

**PERBANDINGAN KAPASITAS SAMBUNGAN BALOK-KOLOM KONVENSIONAL
DAN PRACETAK SISTEM *RIGID JOINT PRECAST (RJP)*
(Studi Kasus Gedung Rumah Susun Sederhana Sewa Pekanbaru)**

Feri Arrahman ¹⁾, Zulfikar Djauhari ²⁾, Enno Yuniarto ²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, ²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru Kode Pos 28293

email: Ferif16@gmail.com

ABSTRACT

Precast system is a system which offers quality controlled implementation, they are neat, fast and economical, thus included systems that fill the criteria for green construction. Precast concrete construction has many advantages than conventional systems. The advantage of this system are, quality assured, fast and massal production, rapid development, environmentally friendly and tidy with good product quality. For buildings precast system have been researched, developed, applied and proven reliability by the Ministry of Public Works and the various national construction industry since 1995, especially in support of the development program of massal simple flat throughout Indonesia. One of the buildings using precast system is building Rusunawa Pekanbaru. This Rusunawa using RJP-type system of precast concrete. Part of the concern is a precast system on beam-column connections. Beam-column relationship is a critical area in the event of earthquake loads. Earthquake load has a complex effect on the structure. In this study has compared the moment capacity between conventional beam-column connections with precast type of RJP. The results are there differences in the precast concrete RJP peak voltage at the connection angle (A), exterior (B) and interior (C) in the amount of 53.85 MPa, 54.31 MPa and 54.31 MPa. RJP moment the total capacity are equal to $A = 140.35 \text{ kN.m}$, $B = 116.96 \text{ kN.m}$ and $C = 116.96 \text{ kN.m}$. Peak voltage difference and the connection moment capacity caused by configuration differences longitudinal reinforcement.

Keyword : *precast, RJP, conventional, confined, connection*

PENDAHULUAN

Konstruksi beton pracetak mempunyai banyak keunggulan dibanding sistem konvensional (sistem yang dicor di tempat). Pada dasarnya sistem ini melakukan pengecoran komponen (fabrikasi) di tempat khusus di permukaan tanah, di pabrik atau *ground floor* 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.

Struktur beton pracetak umumnya direncanakan dengan menganggap struktur tersebut bersifat monolit yang dicor di tempat. Metoda desain seperti ini disebut sebagai

pendekatan desain emulasi. Dengan pendekatan ini, sistem struktur pracetak dapat direncanakan sebagai sistem struktur yang konvensional. Dengan demikian konsep desain kapasitas yang umumnya digunakan dalam perancangan portal konvensional terhadap beban lateral dapat digunakan dalam perancangan portal pracetak. Desain kapasitas ini dapat tercapai dengan menerapkan falsafah *strong column-weak beam* dimana kelelahan pada balok diharapkan terjadi terlebih dahulu sebelum terjadinya kelelahan pada kolom.

Hubungan balok-kolom (*beam-column joint*) merupakan daerah yang kritis pada saat terjadi beban gempa. Beban gempa mempunyai pengaruh yang kompleks terhadap struktur.

Dengan demikian sambungan balok-kolom merupakan bagian yang sangat penting dalam mentransfer gaya-gaya antar elemen pracetak yang disambung. Jika 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.

Penelitian ini mengkaji salah satu konstruksi yang mengimplementasikan rusunawa yang berlokasi di jalan Yos Sudarso Pekanbaru provinsi Riau. Rusunawa ini menggunakan sistem Rigid Joint Precast (RJP) sehingga pembangunannya menjadi lebih efisien. Fabrikasinya terletak di area *ground floor* lokasi proyek sehingga tidak membutuhkan transportasi tambahan untuk mengangkut elemen 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.

Beton Pracetak

Beton precast adalah komponen-komponen beton bertulang yang difabrikasi terlebih dahulu secara khusus di lokasi tertentu, untuk kemudian dipasang di proyek. Keuntungan sistem ini, antara lain mutu yang terjamin, produksi cepat dan massal, pembangunan yang cepat, ramah lingkungan dan rapi dengan kualitas produk yang baik.

Struktur elemen pracetak memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan struktur konvensional, antara lain :

1. penyederhanaan pelaksanaan konstruksi. Waktu pelaksanaan yang cepat.
2. penggunaan material yang optimum serta mutu bahan yang baik.
3. penyelesaian finishing mudah.
4. tidak dibutuhkan lahan proyek yang luas, mengurangi kebisingan, lebih bersih dan ramah lingkungan.
5. perencanaan berikut pengujian di pabrik.
6. sertifikasi untuk mendapatkan pengakuan Internasional.

