

**PERBANDINGAN ANALISA KAPASITAS SAMBUNGAN BALOK-KOLOM
KONVENSIIONAL DAN PRACETAK SISTEM U-SHELL
(Studi Kasus Gedung A Rumah Sakit Pendidikan
Universitas Riau)**

Nasrullah, 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: nasrullah2727@gmail.com

ABSTRACT

Precast concrete construction have a lot of excellence compared to conventional system. this system excellence, for example well guaranteed quality, produce quickly and mass, development which quickly, natty and environmental friendliness with good product quality. Precast system which have been proven by its excellence is certifiable and become solution to replace conventional system. That is seen to the number of building in Pekanbaru used precast system. One other newest is building University of Riau Educational Hospital. This hospital use precast concrete type U-Shell. The part that becoming attention from precast system is beam-column connections. Beam-column connections represent very important part in transferring forces precast element jointed. When is not planned better hence the connection can collapse of precast structure, so that can alter hierarchy which wish reached structure.

This research have compared to momen and shear capacities between conventional beam-column connection and precast U-Shell. The result that obtained is difference of maximum confined concrete stress at corner connection (A), ekterior (B) and the interior (C) that is equal to 49,98 Mpa, 50,41 Mpa and 51,31 Mpa. Total of confined moment capacities is equal to A = 587,38 kN.m, B = 632,83 kN.m and C = 745,60 kN.m. The difference of maximum concrete stress and moment capacities of connection resulted from difference of configuraton of longitudinal steel and difference number of beam that connecting A, B And C that is 2, 3 and 4 of beams.

Keywords : precast, u-shell, conventional, confined, connection

1. PENDAHULUAN

Konstruksi beton pracetak mempunyai banyak keunggulan dibanding sistem konvensional (sistem yang dicor di tempat). Pada dasarnya sistem ini melakukan pengecoran komponen di tempat khusus di permukaan tanah (fabrikasi) di pabrik atau *groundfloor* lokasi proyek, lalu disusun menjadi suatu struktur utuh (*ereksi*). Keunggulan sistem ini, antara lain mutu yang terjamin, produksi cepat dan massal,

pembangunan yang cepat, ramah lingkungan dan rapi dengan kualitas produk yang baik.

RSP UR menggunakan sistem beton pracetak tipe U-Shell. Sistem beton pracetak yang digunakan gedung ini hanya pada bagian baloknya saja. Pembangunan RSP UR menjadi lebih efisien karena pabrikasinya terletak di area *groundfloor* lokasi proyek sehingga tidak membutuhkan transportasi tambahan untuk mengangkut balok pracetak dari pabrik ke lokasi proyek. Akan tetapi dari segala kelebihan yang dimiliki sistem pracetak, kekuatan struktur tetaplah harus

menjadi prioritas utama. Bagian yang menjadi perhatian dari sistem pracetak adalah pada sambungan balok-kolom.

Sambungan balok kolom merupakan bagian yang sangat penting dalam mentransfer gaya-gaya antar elemen pracetak yang disambung. Bila tidak direncanakan dengan baik (baik dari segi penempatan sambungan maupun kekuatannya) maka sambungan dapat mengubah aliran gaya pada struktur pracetak, sehingga dapat mengubah hirarki keruntuhan yang ingin dicapai dan pada struktur.

Berdasarkan peraturan SNI 03-2847-2002 pasal 14 tentang penyaluran dan penyambungan tulangan, jika terjadi ketidakcukupan panjang tulangan atau pemutusan tulangan pada lokasi tertentu maka harus ada sambungan lewatan tulangan pada lokasi tersebut. Pada sambungan balok kolom u-shell, kondisi tulangan bawah terputus pada joint/tumpuan sehingga harus dilakukan sambungan lewatan tulangan sejauh panjang penyaluran l_d sesuai dengan kondisi yang diatur tabel 11 SNI 03-2847-2002. Panjang l_d tidak boleh kurang dari 300 mm (pasal 14.2.1). Akan tetapi untuk kondisi balok precast u-shell tidak mungkin dilakukan sambungan lewatan tulangan karena beton pada tulangan bawah telah dicetak. Maka pada kondisi tersebut dibuat sambungan dengan cara melilitkan tulangan polos pada tulangan longitudinal yang dibengkokkan ke atas. Hal ini menjadi menarik untuk diteliti apakah kekuatan sambungan tipe u-shell mampu menahan gaya-gaya yang terjadi. Pada tugas akhir ini akan ditinjau seberapa kuat kapasitas sambungan balok kolom u-shell.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Sebelum melakukan analisis terlebih dahulu melakukan tahapan-tahapan penelitian yang akan dilalui sebagai berikut :

1. Studi lapangan dan Studi literatur atau pengumpulan bahan referensi sehingga

karakteristik dan detail gedung RSP UR didapatkan.

2. Menentukan letak titik pengamatan dan mengamati detail sambungan balok kolom pracetak U-Shell (sambungan eksterior, interior dan sudut) pada gedung RSP UR.
3. Membuat model struktur RSP UR menggunakan program sistem analisis struktur gedung tiga dimensi ETABS (*Extended Three-dimension Analysis of Building Systems*).
4. Memasukkan pembebanan gravitasi dan gempa terfaktor ke dalam program ETABS sesuai dengan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPPURG) 1987 dan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002.
5. Menganalisa struktur gedung dan mendapatkan momen ultimate (M_u) struktur sambungan balok-kolom dari program ETABS.
6. Menghitung kapasitas momen ($M_{n-konvensional}$) sambungan balok kolom konvensional untuk setiap tipe sambungan (eksterior, interior dan sudut).
Persyaratan kekuatan : $\phi M_n \geq M_u$
7. Membuat kurva tegangan regangan beton terkekang dari sambungan balok-kolom pracetak U-Shell untuk setiap tipe sambungan (eksterior, interior dan sudut).
8. Menghitung luas daerah di bawah kurva tegangan-regangan beton terkekang dengan menggunakan metode luasan pias. Kurva dibagi menjadi 100 pias untuk ketelitian perhitungan luasan kurva.
9. Menghitung tinggi daerah tekan beton terkekang/jarak garis netral aksis (c) dengan menggunakan *Trial and Error* hingga mendapatkan nilai gaya tekan

beton sama dengan nilai gaya tarik baja ($T = C_c + C_s$).

