

KAJIAN EKSPERIMENTAL KUAT LENTUR BALOK PADA SAMBUNGAN BALOK KOLOM BETON BERTULANG

Aidil Abrar¹, Rendy Thamrin², dan Jafril Tanjung³

ABSTRAK

Pada umumnya kegagalan struktur saat terjadi gempa banyak disebabkan pada sambungan balok-kolom. Sambungan balok-kolom merupakan bagian penting pada struktur bangunan gedung bertingkat. Pada proses perencanaan struktur akibat beban, haruslah dijamin bahwa sambungan balok kolom tidak mengalami kerusakan akibat beban yang besar. Kerusakan sambungan balok kolom biasanya disebabkan oleh kurangnya kemampuan sambungan menahan gaya geser dan rendahnya daktilitas yang diakibatkan oleh kurangnya jumlah tulangan geser yang dipasang serta kurangnya kemampuan menahan beban lentur dan aksial.

Oleh karena itu untuk mengetahui perilaku balok pada sambungan balok-kolom dilakukan kajian eksperimental di Laboratorium Material dan Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas Padang, dengan tiga benda uji balok kolom eksterior, balok ukuran 180 mm x 250 mm, dengan rasio tulangan tarik dan tekan masing masing $\rho_1 = 0,0059$, $\rho_2 = 0,0087$, $\rho_3 = 0,0147$ tulangan ulir diameter 13 mm, dan kolom 180 mm x 300 mm dengan tulangan ulir 19 mm. *Compressive strength* (f^c) = 27 MPa, *yield strength* (f_y) tulangan balok = 417,434 MPa, *yield strength* (f_y) tulangan kolom = 462,960 MPa, serta *yield strength* (f_y) tulangan sengkang = 368,507 MPa. Dari hasil penelitian ini dapat kesimpulan setelah regangan leleh $\epsilon_y = f_y/E$ pada leleh pertama terlampaui, pembebanan (P) masih bisa bertambah sampai balok mengalami perpindahan (δ) semakin besar sampai balok runtuh. Perbedaan kelenturan dan perpindahan balok pada sambungan balok kolom dari masing-masing benda uji dipengaruhi dari variasi tulangan longitudinal balok.

Kata kunci : Sambungan balok kolom, rasio tulangan, lentur balok, daktilitas.

1. PENDAHULUAN

Struktur bangunan adalah komponen utama dari bangunan yang mampu memikul beban secara bersama-sama dan meneruskan beban ke bagian struktur. Kolom, balok dan pelat merupakan komponen utama struktur bangunan yang berperan dalam menahan dan menyalurkan beban.

¹Mahasiswa Pascasarjana Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas, hafana_abrar72@yahoo.com

²Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas, rendy@ft.unand.ac.id

³Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas, jafriltanjung@ft.unand.ac.id

Komponen struktur yang paling berpengaruh dalam menahan kestabilan suatu bangunan selain kolom, balok, dan pelat lantai adalah sambungan balok-kolom. Pada umumnya kegagalan struktur saat terjadi gempa banyak disebabkan pada sambungan balok-kolom. Dan juga karena terjadi akibat lemahnya kemampuan menahan geser dan rendahnya daktilitas (*ductility*).

Sambungan balok kolom merupakan bagian penting pada struktur bangunan gedung bertingkat. Pada proses perencanaan struktur bangunan gedung haruslah dijamin bahwa sambungan balok-kolom tidak mengalami kerusakan berat akibat beban yang besar, seperti gambar 1.1



Gambar 1.1 : Kegagalan pada sambungan balok-kolom (sumber; dokumentasi gempa Sumbar 2009)

Sambungan balok-kolom harus direncanakan dengan baik untuk menjamin sambungan tetap dapat menyerap energi tanpa terjadinya keruntuhan mendadak seperti keruntuhan geser atau keruntuhan pada daerah sambungan akibat terjadinya slip antara beton dan tulangan. Tipe keruntuhan yang bersifat tiba tiba ini harus dihindari selama terjadinya beban gempa karena;

1. beban gravitasi yang ditahan oleh sambungan
2. sambungan balok-kolom tidak mempunyai daktilitas yang besar sehingga tidak memiliki disipasi energi yang besar.
3. sambungan balok-kolom susah untuk diperbaiki setelah terjadinya beban gempa.