7. secara garis besar mengurangi biaya karena pengurangan pemakaian alat-alat penunjang, seperti: scaffolding dan lain-lain.

8. kebutuhan jumlah tenaga kerja dapat disesuaikan dengan kebutuhan produksi.

Namun demikian, selain memiliki keuntungan, struktur elemen pracetak juga memiliki beberapa keterbatasan, antara lain :

1. tidak ekonomis bagi produksi tipe elemen yang jumlahnya sedikit.
2. perlu ketelitian yang tinggi agar tidak terjadi deviasi yang besar antara elemen yang satu dengan elemen yang lain, sehingga tidak menyulitkan dalam pemasangan di lapangan.
3. panjang dan bentuk elemen pracetak yang terbatas, sesuai dengan kapasitas alat angkat dan alat angkut.
4. jarak maksimum transportasi yang ekonomis dengan menggunakan truk adalah antara 150 sampai 350 km, tetapi ini juga tergantung dari tipe produknya. Sedangkan untuk angkutan laut, jarak maksimum transportasi dapat sampai di atas 1000 km.
5. hanya dapat dilaksanakan di daerah yang sudah tersedia peralatan untuk handling dan erection.
6. di Indonesia yang kondisi alamnya sering timbul gempa dengan kekuatan besar, konstruksi beton pracetak cukup berbahaya terutama pada daerah sambungannya, sehingga masalah sambungan merupakan persoalan yang utama yang dihadapi pada perencanaan beton pracetak.
7. diperlukan ruang yang cukup untuk pekerja dalam mengerjakan sambungan pada beton pracetak.
8. memerlukan lahan yang besar untuk pabrikasi dan penimbunan (stock yard)

Sambungan pada elemen pracetak merupakan bagian yang sangat penting. Berfungsi mentransfer gaya-gaya antar elemen pracetak yang disambung. Jika 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 akhirnya dapat menyebabkan keruntuhan prematur pada struktur.

Prinsip perencanaan sambungan pada elemen pracetak dapat dikelompokkan dalam dua kategori (Priestley,1996) yaitu:

1. Sambungan kuat (strong connection)
Bila sambungan antar elemen pracetak tetap berperilaku elastis pada saat gempa kuat, sistem sambungan harus dan terbukti secara teoritis dan eksperimental memiliki kekuatan dan ketegaran yang minimal sama dengan yang dimiliki struktur sambungan beton monolit yang setara.
2. Sambungan daktil (ductile connection)
Bila pada sambungan boleh terjadi deformasi inelastis, sistem sambungan harus terbukti secara teoritis dan eksperimental memenuhi persyaratan kehandalan dan kekakuan struktur tahan gempa.

Sambungan Balok Kolom

Sambungan balok-kolom merupakan area balok dan kolom bertemu. Pada saat terjadi gempa timbul momen pada kolom didaerah atas dan bawah sambungan yang berlawanan arah, demikian juga pada kolom didaerah kiri dan kanan sambungan, hal ini menyebabkan daerah sambungan terkena gaya geser baik arah vertical maupun horizontal yang kekuatannya sangat besar dibandingkan dengan gaya geser pada balok dan kolom diluar daerah sambungan.

SRPMK

SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) adalah desain struktur beton bertulang dengan pendetailan yang menghasilkan struktur yang fleksibel (memiliki daktilitas yang tinggi).

Struktur SRPMK diharapkan memiliki tingkat daktilitas yang tinggi, yaitu mampu menerima mengalami siklus respon inelastis pada saat menerima beban gempa rencana. Pendetailan dalam ketentuan SRPMK adalah untuk memastikan bahwa respon inelastis dari struktur bersifat daktil. Prinsip ini terdiri dari tiga:

1. strong-Column/weak-beam yang bekerja menyebar di sebagian besar lantai.
2. tidak terjadi kegagalan geser pada balok, kolom dan joint.
3. menyediakan detail yang memungkinkan perilaku daktil.