10. Menghitung kapasitas momen (M_n U-Shell) sambungan balok-kolom precast tipe U-Shell berdasarkan diagram tegangan-regangan beton terkekang untuk setiap tipe sambungan (eksterior, interior dan sudut).
Persyaratan kekuatan : $\phi M_n \geq M_u$.
11. Membandingkan analisis perhitungan kapasitas momen sambungan balok-kolom konvensional (M_n -Konvensional) dengan kapasitas momen sambungan balok kolom precast U-Shell (M_n U-Shell).
12. Menghitung kapasitas geser (V_n) sambungan balok-kolom konvensional dan precast tipe U-Shell untuk setiap tipe sambungan (eksterior, interior dan sudut).
13. Membuat hasil analisa dan kesimpulan dari perhitungan kapasitas sambungan balok-kolom konvensional dan precast U-Shell.

2.2. Menghitung Kapasitas Momen Sambungan Konvensional

Kapasitas momen sambungan balok kolom konvensional dihitung berdasarkan kapasitas balok tumpuan yang tersambung ke titik sambungan balok-kolom tersebut. Hal ini dikarenakan sistem portal menggunakan konsep desain kapasitas yaitu menerapkan system falsafah *strong column weak beam* dimana kelehan balok terjadi terlebih dahulu sebelum terjadinya kelehan kolom.

Kapasitas momen/momen nominal M_n yang akan dihitung yaitu pada daerah tumpuan balok, tulangan rangkap dan menggunakan cara perhitungan tegangan ekuivalen whitney.

1. Data balok UA9

Lebar, $b = 350$ mm

Tinggi, $h = 800$ mm

Selimut beton, $Sl = 40$ mm

Diameter tulangan longitudinal, $Dl = 22$ mm

Diameter tulangan sengkang, $Ds = 10$ mm

Jumlah tulangan longitudinal tarik (atas), $n = 4$ tulangan

Jumlah tulangan longitudinal tekan, $n' = 3$ tulangan

Mutu beton, $f'_c = 25$ Mpa

Mutu baja, $f_y = 400$ Mpa

2. Menghitung tinggi blok tekan beton (a)

Luas tulangan tarik, A_s (tulangan atas) :

$$\begin{aligned} A_s &= n \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= 4 \times 0.25 \times 3.14 \times 22^2 \\ &= 1519.8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan tekan, A_s' (tulangan bawah) :

$$\begin{aligned} A_s' &= n' \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= 3 \times 0.25 \times 3.14 \times 22^2 \\ &= 1139.8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Persamaan kesetimbangan balok tulangan rangkap :

$$C_c + C_s = T_s$$

$$(0.85 f'_c a b) + (A_s' f_y) = A_s f_y$$

Sehingga didapat nilai tinggi blok tegangan balok, a :

$$\begin{aligned} a &= \frac{(A_s - A_s') f_y}{0.85 f'_c b} \\ &= \frac{(1519.8 - 1139.8) \times 400}{0.85 \times 400 \times 350} \\ &= 20.4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tinggi garis netral balok (c) :

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{0.85} \\ &= \frac{20.4}{0.85} \\ &= 24 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Menghitung kapasitas momen nominal pada balok :

$$M_n = T \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d's)$$

$$\begin{aligned} M_n &= (A_s f_y) \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) + (A_s' f_y) \cdot (d - d's) \\ &= (1519.8 \times 400) \cdot \left(749 - \frac{20.4}{2} \right) + (1139.8 \times 400) \cdot (749 - 51) \\ &= 767,346,961.5 \text{ N} \cdot \text{mm} \\ &= 767.5 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

Persyaratan kekuatan,

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$0.85 \times 767.5 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq 593.44 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$652.2 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq 379.80 \text{ kN} \cdot \text{m} \dots \text{oke!!!}$$

Dengan menggunakan cara yang sama seperti menghitung momen nominal tumpuan balok UA9 diatas, maka didapatkan kapasitas

momen balok (Mn) pada daerah tumpuan di masing-masing sambungan A, B dan C seperti yang terlihat pada tabel dibawah:

Tabel 1. Perhitungan kapasitas momen konvensional sambungan

Tipe	Balok	Mn (kN.m)	ØMn (kN.m)	Mu (kN.m)	Ket
A	UA1	1088.66	925.36	659.88	Ok
	UA9	767.34	652.24	379.80	Ok
B	UA9ki	767.34	652.24	379.80	Ok
	UA9ka	767.34	652.24	366.68	Ok
	UA2	985.70	837.85	627.72	Ok
	UA6ki	985.70	837.85	451.13	Ok
C	UA2	985.70	837.85	444.55	Ok
	UA6ka	985.70	837.85	687.25	Ok
	UB18	847.63	720.49	367.64	Ok

2.3. Menghitung Kapasitas Momen Sambungan U-Shell

1. Data sambungan U-Shell pada joint A (sambungan sudut) :

- Diameter tulangan longitudinal utama, $D_l = 22 \text{ mm}$
- Jumlah tulangan longitudinal pada joint, $n = 7$ batang
- Diameter tulangan transversal spiral polos, $D_s = 10 \text{ mm}$
- Tegangan puncak beton tak terkekang, $f'_{co} = 25 \text{ MPa}$
- Tegangan leleh tulangan transversal/pengekang, $f_{yh} = 400 \text{ Mpa}$
- Spasi antar tulangan transversal, $S = 100 \text{ mm}$
- Spasi bersih antar tulangan transversal, $S' = 90 \text{ mm}$
- Regangan puncak tegangan beton tak terkekang, $\epsilon_{co} = 0.02$
- Diameter dari tulangan pengekang lingkaran $d_s = 300 \text{ mm}$ (dihitung dari jarak center tulangan),