Oleh karena beberapa sebab diatas maka sambungan balok-kolom harus dijaga terhadap deformasi plastis yang disebabkan oleh beban gempa. Deformasi plastis pada sambungan balok-kolom dapat menyebabkan berkurangnya ikatan antara beton dan tulangan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk meneliti kuat lentur balok pada sambungan balok-kolom beton bertulang dan pengaruh dari variasi rasio tulangan longitudinal balok. Manfaat yang hendak di capai dari penelitian ini adalah dapat memberikan kontribusi tentang kuat lentur balok pada sambungan balok-kolom beton bertulang sehingga diperoleh acuan dalam perencanaan komponen struktur akibat beban yang diterimanya

Ruang lingkup pembahasan penelitian ini adalah

1. Objek yang diteliti pada penelitian ini yaitu balok yang berada pada sambungan balok-kolom eksterior beton bertulang.
2. Mutu tulangan yang digunakan adalah:
 - a. Tulangan longitudinal D-13 mm, $f_y = 417,4$ MPa.
 - b. Tulangan transversal ϕ 10 mm $f_y = 368,5$ Mpa.
3. Balok dengan $f'c = 27$ Mpa dan balok benda uji pada penelitian ini terdiri dari 3 buah dengan rasio tulangan tekan dan tarik yaitu $\rho = 0,0059$, $\rho = 0,0087$ dan untuk $\rho = 0,0147$.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Gempa Bumi didefinisikan sebagai kejutan atau sentakan yang terjadi di dalam bumi yang getarannya dapat dirasakan di permukaan bumi. Gempa disebabkan oleh peningkatan aktivitas geologi yang terjadi di dalam bumi, seperti terjadinya pergeseran-pergeseran antar lempeng benua pada daerah batas lempeng, meningkatnya suhu yang dapat menimbulkan penumpukan energi dalam waktu yang lama, sampai akhirnya terlepas dan menyebabkan getaran dalam tanah.

Indonesia merupakan daerah pertemuan 3 lempeng tektonik besar, yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia dan lempeng Pasifik. Lempeng Indo-Australia bertabrakan dengan lempeng Eurasia di lepas pantai Sumatera, Jawa dan Nusatenggara, sedangkan dengan pasifik berada di utara Irian dan Maluku Utara. Di sekitar lokasi pertemuan lempeng ini akumulasi energi tabrakan terkumpul sampai suatu titik dimana lapisan bumi tidak sanggup menahan tumpukan energi sehingga lepas berupa gempa bumi. Pelepasan energi sesaat ini menimbulkan berbagai dampak terhadap bangunan (keretakan atau runtuh).

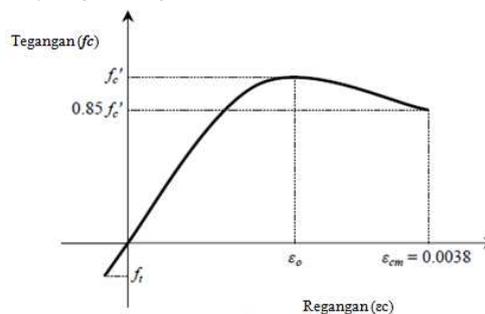
Tipe batas lempeng di Indonesia merupakan tipe subduksi. Daerah-daerah di sekitar batas lempeng ini merupakan daerah-daerah yang sering terjadi gempa bumi.

2.2 Perilaku Mekanika Beton

Parameter yang diperhitungkan pada beton adalah kuat tekannya karena kuat tekan beton jauh lebih besar dari kuat tariknya sehingga dalam penggunaannya sebagai komponen struktural dalam bangunan maka sering dikombinasikan dengan batang tulangan baja yang berfungsi sebagai pemikul tegangan tarik. Sehingga dengan kombinasi tersebut dapat menutupi kelemahan dari beton tersebut. Kemampuan beton dalam memikul tegangan tekan ini yang selalu dikaitkan dengan peranan utama dari beton tersebut.

Kuat tarik beton sangat kecil, yakni 10 – 15 % dari kekuatan tekannya sehingga diabaikan dalam menganalisis kekuatan beton. Kekuatan tarik beton dapat diketahui dengan cara, yakni pengujian tarik langsung dalam SNI-03-2847-2002 hubungan kuat tarik langsung f_{cr} terhadap kuat tekan beton, pengujian tarik belah (pengujian tarik beton tak langsung) dengan menggunakan "Split Cylinder Test" dan pengujian tarik lentur (pengujian tarik beton tak langsung).