Beton Terkekang

Beton bertulang akan meningkat kekuatannya apabila dilakukan pengekanan. Pada umumnya pengekanan dilakukan menggunakan sengkang (tulangan transversal), baik itu yang berbentuk segi empat maupun yang berbentuk spiral. Hasil pengujian dari berbagai peneliti sebelumnya telah menunjukkan bahwa pengekanan oleh tulangan transversal sangat mempengaruhi karakteristik atau perilaku tegangan-regangan beton (Park Paulay, 1975). Banyak peneliti seperti Hoshikuma, Kent dan Park, Sheikh dan Uzumeri, Ravzi dan Saatcioglu, Legeron dan Paultre, Mander, Chan dan Blume, Baker, Roy dan Sozen, Soliman dan Yu, Sargin, dan lainnya telah mengusulkan berbagai bentuk kurva tegangan-regangan beton yang dikekang.

METODE PENELITIAN

Tahap Pelaksanaan Penelitian

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

1. Studi literatur atau pengumpulan bahan referensi sehingga karakteristik dan didapatkan detail gedung Rusunawa Pekanbaru.
2. Menentukan letak titik pengamatan dan mengamati detail sambungan balok kolom pracetak RJP (sambungan eksterior, interior dan sudut) pada gedung Rusunawa Pekanbaru.
3. Membuat model struktur Rusunawa Pekanbaru 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 1726-2012.

5. Menganalisa struktur gedung dan mendapatkan momen ultimate (M_u) struktur sambungan balok-kolom secara konvensional dan precast 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 RJP 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/jarav k 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-RJP}) sambungan balok-kolom precast tipe RJP berdasarkan diagram tegangan-regangan beton terkekang untuk setiap tipe sambungan (eksterior, interior dan sudut).
11. Membandingkan analisis perhitungan kapasitas momen sambungan balok-kolom konvensional ($M_{n-Konvensional}$) dengan kapasitas momen sambungan balok kolom precast RJP (M_{n-RJP}).
12. Membuat hasil analisa dan kesimpulan dari perhitungan kapasitas sambungan balok-kolom konvensional dan precast RJP.

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 prinsip *strong column weak beam* yakni kelelahan 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 GX.2C :

Lebar, $b = 200 \text{ mm}$

Tinggi, $h = 400 \text{ mm}$

Selimut beton, $Sl = 30 \text{ mm}$

Diameter tulangan longitudinal, $D = 16 \text{ mm}$

Diameter tulangan sengkang, $D_s = 8 \text{ mm}$

Jumlah tulangan longitudinal tarik (atas), $n = 5$ tulangan

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

Mutu beton, $f'_c = 29,05 \text{ Mpa}$

Mutu baja, $f_y = 400 \text{ Mpa}$

Tinggi efektif tekan (d') = $30 + 8 + 16/2 = 46 \text{ mm}$

Tinggi efektif tarik (d) = $400 - 46 = 354 \text{ mm}$

2. Menghitung tinggi blok tekan beton (a) :

Luas tulangan tarik, A_s (tulangan atas) :

$$\begin{aligned} A_s &= n \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= 5 \times 0,25 \times 3,14 \times 16^2 \\ &= 1004,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan tekan, A_s' (tulangan bawah) :

$$\begin{aligned} A_s' &= n' \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= 3 \times 0,25 \times 3,14 \times 16^2 \\ &= 602,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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 tegangan balok, a :

$$\begin{aligned} a &= \frac{(A_s - A_s') f_y}{0,85 f'_c b} \\ &= \frac{(1004,8 - 602,88) \times 400}{0,85 \times 29,05 \times 200} \\ &= 32,55 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tinggi garis netral balok (c) :

$$c = \frac{a}{0,85}$$

$$= \frac{69,18}{0,85}$$

$$= 38,29 \text{ mm}$$

3. Menghitung kapasitas momen nominal pada balok :

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

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

$$= (1004,8 \times 400) \left(354 - \frac{32,55}{2} \right) + (602,88 \times 400) (354 - 46)$$

$$= 210012 \times 10^8 \text{ Nmm}$$

$$= 210,012 \text{ kNm}$$

Persyaratan kekuatan,

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$0,85 \times 210,012 \text{ kNm} \geq 124,86 \text{ kNm}$$

$$178,511 \text{ kNm} \geq 168,45 \text{ kNm}$$

(persyaratan terpenuhi)