2. Menghitung luas area inti beton,

$$A_c = \frac{1}{4} \pi d_s^2$$

$$A_c = \frac{1}{4} x (3.14) x (300^2)$$

$$A_c = 70.650 \text{ mm}^2$$

3. Menghitung luas area tulangan longitudinal,

$$A_s = \text{jumlah tulangan} x \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_s = 7 x \frac{1}{4} x (3.14) x (22)^2$$

$$A_s = 2659,58 \text{ mm}^2$$

4. Menghitung rasio dari area tulangan longitudinal ke area inti beton,

$$\rho_{cc} = \frac{A_s}{A_c}$$

$$\rho_{cc} = \frac{2659,58 \text{ mm}^2}{70.650 \text{ mm}^2}$$

$$\rho_{cc} = 0.0376$$

5. Menghitung luas area inti beton (setelah dikurangi area tulangan longitudinal),

$$A_{cc} = \frac{\pi}{4} d_s^2 (1 - \rho_{cc})$$

$$A_{cc} = \frac{3.14}{4} x 300^2 x (1 - 0.0376)$$

$$A_{cc} = 67.990,4 \text{ mm}^2$$

6. Menghitung luas area inti beton terkekang pada bagian tengah dengan batas antar tulangan transversal/pengekang,

$$A_e = \frac{\pi}{4} \left(d_s - \frac{s'}{2} \right)^2$$

$$A_e = \frac{\pi}{4} d_s^2 \left(1 - \frac{s'}{2d_s} \right)^2$$

$$A_e = \frac{3.14}{4} \times (300^2) \times \left(1 - \frac{90^2}{2 \times 300} \right)^2$$

$$A_e = 51.044,6 \text{ mm}^2$$

7. Menghitung koefisien kekangan efektif,

$$k_e = \frac{A_e}{A_{cc}}$$

$$k_e = \frac{51.044,6 \text{ mm}^2}{67.990,4 \text{ mm}^2}$$

$$k_e = 0.751$$

8. Menghitung luas tulangan transversal,

$$A_{sp} = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_{sp} = \frac{1}{4} \times (3.14) \times (10^2)$$

$$A_{sp} = 78,5 \text{ mm}^2$$

9. Menghitung rasio volumetric tulangan transversal pengekang ke volume dari inti beton,

$$\rho_s = \frac{A_{sp} \pi d_s}{\frac{\pi}{4} d_s^2 s}$$

$$\rho_s = \frac{4A_{sp}}{d_s s}$$

$$\rho_s = \frac{4 \times 78,5 \text{ mm}^2}{300 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}}$$

$$\rho_s = 0.01047$$

10. Menghitung tegangan lateral efektif terkekang,

$$f_l = \frac{1}{2} k_e \rho_s f_{yh}$$

$$f_l = \frac{1}{2} \times 0.751 \times 0.01047 \times 400 \text{ MPa}$$

$$f_l = 1.572 \text{ MPa}$$

11. Menghitung tegangan puncak beton terkekang,

$$f'_{cc} = f_{co} \left(-1.254 + 2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 f_l}{f_{co}}} - 2 \frac{f_l}{f_{co}} \right)$$

$$f'_{cc} = 25 \text{ MPa} \times \left(-1.254 + 2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 \times (1.572 \text{ MPa})}{25 \text{ MPa}}} - 2 \frac{1.572 \text{ MPa}}{25 \text{ MPa}} \right)$$

$$f'_{cc} = 49.98 \text{ MPa}$$

12. Menghitung regangan pada puncak tegangan beton terkekang,

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right) \right]$$

$$\varepsilon_{cc} = 0.002 \times \left[1 + 5 \left(\frac{49.98 \text{ MPa}}{25 \text{ MPa}} - 1 \right) \right]$$

$$\varepsilon_{cc} = 0.01199$$

13. Menghitung modulus tangent dari beton,

$$E_c = 5000 \sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 5000 \sqrt{25 \text{ MPa}}$$

