | Ujung ekterior negatif | Kiri | -154.14 |
| 2 | Ujung interior positif | Kiri | 106.99 |
| 3 | Ujung ekterior positif | Kanan | 105.22 |
| 4 | Ujung interior negatif | Kanan | -135.79 |

Sumber :Program Etabs

3.1.2 Penulangan Balok Akibat Momen Lentur

a. Menghitung Kapasitas Momen yang harus dipenuhi (Mn- Perlu)

Sebagai trial awal, gunakan D19 dengan $A_s = 283.39 \text{ mm}^2$; $d = 500 - (50 + 10 + 19/2) = 430.5 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\Phi} \\ &= \frac{154.14}{0.8} \\ &= 192.68 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

b. Menghitung Baja Tulangan Yang Dibutuhkan Untuk Mendapatkan Momen Nominal Yang Diperlukan

1. Menghitung Rasio Material

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'c} = \frac{400}{0.85 \times 25} = 18.823$$

2. Menghitung Koefisien Tegangan Penampang

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{\phi b d^2} \\ &= \frac{192.68 \times 10^6}{0.8 \times 350 \times 430.5^2} = 3.713 \end{aligned}$$

3. Menghitung Rasio Tulangan ρ

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0.85 f'c}} \right) \\ &= \frac{1}{18.823} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3.713}{0.85 \times 25}} \right) \\ &= 0.01028 \end{aligned}$$

4. Menghitung Rasio Tulangan Minimum dan Maksimum

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Min}} &= \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{400} \\ &= 0.0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \beta_1 \frac{0.85 f_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0.85 \frac{0.85 \times 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0.0271 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{maks}} &= 0.75 \rho_b \\ &= 0.75 \times 0.0271 = 0.0203 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} < \rho < 0.75 \rho_b$$

$$\rho < 0.0203 \text{ dan } \rho > 0.0035.. \text{ ok}$$

5. Menghitung luas tulangan yang dibutuhkan (As-Butuh)

$$A_s = \rho b d$$

$$A_s \text{ Butuh} = 0.01028 \times 350 \times 430.5 \\ = 1548.385 \text{ mm}^2$$

Sehingga jumlah tulangan yang dibutuhkan adalah

$$n = \frac{A_s \text{ Butuh}}{A_s} \\ = \frac{1548.385}{283.39} = 5 \text{ Tulangan}$$

- c. **Menghitung Momen Nominal Aktual**
Tinggi blok tegangan tekan ekuivalen yang aktual adalah

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b} \\ = \frac{5 \times 283.39 \times 400}{0.85 \times 25 \times 350} \\ = 76.2 \text{ mm}$$

Cek momen nominal aktual ;

$$\phi M_n = \phi A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ = 0.8 \times 5 \times 283.39 \times 400 \left(430.5 - \frac{76.2}{2} \right) \\ = 177.92 \text{ kNm}$$

- d. **Cek Kelelahan Tulangan Terhadap Beton**

$$\epsilon_s = 0.003 \frac{\beta_1 \cdot d - a}{a} \\ = 0.003 \frac{0.85 \times 430.5 - 76.2}{76.2} \\ = 0.011 > \epsilon_y$$

Ok, kondisi desain *Underrainforced*

3.1.3 Hitung Probable Momen Capacities (M_{pr}).

1. Kapasitas momen pada ujung-ujung balok bila struktur dikenai beban Gempa adalah.

Kondisi 1:

$$a_{pr-} = \frac{1.25 A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c' \cdot b} \\ = \frac{5 \times 283.39 \times 1.25 \times 400}{0.85 \times 25 \times 350} \\ = 95.3 \text{ mm}$$

$$M_{pr-} = 1.25 A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a_{pr-1}}{2} \right) \\ = 5 \times 283.39 \times 1.25 \times 400 \left(430.5 - \frac{95.3}{2} \right) = 271.25 \text{ kNm}$$