Model konstitutif beton (kurva hubungan tegangan- regangan beton) yang menggambarkan perilaku beton, biasanya diperoleh dengan menerapkan beban tekan aksial pada benda uji beton yang berbentuk selinder berukuran standar ($\varnothing 15$ cm - 30 cm). Bentuk lain dari benda uji beton, seperti kubus beton, dapat juga digunakan dengan menerapkan koefisien konversi yang sesuai. Salah satu model konstitutif beton (kurva hubungan tegangan-regangan beton) untuk beton normal yang sering digunakan dalam analisis beton bertulang adalah kurva hubungan tegangan - regangan *Hognestad*, seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2. 1**

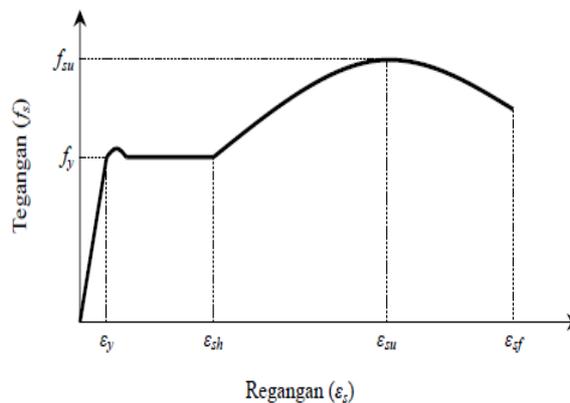


Gambar 2.1 Model Konstitutif Beton menurut *Hognestad* (Nawy, E.G., 1996)

2.3 Perilaku Mekanika Baja Tulangan

Baja tulangan merupakan material yang sangat duktail dibandingkan dengan beton. Asumsi perilaku tarik baja adalah elastoplastik, yaitu pembebanan dilepaskan, maka material tersebut mampu untuk kembali ke tegangan awalnya dengan adanya perubahan regangan dari kurva tegangan-regangannya.

Hasil pengujian tarik batang baja tulangan diperlihatkan pada **Gambar 2.2** di bawah ini. Pada bagian awal diagram tegangan-regangan, modulus elastisitas baja E_s konstan ($E_s = 2,0 \times 10^5 \text{ MPa} = 2,0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$). Kemudian terdapat bagian horisontal yang dikenal sebagai batas leleh dimana regangan bertambah sedangkan tegangan dapat dikatakan konstan. Tegangan pada kondisi ini disebut tegangan leleh baja (σ_y). Setelah terjadi pelelehan, kurva naik lagi melewati titik maksimum (tegangan ultimit), kemudian turun ke suatu nilai tegangan yang lebih rendah dimana batang baja akan putus.



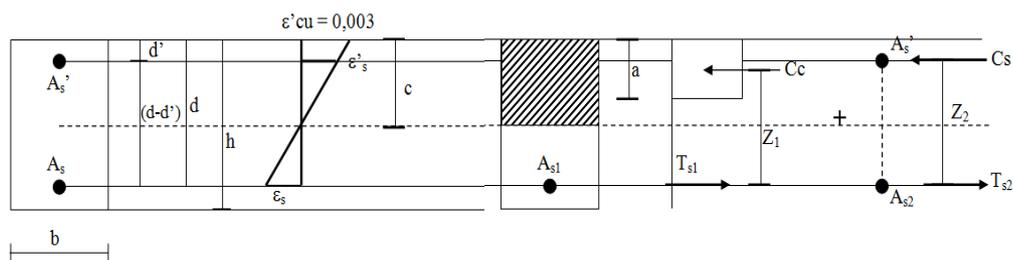
Gambar 2.2 Model Konstitutif Tegangan – Regangan Baja Tulangan (Nawy, E.G., 1996)

Kekuatan leleh baja (f_y) ditentukan melalui prosedur pengujian standar yang berorientasi pada spesifikasi teknis yang ditetapkan ASTM dengan ketentuan bahwa tegangan leleh adalah tegangan baja pada saat meningkatnya tegangan tidak disertai lagi dengan peningkatan regangannya. Dalam perencanaan atau analisis beton bertulang, umumnya nilai tegangan leleh baja tulangan diketahui atau ditentukan pada awal perhitungan.

2.3 Analisis Penampang Balok

Untuk analisis penampang dengan tulangan rangkap ini, dapat dilakukan dengan asumsi bahwa semua tulangan (tarik dan tekan) sudah leleh ($f_s = f_s' = f_y$) pada kondisi momen maksimum.