$$E_c = 25.000 \text{ MPa}$$

14. Menghitung modulus secant dari beton pada puncak tegangan,

$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}}$$

$$E_{sec} = \frac{25 \text{ MPa}}{0.01199}$$

$$E_{sec} = 4167,6 \text{ MPa}$$

15. Menghitung nilai r,

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}}$$

$$r = \frac{25000}{25.000 - 4167.7}$$

$$r = 1.2$$

16. Menghitung regangan ultimate beton terkekang,

$$\varepsilon_u = 5 \times \varepsilon_c$$

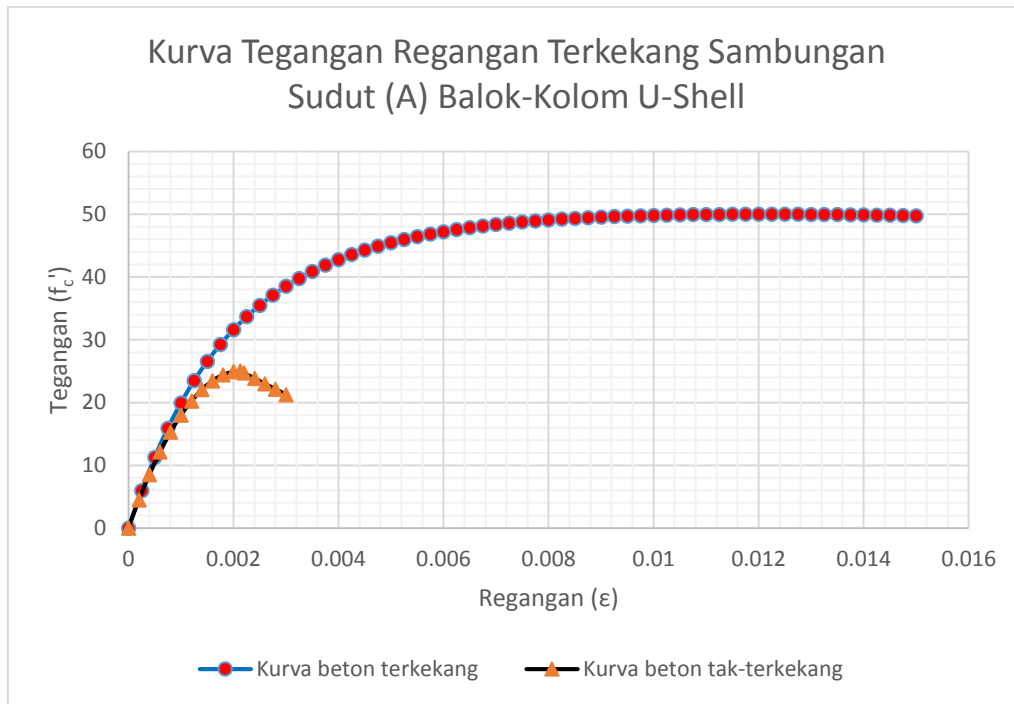
$$\varepsilon_u = 5 \times 0.003$$

$$\varepsilon_u = 0.015$$

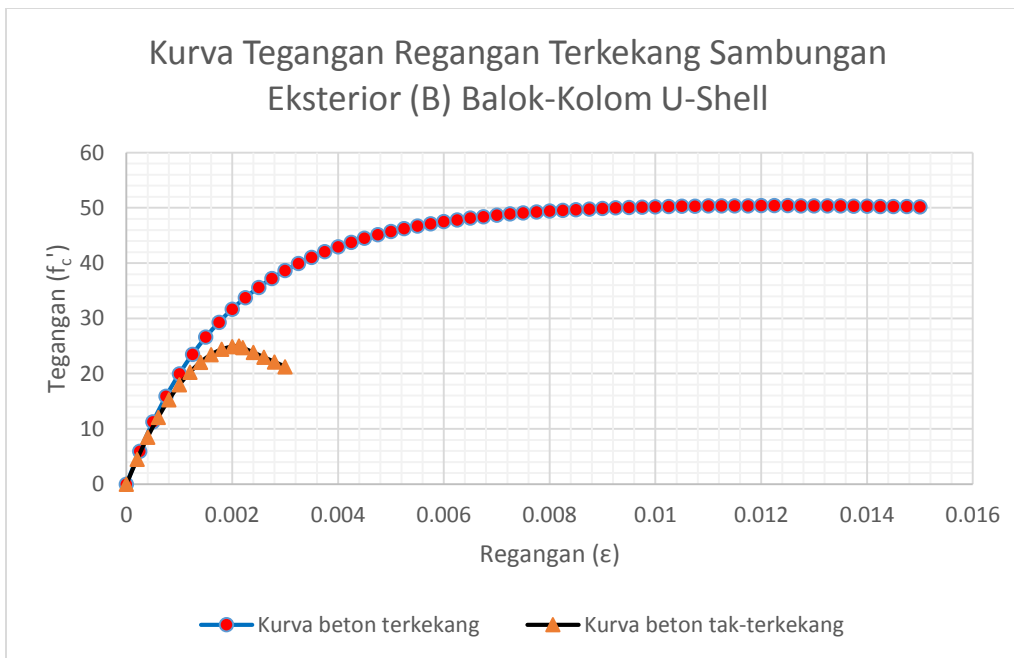
17. Membuat kurva tegangan regangan beton terkekang,

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}}$$

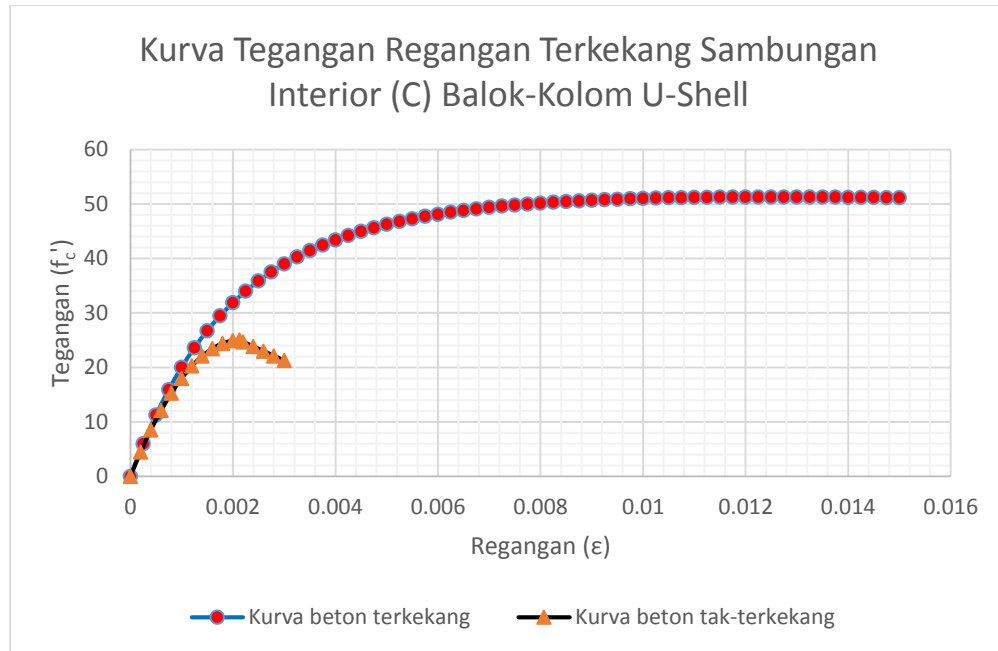
$$f_c = \frac{f'_{cc} x r}{r - 1 + x^r}$$



Gambar 1. Kurva tegangan regangan sambungan sudut



Gambar 2. Kurva tegangan regangan sambungan ekstrerior



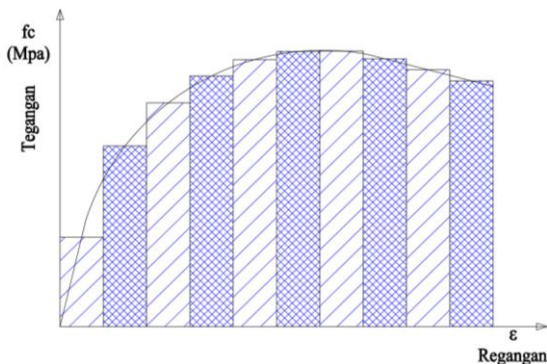
Gambar 3. Kurva tegangan regangan sambungan Interior

Jumlah pias, $n = 100$ pias

Diameter tulangan sengkang lingkaran, $D = 310$ mm (Pengukuran AutoCAD)

Regangan ultimate beton terkekang, $\epsilon_{cu} = 0.015$

Dari hasil Trial and Error mengikuti proses sesuai dengan flowchart di atas, maka didapatkan ketinggian garis netral, $c = 47$ mm



Gambar 4. Pias kurva tegangan-regangan sambungan U-Shell

$\epsilon_{cu} = 0.015$

ϵ_{an} = Regangan pada tepi kiri pias ke - n

ϵ_{bn} = Regangan pada tepi kanan pias ke - n

Regangan pada pias ke-100

$$a) \epsilon_{b100} = \epsilon_{cu} = 0.015$$

$$b) \epsilon_{a100} = \epsilon_{b100} - \frac{\epsilon_{cu}}{100} \\ = 0.015 - \frac{0.015}{100} \\ = 0.01485$$

Regangan pada pias ke-99

$$a) \epsilon_{b99} = \epsilon_{a100} = 0.01485$$

$$b) \epsilon_{a99} = \epsilon_{b99} - \frac{\epsilon_{cu}}{100} \\ = 0.01485 - \frac{0.015}{100} \\ = 0.01470$$