3.1.4 Desain Hubungan Balok Kolom

- a. Hubungan Balok Kolom Tengah (*Interior*)

$$M_u = \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{2} \\ = \frac{170.85 + 271.25}{2} \\ = 221.05 \text{ kNm}$$

$$V_h = \frac{M_u}{\frac{h_c}{2}} = \frac{2 \times 221.05}{4 - 0.5} \\ = 126.32 \text{ kN}$$

Gaya Geser dipotongan X-X adalah

$$T1 = A_s \cdot 1.25 f_y \\ = 1.25 \times 5 \times 283.39 \times 400 \\ = 708.48 \text{ kN} \\ T2 = A_s \cdot 1.25 f_y \\ = 1.25 \times 3 \times 283.39 \times 400 \\ = 425.09 \text{ kN}$$

Besarnya Kemampuan Sambungan dalam Menahan Geser Adalah

$$V_{xx} = T1 + T2 - V_h \\ = 708.48 + 425.09 - 126.32 \\ = 1007.24 \text{ kN} > 138.65 \text{ kN}$$

Kuat geser Nominal yang di izinkan oleh SNI sesuai pasal 23.5(3(1)) Adalah

$$\phi V_c = 0.75 \times 1.75 \times A_j \sqrt{f_c} \\ = 0.75 \times 1.75 \times (350 \times 600) \sqrt{25} \\ = 1378.13 \text{ kN} > V_{xx}$$

3.2 Perencanaan Struktur Pracetak dengan Dywidag Ductile Connector

3.2.1 Perencanaan Ductile Rod terhadap Momen

Nilai Momen nominal yang diterima oleh *Ductile Rod* adalah

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{154.14}{0.8} \\ &= 192.68 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Sebagai trial awal, gunakan *ductile rods* dengan diameter D25 dengan $As = 490.63 \text{ mm}^2$ sehingga kekuatan leleh ideal *Ductile rods* adalah

$$\begin{aligned} T_{yi} &= As \times f_y \\ &= 490.63 \times 400 = 196.25 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jumlah *ductile rods* yang dibutuhkan dalam menahan momen ultimit adalah

$$\begin{aligned} N &= \frac{Mn}{T_{yi}(d - d')} \\ &= \frac{192.68 \times 10^3}{196.25 \times (355)} \\ &= 2.76 \cong 3 \text{ Ductile Rods} \end{aligned}$$

Besarnya Momen nominal yang dihasilkan oleh *ductile rod* yang terpasang adalah :

$$\begin{aligned} M_{nrod} &= N T_{yi}(d - d') \\ &= 3 \times 196.25 \times 355 \\ &= 209 \text{ kN.m} > Mn \end{aligned}$$

3.2.2 Perencanaan Baut Mutu Tinggi Terhadap Momen

Besarnya gaya tarik dan tekan diterima oleh baut adalah

$$\begin{aligned} T_{bn} &= \lambda_o N T_{yi} \\ &= 1.25 \times 3 \times 196.25 \\ &= 735.95 \text{ kN} \end{aligned}$$

Baut dengan diameter 1" (25.4 mm) yang memiliki $Ab = 490.63 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} N &= \frac{T_{bn}}{\phi(F_n \times Ab)} \\ &= \frac{735.95 \times 10^3}{0.75 \times (779.7 \times 490.63)} \\ &= 2.6 \text{ Baut} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &\cong 3 \text{ Baut} \\ &= \text{jumlah ductile rods ... ok} \end{aligned}$$

3.2.3 Pemeriksaan Bearing Pressure Beton Akibat Gaya Geser

Besarnya Gaya geser yang terjadi pada balok adalah

$$\begin{aligned} Vb &= \left(\frac{M_a + M_b}{l_c} \right) + V(1.2DL + 1.6LL) \\ &= \left(\frac{1.25 \times 2 Mn_{rods}}{l_c} \right) + V(1.2DL + 1.6LL) \\ &= \left(\frac{1.25 \times 2 \times 209}{4 - 0.6} \right) + 30.12 = 153.68 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nilai friksi yang akan terjadi adalah

$$\begin{aligned} f &= \frac{Vb}{\lambda_o N T_{yi}} \\ &= \frac{153.68}{735.95} \\ &= 0.20 \end{aligned}$$