Kapasitas Momen Sambungan RJP

1. Data sambungan RJP pada joint A (sambungan sudut) :

a) Diameter tulangan longitudinal utama, $D_l = 16 \text{ mm}$

b) Jumlah tulangan longitudinal pada joint, $n = 14$ batang

c) Diameter tulangan transversal spiral polos, $D_s = 8 \text{ mm}$

d) Tegangan puncak beton tak terkekang, $f'_{co} = 25 \text{ Mpa}$

e) Tegangan leleh tulangan transversal/pengekang, $f_{yh} = 400 \text{ Mpa}$

f) Spasi antar tulangan transversal, $s = 150 \text{ mm}$

g) Spasi bersih antar tulangan transversal, $s' = 134 \text{ mm}$

h) Regangan puncak tegangan beton tak terkekang, $\epsilon_{co} = 0,02$

2. Menghitung luas area inti beton :

$$A_c = b_c d_c$$

$$A_c = b_c d_c$$

$$A_c = 240 \times 440$$

$$A_c = 105600 \text{ mm}^2$$

3. Menghitung luas area tulangan longitudinal :

$$A_s = n \times \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_s = 14 \times \frac{1}{4} \times (3,14) \times (16)^2$$

$$A_s = 2813,44 \text{ mm}^2$$

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

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

$$\rho_{cc} = \frac{2813,44 \text{ mm}^2}{105600 \text{ mm}^2}$$

$$\rho_{cc} = 0,0266$$

5. Luas efektif area inti beton terkekang :

$$A_e = \left(b_c d_c - \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6} \right) \left(1 - \frac{s'}{2b_c} \right) \left(1 - \frac{s'}{2d_c} \right)$$

$$A_e = \left(240 \times 440 - \left(\frac{80^2}{6 \times 3} + \frac{80^2}{6 \times 3} + \frac{74^2}{6 \times 8} \right) \right) \left(1 - \frac{134}{2 \times 240} \right) \left(1 - \frac{134}{2 \times 440} \right)$$

$$A_e = 56156,525 \text{ mm}^2$$

6. Menghitung koefisien kekangan efektif :

$$k_e = \frac{\left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6b_c d_c} \right) \left(1 - \frac{s'}{2b_c} \right) \left(1 - \frac{s'}{2d_c} \right)}{(1 - \rho_{cc})}$$

$$k_e = 0,546$$

7. Rasio tulangan longitudinal arah x :

$$\rho_x = \frac{A_{sx}}{s d_c}$$

$$\rho_x = \frac{240 \times 8}{150 \times 440} = 0,029$$

8. Rasio tulangan longitudinal arah y :

$$\rho_y = \frac{A_{sy}}{s d_c}$$

$$\rho_y = \frac{440 \times 8}{150 \times 440} = 0,097$$

9. Tegangan lateral efektif terkekang arah x:

$$f_{lx} = \frac{A_{sx}}{s d_c} f_{yh} = \rho_x f_{yh}$$

$$f_{lx} = 0,029 \times 400$$

$$f_{lx} = 6,357 \text{ Mpa}$$

10. Tegangan lateral efektif terkekang arah y:

$$f_{ly} = \frac{A_{sy}}{s_{dc}} f_{yh} = \rho_y f_{yh}$$

$$f_{ly} = 0,097 \times 400$$

$$f_{ly} = 21,368 \text{ Mpa}$$

11. Tegangan puncak beton terkekang :

$$f'_{cc} = f_{co} \left(-1,254 + 2,254 \sqrt{1 + \frac{7,94 f_l}{f_{co}}} - 2 \frac{f_l}{f_{co}} \right)$$