Variabel X pias ke-100

$$a) X_{b100} = \frac{\epsilon_{b100}}{\epsilon_{cc}} \\ = \frac{0.015}{0.01199} \\ = 1.2507$$

$$b) X_{a100} = \frac{\epsilon_{a100}}{\epsilon_{cc}} \\ = \frac{0.01485}{0.01199} \\ = 1.2382$$

Variabel X pias ke-99

$$a) X_{b99} = X_{a100} = 1.2382$$

$$b) X_{a99} = \frac{\varepsilon_{a99}}{\varepsilon_{cc}} = \frac{0.01470}{0.01199} = 1.2257$$

Tegangan beton terkekang pias ke-100

$$a) f'_{c(b100)} = \frac{f'_{cc} X_{b100} r}{r - 1 + X_{b100}^r} = \frac{49.98 \times 1.2507 \times 1.2}{1.2 - 1 + 1.2507^{1.2}} = 49.748 \text{ N/mm}^2$$

$$b) f'_{c(a100)} = \frac{f'_{cc} X_{a100} r}{r - 1 + X_{a100}^r} = \frac{49.98 \times 1.2382 \times 1.2}{1.2 - 1 + 1.2382^{1.2}} = 49.768 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan beton terkekang pias ke-99

$$a) f'_{c(b99)} = f'_{c(a100)} = 49.768 \text{ N/mm}^2$$

$$b) f'_{c(a99)} = \frac{f'_{cc} X_{a99} r}{r - 1 + X_{a99}^r} = \frac{49.98 \times 1.2257 \times 1.2}{1.2 - 1 + 1.2257^{1.2}} = 49.788 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan beton terkekang rata-rata pias ke-100

Sambungan sudut A

$$f'_{c100(ave)} = \frac{f'_{c(b100)} + f'_{c(a100)}}{2} = \frac{49.748 + 49.768}{2} = 49.758 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan beton terkekang rata-rata pias ke-99

$$f'_{c99(ave)} = \frac{f'_{c(b99)} + f'_{c(a99)}}{2} = \frac{49.768 + 49.788}{2} = 49.778 \text{ N/mm}^2$$

Gaya tekan beton terkekang pias ke-100

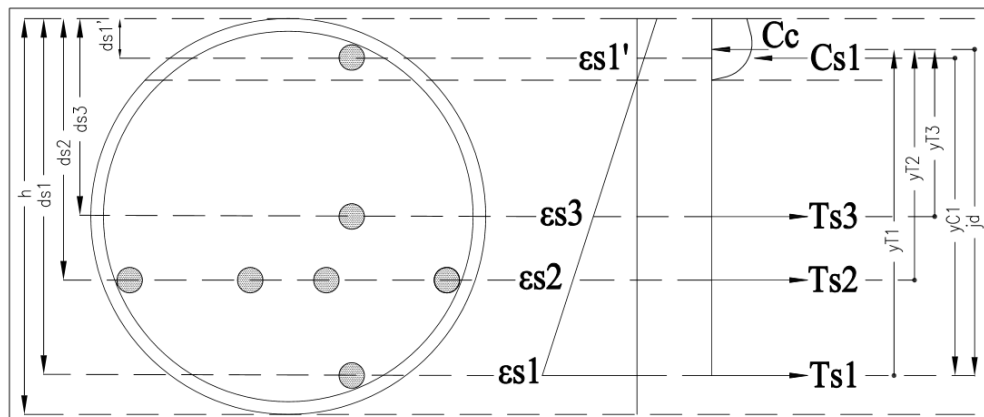
$$C_{c seg(100)} = H_{seg} \times b \times f'_{c100(ave)} = 0.49 \times 300 \times 49.768 = 7239.829 \text{ N}$$

Gaya tekan beton terkekang pias ke-99

$$C_{c seg(99)} = H_{seg} \times b \times f'_{c99(ave)} = 0.49 \times 300 \times 49.778 = 7242.694 \text{ N}$$

Total gaya tekan beton terkekang :

$$\begin{aligned} \sum C_{c seg(n)} &= C_{c seg(100)} + C_{c seg(99)} + \dots \\ &\quad + C_{c seg(1)} \\ &= 629,492.2 \text{ N} \\ &= 629.49 \text{ kN} \end{aligned}$$



Gambar 5. Blok regangan tegangan sambungan U-Shell sudut (A)

$$\begin{aligned} d'_{s1} &= 30.6 \text{ mm} \\ d_{s3} &= 155.6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{s2} &= 205.6 \text{ mm} \\ d_{s1} &= 280.6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Nilai diagram regangan :

$$\begin{aligned}\varepsilon'_{s1} &= \frac{\varepsilon_{cu} \cdot (c - d'_{s1})}{c} \\ &= \frac{0.015 \times (47 - 30.6)}{47} \\ &= 0.0052\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_{s3} &= \frac{\varepsilon_{cu} \cdot (d_{s3} - c)}{c} \\ &= \frac{0.015 \times (155.6 - 47)}{47} \\ &= 0.0346\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_{s2} &= \frac{\varepsilon_{cu} \cdot (d_{s2} - c)}{c} \\ &= \frac{0.015 \times (205.6 - 47)}{47} \\ &= 0.0506\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_{s1} &= \frac{\varepsilon_{cu} \cdot (d_{s1} - c)}{c} \\ &= \frac{0.015 \times (280.6 - 47)}{47} \\ &= 0.0745\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f'_{s1} &= E_s \cdot \varepsilon'_{s1} \leq f_y \\ &= 200000 \times 0.0052 \\ &= 1046.8 \text{ Mpa} \leq 400 \text{ Mpa} \\ &= 400 \text{ Mpa (SNI 03-2847-2002 ps.}\end{aligned}$$

12.2.4)