Dimana: f_s = tegangan baja tulangan tarik,
 f_s' = tegangan baja tulangan tekan dan
 f_y = tegangan baja pada kondisi leleh (yield)



Gambar 2.3 Diagram Tegangan – Regangan Balok bertulangan rangkap (Park, R & Paulay, T 1975)

Tulangan longitudinal tarik maupun tekan pada balok dipasang dengan arah sejajar sumbu balok. Balok yang menahan momen lentur kecil, tulangan tarik dan tulangan tekan masing-masing 2 batang, sedangkan untuk balok yang menahan momen lentur besar, tulangan tarik dipasang lebih banyak daripada tulangan tekan.

Momen nominal total :

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (1)$$

Dimana :

$$M_{n1} = (A_s - A_{s1})f_y \cdot ab \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (2)$$

$$M_{n2} = A_{s2} \cdot f_y \cdot (d - d') \quad (3)$$

Kapasitas momen nominal dari penampang bertulangan rangkap menjadi:

$$M_n = (A_s - A_{s1})f_y \cdot ab \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_{s2} \cdot f_y \cdot (d - d') \quad (4)$$

Untuk mengetahui apakah baja tulangan sudah leleh atau belum, dapat digunakan diagram segitiga regangan. Baja tulangan sudah leleh apabila regangan yang terjadi jika $\epsilon_s \geq f_y/E_s$

$$\epsilon'_s = 0,003 \frac{c-d}{c} = 0,003 \frac{a-\beta 1.d}{a} \quad (5)$$

$$\epsilon_s = 0,003 \cdot \frac{d-c}{c} = 0,003 \frac{\beta 1.d-a}{a} \quad (6)$$

$$\therefore f'_s = f'_y, \text{ jika } 0,003 \frac{a-\beta 1.d}{a} \quad (7)$$

$$\therefore f'_s = f'_y, \text{ jika } 0,003 \frac{\beta 1.d-a}{a} \geq \frac{f_y}{E_s} \quad (8)$$

Persamaan (4) dapat disederhanakan menjadi :

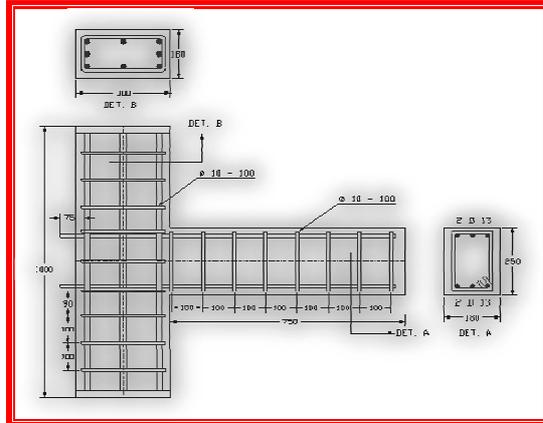
$$M_n = (A_s - A'_s)f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s \cdot f_y \cdot (d - d') \quad (9)$$

3. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yaitu dengan mengadakan suatu percobaan secara langsung untuk menyelidiki suatu data atau hasil yang menghubungkan antara beban (*load*) dan perpindahan (*displacement*) antara variabel benda uji (*specimen*) yang di modelkan. Penelitian ini dilakukan di dalam laboratorium Material dan Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas.

3.1. Benda Uji

Variabel dalam penelitian ini adalah seperti gambar 3.1 dan pada tabel 3.2 berikut ini ;



Gambar 3.1 Detail penulangan Benda Uji (sumber, Penelitian 2014)

Penyajian tulangan penelitian keseluruhan pada tabel 3.1 diuraikan sebagai berikut.