$$f'_{cc} = 53,846 \text{ Mpa}$$

12. Modulus secant beton pada puncak tegangan :

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

$$E_{sec} = \frac{53,846}{0,0135}$$

$$E_{sec} = 3977,248$$

13. Modulus tangent beton :

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

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

$$E_c = 25000$$

14. Rasio modulus beton :

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

$$r = \frac{25000}{25000 - 3977,248}$$

$$r = 1,189$$

15. Regangan ultimate beton terkekang :

$$\epsilon_u = 5 \times \epsilon_c$$

$$\epsilon_u = 5 \times 0,003$$

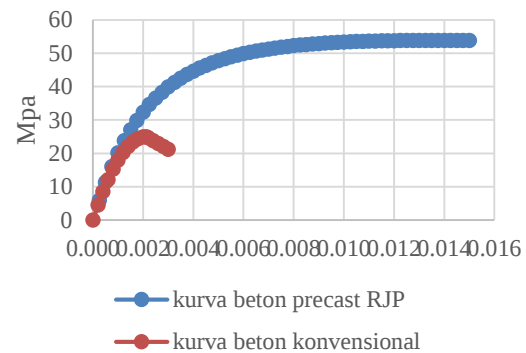
$$\epsilon_u = 0,015$$

16. Membuat kurva tegangan regangan beton terkekang :

$$x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}}$$

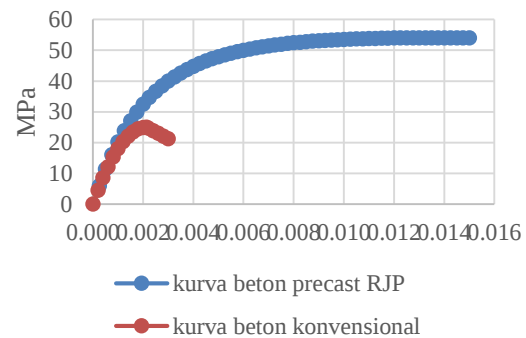
$$f_c = \frac{f'_{cc} x^r}{r - 1 + x^r}$$

Kurva Tegangan Regangan RJP dan konvensional Sambungan Sudut (A)



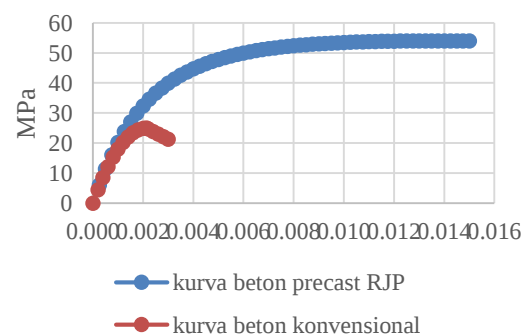
Gambar 2. Kurva tegangan regangan RJP dan konvensional A

Kurva Tegangan Regangan RJP dan konvensional Sambungan Sudut (B)



Gambar 3. Kurva tegangan regangan RJP dan konvensional B

Kurva Tegangan Regangan RJP dan konvensional Sambungan Sudut (C)



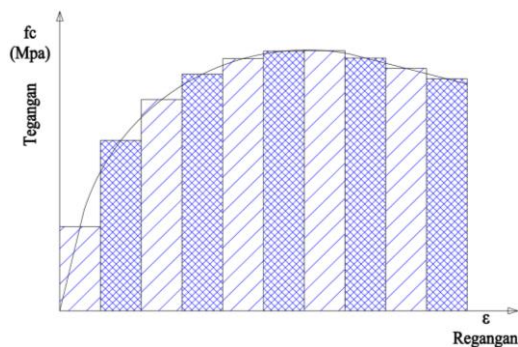
Gambar 4. Kurva tegangan regangan RJP dan konvensional C

Jumlah pias, $n = 100$ pias

Diameter tulangan sengkang lingkaran, $D = 310$ mm

Regangan ultimate beton terkekang, $\varepsilon_{cu} = 0,015$

Dari hasil *Trial and Error* mengikuti proses sesuai dengan *flowchart*, maka didapatkan ketinggian garis netral, $c = 27,9$ mm



Gambar 5. Pias kurva tegangan-regangan sambungan RJP

$\varepsilon_{cu} = 0,015$

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

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

Regangan pada pias ke-100

$$a) \varepsilon_{b100} = \varepsilon_{cu} = 0,015$$

$$b) \varepsilon_{a100} = \varepsilon_{b100} - \frac{\varepsilon_{cu}}{100} = 0,015 - \frac{0,015}{100} = 0,01485$$

Regangan pada pias ke-99

$$a) \varepsilon_{b99} = \varepsilon_{a100} = 0,01485$$

$$b) \varepsilon_{a99} = \varepsilon_{b99} - \frac{\varepsilon_{cu}}{100} = 0,01485 - \frac{0,015}{100} = 0,01470$$

Variabel X pias ke-100

$$a) X_{b100} = \frac{\varepsilon_{b100}}{\varepsilon_{cc}}$$

$$= \frac{0,015}{0,0135} = 1,1079$$

$$b) X_{a100} = \frac{\varepsilon_{a100}}{\varepsilon_{cc}} = \frac{0,01485}{0,0135} = 1,0969$$

Variabel X pias ke-99 :

$$a) X_{b99} = X_{a100} = 1,0969$$

$$b) X_{a99} = \frac{\varepsilon_{a99}}{\varepsilon_{cc}} = \frac{0,01470}{0,0135} = 1,0858$$