Jika nilai f_s lebih besar daripada f_y maka nilai yang dipakai adalah f_y

$$\begin{aligned}f_{s3} &= E_s \cdot \varepsilon_{s3} \leq f_y \\ &= 200000 \times 0.0346 \\ &= 6931.9 \text{ Mpa} \leq 400 \text{ Mpa} \\ &= 400 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_{s2} &= E_s \cdot \varepsilon_{s2} \leq f_y \\ &= 200000 \times 0.0506 \\ &= 10123.4 \text{ Mpa} \leq 400 \text{ Mpa} \\ &= 400 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_{s1} &= E_s \cdot \varepsilon_{s1} \leq f_y \\ &= 200000 \times 0.0745 \\ &= 14910 \text{ Mpa} \leq 400 \text{ Mpa} \\ &= 400 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_{s1} &= A'_{s1} \cdot f'_{s1} \\ &= (n \times 0.25\pi D^2) \cdot f_{s3}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&= (1 \times 0.25 \times 3.14 \times 22^2) \times 400 \\ &= 125.600 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{s1} &= A_{s1} \cdot f_{s1} \\ &= (n \times 0.25\pi D^2) \cdot f_{s1} \\ &= (1 \times 0.25 \times 3.14 \times 22^2) \times 400 \\ &= 125.600 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{s2} &= A_{s2} \cdot f_{s2} \\ &= (n \times 0.25\pi D^2) \cdot f_{s1} \\ &= (4 \times 0.25 \times 3.14 \times 22^2) \times 400 \\ &= 502.400 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{s3} &= A_{s3} \cdot f_{s3} \\ &= (n \times 0.25\pi D^2) \cdot f_{s3} \\ &= (1 \times 0.25 \times 3.14 \times 22^2) \times 400 \\ &= 125.600 \text{ N}\end{aligned}$$

Mencari titik pusat gaya tarik tulangan (jd) :

$$y_{T1} = 259.8 \text{ mm}$$

$$y_{T2} = 184.8 \text{ mm}$$

$$y_{T3} = 134.8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\sum T_s &= T_{s1} + T_{s2} + T_{s3} \\ &= 125.600 + 502.400 + 125.600 \\ &= 753.600 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum T_s \cdot jd &= T_{s1} \cdot y_{T1} + T_{s2} \cdot y_{T2} + T_{s3} \cdot y_{T3} \\ 753.600 \times jd &= (125.600 \times 259.8) \\ &\quad + (502.400 \times 184.8) \\ &\quad + (125.600 \times 134.8)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}jd &= \frac{142.405.280 \text{ N} \cdot \text{mm}}{753.600 \text{ N}} \\ &= 188.97 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T &= (T_{s1} \times y_{T1}) + (T_{s2} \times y_{T2}) + (T_{s3} \times y_{T3}) \\ &= (125.600 \times 259.8) \\ &\quad + (502.400 \times 184.8) \\ &\quad + (125.600 \times 134.8)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&= 142.405.280 \text{ N} \cdot \text{mm} \\ &= 142 \text{ kN} \cdot \text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_c &= \sum C_{c \text{ seg } (n)} \times jd \\ &= 629.492.2 \text{ N} \times 185.57 \text{ mm} \\ &= 119.577.641 \text{ N} \cdot \text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_s &= C_{s1} \times y_{c1} \\ &= 125.600 \text{ N} \times 179.17 \text{ mm} \\ &= 22.440.533 \text{ N} \cdot \text{mm}\end{aligned}$$

$$T \cong C_c + C_s$$

$$\begin{aligned}142.405.280 \text{ N} \cdot \text{mm} \\ \cong 119.577.641 \text{ N} \cdot \text{mm} \\ + 22.440.533 \text{ N} \cdot \text{mm}\end{aligned}$$

$$142.405.280 \text{ N.mm}$$

$$\cong 142.018.174 \text{ N.mm}$$

$$142 \text{ kN.m} \cong 142 \text{ kN.m}$$

.....oke!!!

Kapasitas momen sambungan balok kolom

U-Shell :

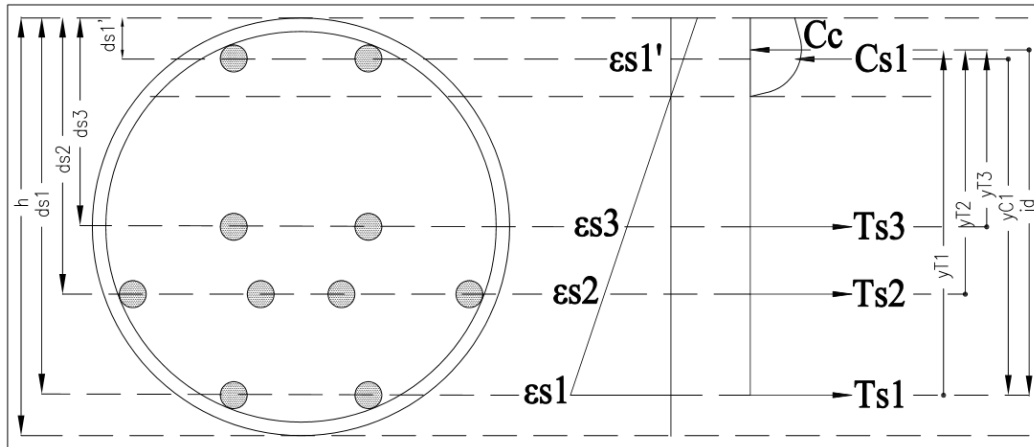
$$M_{n \text{ U-shell}} = T \times jd$$

$$= \sum T_s \times jd$$

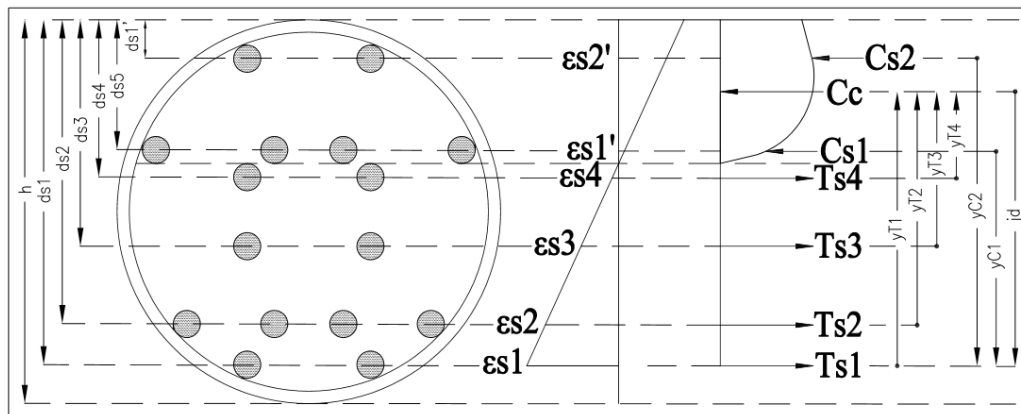
$$= 753,600 \text{ N} \times 185.57 \text{ mm}$$

$$= 139,843,040 \text{ N.mm}$$

$$= 139,8 \text{ kN.m}$$



Gambar 6. Blok regangan tegangan sambungan U-Shell ekterior (B)