Bearing pressure yang setelah penempatan *Ring (Washer)* pada baut adalah

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{Vb/N}{A_{washer}} \\ &= \frac{153.68 \times 10^3 / 6}{2025.8} \\ &= 12.64 \frac{N}{\text{mm}^2} = 12.64 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Bearing pressure yang boleh terjadi pada beton adalah sebesar

$$\begin{aligned} \rho_{izin} &= 1.2 f_c' \\ &= 1.2 \times 25 \\ &= 30 \text{ Mpa} > \rho \text{ ... ok} \end{aligned}$$

3.2.4 Pemeriksaan Bearing Pressure Beton Akibat Gaya Aksial

Kemampuan tekan atau tarik *ductile rods* pada sambungan (*Interior*) adalah

$$\begin{aligned} F_{aks} &= 2 \times \lambda_o \times T_{yi} \\ &= 2 \times 1.25 \times 196.25 \\ &= 490.63 \text{ kN} \end{aligned}$$

Besarnya tekanan pada beton yang akan terjadi di ujung *Ductile rods (Head Rod D6')* adalah

$$\frac{F_{aks}}{A_{head} - A_s} \leq \rho_{izin}$$

$$\frac{490.63 \times 10^3}{18232.22 - 490.63} = 27.65 \text{ Mpa}$$

3.2.5 Perencanaan Kapasitas DDC Dalam Menahan Geser

Besarnya gaya geser rencana yang dihasilkan oleh *ductile rods* adalah

$$\begin{aligned} V_{ne} &= \frac{2 \lambda_o M n_{rods}}{l_c} \\ &= \frac{2 \times 1.25 \times 209}{4 - 0.6} \\ &= 153.68 \text{ kN} \end{aligned}$$

Konektor membutuhkan suatu kapasitas dalam menahan gaya geser sebesar

$$\begin{aligned} V_{nc} &= V_{ne} + V(1.2DL + 1.6LL) \\ &= 153.68 + 30.12 \\ &= 183.8 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kemampuan konektor dalam menahan gaya geser maupun aksial adalah sebesar nilai maksimum dari V1 dan V2

$$\begin{aligned} V1 &= N T p f \\ &= 3 \times 284.68 \times 0.33 \\ &= 281.83 \text{ kN} \\ V2 &= \frac{Mu}{d - d'} f \\ &= \frac{154.14 \times 10^3}{355} \times 0.33 \\ &= 143.29 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= \text{Maxs}(V1 \text{ atau } V2) \\ V_n &= 281.85 \text{ kN} > V_{nc} \end{aligned}$$

3.2.6 Perencanaan Sambungan Balok Kolom

Gaya geser yang terjadi pada sambungan *interior* adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M_{pr-} &= \lambda_o M n_{rod} \\ &= 1.25 \times 209 \\ &= 261.26 \text{ kNm} \\ V_{bpr} &= \frac{M_{pr-}}{l_c/2} \\ &= \frac{2 \times 261.26}{4 - 0.6} \\ &= 153.68 \text{ kN} \\ V_{cpr} &= \frac{V_{bpr} \times l}{hx} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{153.68 \times 4}{4} \\ &= 153.68 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tipe sambungan yang ditinjau pada tugas ini adalah sambungan *interior* pada kode 4-C. Besarnya kapasitas sambungan balok kolom dalam menahan gaya geser adalah

$$\begin{aligned} V_{jh} &= 2 \lambda_o N T y_i - V_{cpr} \\ &= 2 \times 1.25 \times 3 \times 202.58 - 153.68 \\ &= 1318.21 \text{ kN} > 138.65 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat geser yang diizinkan terjadi pada sambungan balok kolom adalah

$$\begin{aligned} \phi V_{conc} &= 0.75 \times 1.75 \times A_j \sqrt{f_c} \\ &= 0.75 \times 1.75 \times (350 \times 600) \sqrt{25} \\ &= 1378.13 \text{ kN} > V_{jh} \end{aligned}$$