Tegangan beton terkekang pias ke-100 :

$$a) f'_{c(b100)} = \frac{f'_{cc} X_{b100} r}{r - 1 + X_{b100}^r} = \frac{53,85 \times 1,1079 \times 1,18}{1,18 - 1 + 1,1079^{1,18}} = 53,795 \text{ N/mm}^2$$

$$b) f'_{c(a100)} = \frac{f'_{cc} X_{a100} r}{r - 1 + X_{a100}^r} = \frac{53,85 \times 1,0969 \times 1,18}{1,18 - 1 + 1,0969^{1,18}} = 53,804 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan beton terkekang pias ke-99 :

$$a) f'_{c(b99)} = f'_{c(a100)} = 53,804 \text{ N/mm}^2$$

$$b) f'_{c(a99)} = \frac{f'_{cc} X_{a99} r}{r - 1 + X_{a99}^r} = \frac{53,85 \times 1,0858 \times 1,18}{1,18 - 1 + 1,0858^{1,18}} = 53,813 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan beton terkekang rata-rata pias ke-100 :

$$f'_{c100(ave)} = \frac{f'_{c(b100)} + f'_{c(a100)}}{2} = \frac{53,795 + 53,804}{2} = 53,799 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan beton terkekang rata-rata pias ke-99 :

$$\begin{aligned} f'_{c99(ave)} &= \frac{f'_{c(b99)} + f'_{c(a99)}}{2} \\ &= \frac{53,804 + 53,813}{2} \\ &= 53,809 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Gaya tekan beton terkekang pias ke-100 :

$$\begin{aligned} C_{c \text{ seg } (100)} &= H_{\text{seg}} \times b \times f'_{c100(ave)} \\ &= 0,279 \times 240 \times 53,799 \\ &= 3602,413 \text{ N} \end{aligned}$$

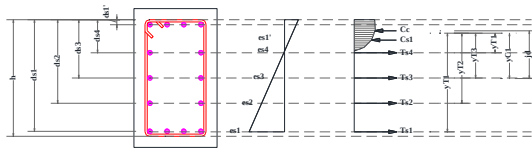
Gaya tekan beton terkekang pias ke-99 :

$$\begin{aligned} C_{c \text{ seg } (99)} &= H_{\text{seg}} \times b \times f'_{c99(ave)} \\ &= 0,279 \times 240 \times 49,778 \\ &= 3603,026 \text{ N} \end{aligned}$$

Total gaya tekan beton terkekang :

$$\begin{aligned} \Sigma C_{c \text{ seg } (n)} &= C_{c \text{ seg } (100)} + C_{c \text{ seg } (99)} + \dots \\ &\quad + C_{c \text{ seg } (1)} \\ &= 307364,6 \text{ N} \\ &= 307,364 \text{ Kn} \end{aligned}$$

Sambungan sudut A



$$d'_{s1} = 18 \text{ mm}$$

$$d_{s4} = 119 \text{ mm}$$

$$d_{s3} = 210 \text{ mm}$$

$$d_{s2} = 301 \text{ mm}$$

$$d_{s1} = 402 \text{ mm}$$

Nilai diagram regangan :

$$\begin{aligned} \epsilon'_{s1} &= \frac{\epsilon_{cu}(c - d'_{s1})}{c} \\ &= \frac{0,015 \times (27,9 - 18)}{27,9} \\ &= 0,0053 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{s4} &= \frac{\epsilon_{cu}(d_{s4} - c)}{c} \\ &= \frac{0,015 \times (119 - 27,9)}{27,9} \\ &= 0,0489 \end{aligned}$$

$$\epsilon_{s3} = \frac{\epsilon_{cu}(d_{s3} - c)}{c}$$

$$= \frac{0,015 \times (210 - 27,9)}{27,9}$$

$$= 0,0979$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{s2} &= \frac{\epsilon_{cu}(d_{s2} - c)}{c} \\ &= \frac{0,015 \times (301 - 27,9)}{27,9} \\ &= 0,1468 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{s1} &= \frac{\epsilon_{cu}(d_{s1} - c)}{c} \\ &= \frac{0,015 \times (402 - 31)}{31} \\ &= 0,2011 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f'_{s1} &= E_s \epsilon'_{s1} \leq f_y \\ &= 200000 \times 0,0053 \\ &= 1064,5 \text{ Mpa} \leq 400 \text{ Mpa} \\ &= 400 \text{ Mpa (SNI 03-2847-2002 ps.} \end{aligned}$$