Gambar 7. Blok regangan tegangan sambungan U-Shell Interior (C)

Tabel 2. Perhitungan kapasitas momen sambungan balok-kolom U-Shell

Variabel	Sambungan Balok-Kolom			Satuan
	A	B	C	
n	7	10	16	bh
D_l	22	22	22	mm
D_t	10	10	10	mm
baris tul. Long.	4	4	6	baris
baris tul. Tekan	1	1	2	baris
baris tul. Tarik	3	3	4	baris
jumlah tul baris 1	1	2	2	bh

Variabel	Sambungan Balok-Kolom			Satuan
	A	B	C	
jumlah tul baris 2	2	2	4	bh
jumlah tul baris 3	4	4	2	bh
jumlah tul baris 4	1	2	2	bh
jumlah tul baris 5	-	-	4	bh
jumlah tul baris 6	-	-	2	bh
$d_{s'1}$	30.6	30.6	31.6	mm
d_{s1}	280.6	280.6	279.6	mm
d_{s2}	205.6	205.6	246.6	mm
d_{s3}	155.6	155.6	183.6	mm
d_{s4}	-	-	127.6	mm
d_{s5}	-	-	105	mm
Garis netral, C	47	56.1	72.95	mm
Jarak $\sum C_c$ ke C	26.2	31.3	40.7	mm
jd	185.57	182.15	155.24	mm
y_{C2}	-	-	215.04	mm
y_{C1}	179.17	181.25	73.40	mm
y_{T4}	-	-	95.3	mm
y_{T3}	131.4	125.9	151.4	mm
y_{T2}	181.4	175.9	214.4	mm
y_{T1}	256.4	250.9	247.4	mm
$\sum C_c \text{ seg}$	632798	760503	1003008	N
C_{s1}	125600	251200	251200	N
T_{s5}	-	-	502400	N
T_{s4}	-	-	251200	N
T_{s3}	125600	251200	251200	N
T_{s2}	502400	502400	502400	N
T_{s1}	125600	251200	251200	N
$C_c \times jd$	119577641	142252095	214583615	N.mm
$\sum (C_{si} \times y_{Ci})$	22440533	45530000	54018048	N.mm
$\sum (T_{si} \times y_{Ti})$	142405280	187947840	268708640	N.mm
T	142	188	269	kN.m
$C_c + C_s$	142	188	269	kN.m

2.4.Menghitung Kapasitas Geser Sambungan Balok-Kolom

Gaya geser terfaktor yang bekerja pada hubungan balok-kolom, V_u , dihitung sebagai berikut (Nawy, 2005):

$$V_u = T_1 + C_2 - V_{h \text{ kolom}}$$

$$V_u = T_1 + T_2 - V_{h \text{ kolom}}$$

Keterangan :

T_1 = gaya tarik pada baja tulangan di balok akibat momen negatif

T_2 = gaya tarik pada baja tulangan di balok akibat momen positif

C_2 = gaya tekan beton akibat momen positif

V_{kolom} = gaya geser pada kolom di sisi atas dan bawah balok-kolom

Menghitung gaya horizontal kolom :

$$V_{h\ kolom} = \frac{M_u}{l_n/2}$$

$$M_u = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{2}$$

Momen probable positif dan negative :

$$M_{pr} = A_s(1,25f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = \frac{A_s(1,25f_y)}{0,85f'_c b}$$

Kuat geser nominal hubungan balok-kolom :

Untuk hubungan balok-kolom yang terkekang pada keempat sisinya (Interior C)

(SNI 2847 pasal 23.5.3)

Tabel 3. Hasil analisis ETABS

Joint	Potongan	Balok	Mu (KNm)	Mu Maksimum (KNm)
A	x-x	UA9	-659.88	-659.88
	y-y	UA1	-379.80	
B	x-x	UA9 _{ki}	-379.80	-627.72
	x-x	UA9 _{ka}	-366.68	
	y-y	UA2	-627.72	
C	x-x	UA6 _{ki}	-451.13	-687.25
	x-x	UA6 _{ka}	-444.55	
	y-y	UA2	-687.25	
	y-y	UB18	-367.64	

Sumber : Hasil analisis

Tabel 4. Hasil perhitungan Kapasitas Momen Nominal Balok (Mn)

Jt	Balok	M _n (KNm)	M _n Min (KNm)	M _n Balok Terkekang (KNm)	M _n U-Shell Terkekang (KNm)	M _n Balok+ U-Shell Terkekang (KNm)	M _u (KNm)
A	UA9	767.3	767.35	445	142	587	659.88
	UA1	1088.7					
B	UA9 _{ki}	767.3	767.35	445	188	633	627.72
	UA9 _{ka}	767.3					
	UA2	985.7					
C	UA6 _{ki}	985.7	847.63	478	269	746	687.25
	UA6 _{ka}	985.7					
	UA2	985.7					
	UB18	847.6					

$$V_n = 1,7\sqrt{f'_c}A_j$$

Untuk hubungan yang terkekang pada ketiga sisinya (Eksterior B) atau dua sisi yang berlawanan

$$V_n = 1,25\sqrt{f'_c}A_j$$

Untuk hubungan lainnya (Interior A)

$$V_n = 1,0\sqrt{f'_c}A_j$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil output analisis program Etabs berupa momen dan geser ultimate (M_u dan V_u) dapat dilihat pada gambar 3.3 s/d 3.6 (untuk hasil analisis detail sambungan dapat dilihat tabel 4.1)

Tabel 5. Hasil perhitungan Kapasitas Geser Sambungan.