IV. PEMBAHASAN

4.1 Perbandingan Kapasitas Sambungan

Hasil perhitungan kapasitas sambungan balok kolom sistem konvensional dan pracetak tipe *ductile connector* berdasarkan periode gempa 500 tahun dalam berbagai kondisi tanah dapat dirangkum pada tabel berikut.

Tabel 4.1 Kapasitas Momen

| NO | JENIS TANAH | Mu-Etabs (kNm) | Mu-Konvensional (kNm) | Mu-Pracetak (kNm) |
|----|--------------------|----------------|-----------------------|-------------------|
| 1 | Tanah Lunak | 154.14 | 271.25 | 209.01 |
| 2 | Tanah Sedang | 129.29 | 222.40 | 163.22 |
| 3 | Tanah Keras | 115.17 | 199.35 | 163.22 |
| 4 | Tanah Batuan | 95.48 | 162.20 | 139.34 |
| 5 | Tanah Batuan Keras | 80.81 | 162.20 | 108.81 |

Tabel 4.2. Kapasitas Geser

| N O | JENIS TANA H | Vu- Etabs (kN) | Vu- Konvesi onal (kN) | Vu- Pracetak (kN) |
|--------|--------------------|----------------------|--------------------------------|-------------------------|
| 1 | Tanah Lunak | 138.65 | 1007.24 | 1318.21 |
| 2 | Tanah Sedang | 111.34 | 879.51 | 1019.80 |
| 3 | Tanah Keras | 96.14 | 711.70 | 1019.80 |
| 4 | Tanah Batuan | 74.85 | 621.82 | 878.80 |
| 5 | Tanah Batuan Keras | 59.62 | 621.82 | 679.87 |

Hasil perhitungan dan analisis dari bab 3 antara lain :

1. Adanya ketidaksamaan didalam metode perhitungan antara sistem konvensional dengan pracetak tipe *ductile connector* menyebabkan perbedaan kekuatan sambungan balok kolom sistem konvensional dengan pracetak tipe *ductile connector*.
2. Nilai kapasitas Momen sambungan balok-kolom konvensional lebih besar daripada *precast* tipe *ductile connector* seperti terlihat pada tabel 4.2.1
3. Nilai kapasitas Geser sambungan balok-kolom konvensional lebih kecil dari pada *precast* tipe *ductile connector* seperti terlihat pada tabel 4.2.2
4. Terjadi perbedaan dimensi komponen balok pada sistem pracetak untuk struktur yang berada pada tanah lunak, sedang dan keras yaitu 450 x 500 mm, untuk struktur yang berada pada tanah batuan dan batuan keras, dimensi komponen balok pada sistem pracetak masih tetap sama dengan sistem konvensional. Perbedaan ini disebabkan oleh pengaruh penulangan *ductile rod* di dalam kolom

5. Nilai kapasitas momen dan geser terbesar untuk sambungan balok kolom konvensional terletak pada struktur yang berada pada kondisi tanah lunak yaitu sebesar 271.25 kNm dan 1134.21 kN. Besarnya gaya gempa rencana yang diterima oleh struktur yang berdiri pada kondisi tanah lunak, menghasilkan reaksi yang besar pula pada struktur berdiri diatasnya.
6. Nilai kapasitas momen dan geser terbesar untuk sambungan balok kolom Precetak juga terletak pada struktur yang didirikan pada kondisi tanah lunak yaitu sebesar 261.26 kNm dan 1318.21 kN