12.2.4)

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

$$\begin{aligned} f_{s4} &= E_s \epsilon_{s4} \leq f_y \\ &= 200000 \times 0,0489 \\ &= 9795,7 \text{ Mpa} \leq 400 \text{ MPa} \\ &= 400 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{s3} &= E_s \epsilon_{s3} \leq f_y \\ &= 200000 \times 0,0979 \\ &= 19580,6 \text{ Mpa} \leq 400 \text{ MPa} \\ &= 400 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{s2} &= E_s \epsilon_{s2} \leq f_y \\ &= 200000 \times 0,1468 \\ &= 29365,6 \text{ Mpa} \leq 400 \text{ MPa} \\ &= 400 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{s1} &= E_s \epsilon_{s1} \leq f_y \\ &= 200000 \times 0,2011 \\ &= 40225,8 \text{ Mpa} \leq 400 \text{ MPa} \\ &= 400 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{s1} &= A'_{s1} \cdot f'_{s1} \\ &= (n \times 0,25\pi D^2) \cdot f_{s3} \\ &= (4 \times 0,25 \times 3,14 \times 16^2) \times 400 \\ &= 321.536 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{s4} &= A_{s4} \cdot f_{s4} \\ &= (n \times 0,25\pi D^2) \cdot f_{s1} \\ &= (2 \times 0,25 \times 3,14 \times 16^2) \times 400 \\ &= 160.768 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{s3} &= A_{s3} \cdot f_{s3} \\
 &= (n \times 0,25\pi D^2), f_{s1} \\
 &= (2 \times 0,25 \times 3,14 \times 16^2) \times 400 \\
 &= 160.768 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{s2} &= A_{s2} \cdot f_{s2} \\
 &= (n \times 0,25\pi D^2), f_{s1} \\
 &= (2 \times 0,25 \times 3,14 \times 16^2) \times 400 \\
 &= 160.768 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{s1} &= A_{s1} \cdot f_{s1} \\
 &= (n \times 0,25\pi D^2), f_{s1} \\
 &= (4 \times 0,25 \times 3,14 \times 16^2) \times 400 \\
 &= 321.536 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Mencari titik pusat gaya tarik tulangan (jd) :

$$y_{T4} = 6 \text{ mm}$$

$$y_{T3} = 97 \text{ mm}$$

$$y_{T2} = 188 \text{ mm}$$

$$y_{T1} = 291 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \sum T_s &= T_{s1} + T_{s2} + T_{s3} + T_{s4} \\
 &= 321.536 + 160.768 + 160.768 \\
 &\quad + 160.768 \\
 &= 803.840 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\sum T_s \cdot jd = T_{s1} \cdot y_{T1} + T_{s2} \cdot y_{T2} + T_{s3} \cdot y_{T3} + T_{s4} \cdot y_{T4}$$

$$\begin{aligned}
 803.840 \times jd &= (321.536 \times 291) \\
 &\quad + (160.768 \times 188) \\
 &\quad + (160.768 \times 97) \\
 &\quad + (160.768 \times 6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 jd &= \frac{140.350.464 \text{ Nmm}}{803.840 \text{ N}} \\
 &= 174,60 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= (T_{s1} \times y_{T1}) + (T_{s2} \times y_{T2}) \\
 &\quad + (T_{s3} \times y_{T3}) + (T_{s4} \times y_{T4}) \\
 &= (321.536 \times 291) + (160.768 \times 188) \\
 &\quad + (160.768 \times 97) \\
 &\quad + (160.768 \times 6) \\
 &= 140.350.464 \text{ Nmm} \\
 &= 140.35 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c &= \sum C_{c \text{ seg } (n)} \times jd \\
 &= 307.364,6 \text{ N} \times 174,6 \text{ mm} \\
 &= 53.665.862 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s &= C_{s1} \times y_{c1} \\
 &= 321.536 \text{ N} \times 269,60 \text{ mm} \\
 &= 86.686.105,6 \text{ Nmm} \\
 T &\cong C_c + C_s
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 140.350.464 \text{ Nmm} \\
 \cong 53.665.862 \text{ Nmm} \\
 + 86.686.105,6 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 140.350.464 \text{ Nmm} \\
 \cong 140.351.967,67 \text{ Nmm} \\
 140 \text{ kNm} \cong 140 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Kapasitas momen sambungan balok kolom RJP:

$$\begin{aligned}
 M_{n \text{ RJP-A}} &= T \times jd \\
 &= \sum T_s \times jd \\
 &= 803.840 \text{ N} \times 176,6 \text{ mm} \\
 &= 140.350.464 \text{ Nmm} \\
 &= 140,35 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$M_{n \text{ RJP-A}} = 140,35 \text{ kNm}$$

$$M_{n \text{ RJP-B}} = 116,96 \text{ kNm}$$

$$M_{n \text{ RJP-C}} = 116,96 \text{ kNm}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan kurva tegangan beton

Perbandingan kurva tegangan regangan beton terkekang (f'_{cc}) dan kurva tegangan regangan beton tak terkekang (f'_{co}) adalah : beton terkekang memiliki tegangan puncak beton yang lebih besar dibandingkan beton tak terkekang. Penempatan sambungan RJP yang dikekang menambah daktail kurva tegangan regangan beton dibandingkan beton tak terkekang.

Terdapat perbedaan tegangan puncak beton terkekang (f'_{cc}) pada masing-masing kondisi sambungan balok-kolom, yaitu sambungan Sudut (A) = 53,846 Mpa, sambungan Eksterior (B) = 54,036 Mpa, dan sambungan Interior (C) = 54,036 Mpa. Hal ini diakibatkan oleh perbedaan konfigurasi tulangan longitudinal yang dibengkokkan ke atas yang terdapat pada sambungan RJP, 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 RJP.

Perbandingan Kapasitas Sambungan

Tabel 1. Hasil perhitungan Kapasitas Momen

Joint	Pot	Balok	Mn (KNm)	Mn Mini mu m (KNm)	Mn RJP Terk ekan g (KNm)	Mu konv ensi onal (KNm)	Mu Prec ast (KNm)
A	x-x	GX.2 C	178,5	178,51	140,35	110,10	102,93
		GY.1 B	182,0				
	y-y	GX.2 B	178,5				
B	x-x	GX.2 A	178,5	178,51	116,96	82,23	77,90
		GY.1	182,0				
	y-y	GX.1 ki	210,0				
C	x-x	GX.1 ka	210,0	210,01	116,96	78,74	74,62
		GY.1	214,1				
	y-y	GY.3	243,5				

(Sumber : Hasil perhitungan, 2015)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perhitungan yang telah dilakukan pada sambungan balok-kolom pracetak tipe RJP di Rusunawa Pekanbaru, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut .

1. kapasitas momen sambungan balok-kolom konvensional lebih besar daripada kapasitas momen sambungan balok-kolom precast tipe RJP,
2. terdapat perbedaan tegangan puncak beton precast RJP (f'_{cc}) pada masing-masing kondisi sambungan balok-kolom, yaitu sambungan Sudut (A) = 53,846 MPa, sambungan Eksterior (B) = 54,306 MPa, dan sambungan Interior (C) = 54,306 MPa,
3. beton pracetak dengan sistem RJP memiliki tegangan puncak beton yang lebih besar dibandingkan beton dengan sistem konvensional,
4. penempatan sambungan RJP yang dikekang menambah daktililitas kurva tegangan regangan beton dibandingkan beton konvensional,
5. akibat pengekangan pada sambungan RJP maka terdapat kapasitas momen, yaitu pada joint (A) 140,35 kNm, pada joint (B) 116,96 kNm dan pada joint (C) 116,96 kNm.

DAFTAR PUSTAKA

ACI Committee 318, (2011), *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 Daktililitas Kolom Beton Mutu Normal dan Mutu Tinggi," Pros, Seminar Nas, Eksp, Lab, Komp, dan Aplikasi dalam bidang Teknik Sipil, UII Yogyakarta, 28 Mei.

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.

Nasrullah, (2014), Analisa perbandingan kapasitas sambungan balok-kolom konvensional dan pracetak sistem u-shell : studi kasus gedung a rumah sakit pendidikan Universitas riau, Universitas Riau, Pekanbaru.

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.

SNI 1726-2012, (2012), *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Bangunan Gedung dan Non Gedung*, BSN, Indonesia.

SNI 7833-2012, (2012), *Tata Cara Perencanaan Beton Paracetak dan Beton Prategang untuk 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.