Joint	V_n Konvensional (kN)	V_n U-Shell (kN)	V_u (kN)
A	612.50	537.46	432.9
B	765.63	671.83	771.5
C	1071.88	940.56	998.7

Hasil perhitungan dan analisis dari bab 3 antara lain :

1. Terdapat perbedaan tegangan puncak beton terkekang (f'_{cc}) pada masing-masing kondisi sambungan balok-kolom, yaitu sambungan Sudut (A) = 49,98 Mpa, sambungan Eksterior (B) = 50,41 Mpa, dan sambungan Interior (C) = 51,31 Mpa. Hal ini diakibatkan oleh perbedaan konfigurasi tulangan longitudinal yang dibengkokkan ke atas yang terdapat pada sambungan U-Shell. perbedaan konfigurasi tulangan karena perbedaan jumlah balok yang mengekang setiap jenis sambungan yaitu pada sambungan sudut (A) terdapat 2 balok yang mengekang sambungan membentuk sudut 90 dan pada sambungan eksterior (B) dan interior (C) terdapat 3 dan 4 buah balok yang mengekang sambungan. Hal ini cukup mempengaruhi nilai perbedaan kekuatan tegangan puncak beton terkekang pada masing-masing kondisi sambungan U-Shell.
2. Perbedaan ke-3 kondisi sambungan tidak hanya mempengaruhi nilai tegangan puncak beton terkekang. Tetapi juga mempengaruhi perbedaan nilai tinggi zona tekan/tinggi garis netral pada masing-masing sambungan antara lain 47 mm, 56.6 mm dan 72.95 mm pada sambungan sudut (A), eksterior (B) dan interior (C). sehingga ikut mempengaruhi nilai kapasitas momen cadangan pada sambungan U-Shell masing-masing sebesar M_n U-Shell (A) = 142 kN.m, M_n U-

Shell (B) = 188 kN.m dan M_n U-Shell (A) = 269 kN.m.

3. Akibat pengekanan pada balok, maka disediakan kekuatan cadangan kapasitas momen sebesar 444,98 kN.m pada joint A, 444,98 kN.m pada joint B dan 478,16 kN.m pada joint C. Akibat pengekanan pada sambungan U-Shell, maka terdapat cadangan kapasitas momen sebesar 142 kN.m pada joint A, 188 kN.m pada joint B dan 269 kN.m pada joint C. Total cadangan kapasitas kekuatan adalah sebesar 587,38 kN.m pada joint A, 632,83 kN.m pada joint B dan 745,60 kN.m pada joint C. Kapasitas cadangan akibat pengekanan balok dan sambungan U-Shell akan bekerja setelah kapasitas momen pada sambungan terlampaui oleh momen ultimate. Jadi, sambungan balok-kolom U-Shell di RSP UR aman terhadap gaya-gaya gravitasi dan gempa yang bekerja.
4. Akibat pengekanan pada balok, maka terdapat kapasitas geser sebesar 537.46 kN pada joint A, 671.83 kN pada joint B dan 940.56 kN pada joint C. kapasitas geser sambungan konvensional lebih besar daripada kapasitas geser sambungan U-Shell namun tetap mampu menahan gaya geser ultimate yang terjadi di sambungan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan yang telah dilakukan pada sambungan balok-kolom pracetak tipe U-Shell di RSP UR, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Terdapat perbedaan tegangan puncak beton terkekang (f'_{cc}) pada masing-masing kondisi sambungan balok-kolom, yaitu sambungan Sudut (A) = 49,98 Mpa, sambungan Eksterior (B) = 50,41 Mpa, dan sambungan Interior (C) = 51,31 Mpa.
2. Akibat pengekanan pada balok, maka terdapat kekuatan sebesar 444,98 kN.m pada joint A, 444,98 kN.m pada joint B dan 478,16 kN.m pada joint C.
3. Akibat pengekanan pada sambungan U-Shell, maka terdapat kapasitas momen sebesar 142,21 kN.m pada joint A, 187,85 kN.m pada joint B dan 267,44 kN.m pada joint C.
4. Total kapasitas momen terkekang adalah sebesar 587,38 kN.m pada joint A, 632,83 kN.m pada joint B dan 745,60 kN.m pada joint C.
5. Kapasitas cadangan akibat pengekanan balok dan sambungan U-Shell bekerja setelah kapasitas momen pada sambungan terlampaui.
6. Perbedaan tegangan puncak beton terkekang (f'_{cc}) dan kapasitas sambungan balok kolom ($M_{n-UShell}$) pada masing-masing kondisi sambungan A, B dan C diakibatkan oleh perbedaan konfigurasi tulangan longitudinal yang diikat oleh tulangan sengkang spiral polos pada sambungan balok-kolom U-Shell. Sambungan A, B dan C masing-masing dihubungkan oleh balok dengan jumlah yang berbeda yaitu 2, 3 dan 4 buah balok.

4.2. Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan membuat model struktur menggunakan pembebanan di lokasi gempa kuat dengan menggunakan system struktur SRPMK,

2. Perlu dilakukan penelitian tentang sambungan balok-kolom precast dengan tipe sambungan yang berbeda, agar didapatkan perbandingan data sambungan pracetak yang lebih efisien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada semua pihak yang telah membantu selama penelitian terutama kepada: Dosen Pembimbing, Bapak Dr. Zulfikar Djauhari MT. dan Bapak Iskandar Romey Sitompul ST, Msc. untuk saran dan bimbingan yang membangun.

DAFTAR PUSTAKA

ACI Committee 318. (2005). *Building Code Requirements for Structural Concrete Commentary*. ACI, Detroit.

Antonius, Imran, I. dan Suhud, R. (2000). "Studi Perilaku Tegangan- Regangan Beton Mutu Tinggi Terkekang." Prosiding Seminar Teknologi HAKI 2000 "Menjelang bangkitnya dunia konstruksi Indonesia", Jakarta 31 Agustus.

Antonius, Imran, I. dan Setiyawan, P. (2005). "Efek Konfigurasi Tulangan Lateral terhadap Perilaku Kekuatan dan Daktilitas Kolom Beton Mutu Normal dan Mutu Tinggi." Pros. Seminar Nas. Eksp. Lab. Komp. dan Aplikasi dalam bidang Teknik Sipil, UII Yogyakarta, 28 Mei.

Imran, I. and Pantazopoulou, S.J. (2001). "Plasticity Model for Concrete under Triaxial Compression." *Journal of Engrg. Mechanics ASCE*; Vol.127, No.3, pp.281-290.

Mander, J.B.; Priestley, M.J.N. and Park, R. (1988). "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete." *Journal of Struc. Engrg. ASCE*, V.114, No.8, August, pp.1804-1824.

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.

SNI 03-2847-2002. (2002). Tata Cara Perhitungan Struktur Beton dan Bangunan Gedung. BSN. Indonesia

Widodo. (2007). Peran Penting Beam Column Joint : Studi Kasus Kerusakan Bangunan Bertingkat Akibat Gempa Yogyakarta 27 Mei 2006. Prosiding Seminar Nasional III, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. ITS. Surabaya.