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan yang telah dilakukan pada sambungan balok-kolom sistem konvensional dan pracetak *Dywidag Ductile Connector*, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Apabila suatu struktur yang menggunakan sistem konvensional akan dirubah metode pelaksanaannya menjadi sistem pracetak, maka dibutuhkan analisa ulang terhadap sistem pelaksanaan yang akan diterapkan pada struktur tersebut.
2. Kapasitas momen sambungan balok-kolom konvensional lebih besar daripada kapasitas momen sambungan balok-kolom precast tipe *Dywidag Ductile Connector*.
3. Kapasitas geser sambungan balok-kolom konvensional lebih kecil daripada kapasitas geser sambungan balok-kolom precast tipe *Dywidag Ductile Connector*.
4. Perbedaan metode didalam perhitungan kapasitas sambungan balok kolom mempengaruhi besarnya kapasitas sambungan balok kolom itu sendiri.
5. Apabila suatu elemen pracetak telah menjadi satu kesatuan struktur, maka bukan berarti kapasitas elemen tersebut

sama besarnya dengan sistem konvensional jika sistem pracetak memiliki metode tersendiri didalam perhitungannya.

6. Terjadi perubahan dimensi pada komponen balok sistem pracetak pada struktur yang berada pada tanah lunak, sedang, dan keras.
7. Perubahan dimensi balok sistem pracetak tersebut disebabkan oleh kesinambungan antara Momen ultimit yang diterima oleh *ductile rods* terhadap diameter *ductile rods* dan *Head rods* yang akan digunakan
8. Besarnya reaksi struktur yang berupa momen dan geser yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah yang akan menentukan besarnya nilai pembesaran/ amplifikasi getaran gempa permukaan dimana tanah lunak memiliki nilai amplifikasi yang paling maksimum.
9. Nilai bearing stresses akibat gaya aksial yang terbentuk pada ujung *ductile rods* (*Headrod*) lebih kecil dari pada bearing stresses yangizinkan oleh ACI yaitu sebesar 27.654 kN.
10. Nilai bearing stresses akibat gaya geser balok yang terbentuk pada belt *ductile rods* lebih kecil dari pada bearing stresses yangizinkan oleh ACI yaitu sebesar 12.644 kN.
11. Menurut perhitungan sebelumnya nilai kapasitas geser sambungan balok-kolom konvensional lebih kecil daripada kapasitas momen sambungan balok-kolom precast DDC. Ini disebabkan oleh adanya perbedaan nilai besarnya gaya geser yang terjadi di kolom akibat gaya gempa serta besarnya tegangan pada tulangan tarik disambungan.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya perlu diperhitungkan daktilitas sambungan

balok kolom pracetak tipe ductile connector dengan sistem konvensional

2. Perlu diperhitungkan kapasitas sambungan balok kolom sistem konvensional dengan pracetak tipe ductile connector pada setiap kondisi tanah untuk periode gempa 1000 tahun dengan 2500 tahun
3. Perlu dilakukan penelitian tentang sambungan balok-kolom precast dengan tipe sambungan yang berbeda, agar didapatkan perbandingan data sambungan pracetak yang lebih efisien.

DAFTAR PUSTAKA

ACI Committee 318.(2002). *Building Code Requirements for Structural Concrete Commentary*. ACI, Detroit.

Englekirk, R. E., “*Seismic Design of Reinforced and Precast Concrete Building,*” Publ.John Wiley and Sons, Inc., 2003,

SNI 03-1726-2002 :*Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan dan Gedung*

SNI 2847-2002.*Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.*

Sadjadi, Reza. 2012. *Analytical modeling of the shear behavior of reinforced concrete exterior beam-column joints.* Ryerson University,2003

Tavio.,Subakti A. 2009. *Behaviour of Precast Concrete Beam for Earthquake Resistance and Fast Build House using Infill Frame System.* Institute Teknologi Surabaya, 2003

Nawy, Edward G., (2003). *Reinforced Concrete, A Fundamental Approach,*

Fifth Edition. Prentice Hall. New Jersey.

Park, R., Paulay, T., (1975), "Reinforced Concrete Structure", John Wiley & Sons, New York.