Tabel 3.1. variable benda uji

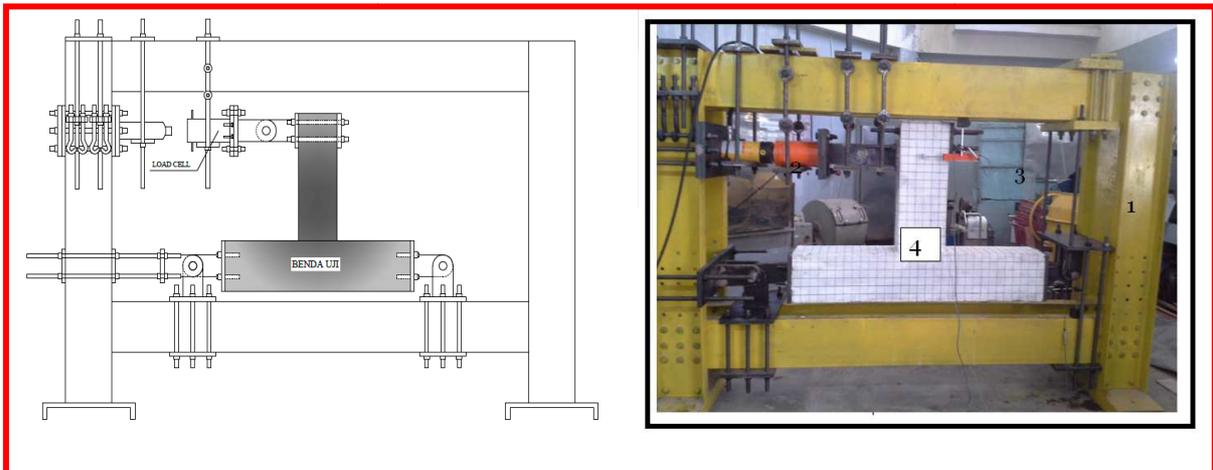
Kode Benda uji	Tulangan kolom	Tulangan Balok		Tulangan sengkang
		Tulangan tekan	Tulangan lentur	
BCJ-S 2	8 D 19	2 D 13	2 D 13	Ø 10 -100
BCJ-S 3	8 D 19	3 D 13	3 D 13	Ø 10 -100
BCJ-S 5	8 D 19	5 D 13	5 D 13	Ø 10 -100

Keterangan simbol Benda Uji:

- BCJ-S 2 = BCJ, Balok dipasang 2 tulang tarik dan 2 tulangan tekan + Sengkang
- BCJ-S 3 = BCJ, Balok dipasang 3 tulang tarik dan 2 tulangan tekan + Sengkang
- BCJ-S 5 = BCJ, Balok dipasang 5 tulang tarik dan 2 tulangan tekan + Sengkang

3.2. Se up Benda Uji

Dalam pengujian ini akan didapat nilai *displacement* (lendutan) akibat beban yang diberikan sampai balok gagal dan hancur dengan bantuan alat LVDT / *Displacement Transducer* yang diletakkan pada posisi lendutan.



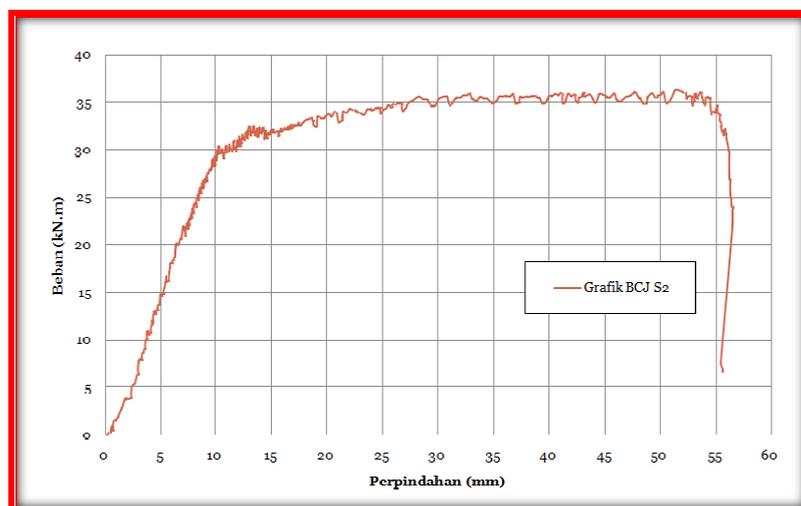
Gambar 3.2. Settingan Benda Uji pada *Frame Load* (sumber penelitian, 2014)

Prosedur kerja

1. Pasang 2 buah perletakan pada *frame* dan pasang *load cell* sejajar dengan *jackpad* yang berada dibagian kanan *frame*.
2. Benda uji diangkat menggunakan *forklift*, letakkan dan posisikan benda uji pada *frame* yang telah disediakan pada posisi di tengah-tengah *frame*. Benda uji di tempelkan pada 2 tumpuan yang telah dipasang diatas *frame* dan ujung baloknya ditempelkan dengan pelat yang dipasang bergandengan dengan *load cell*. Posisi kolom berada dibagian bawah /*horizontal* sedangkan bagian baloknya vertikal
3. Pasang alat LVDT pada area lentur balok dan kolom sambungkan ke *data logger* untuk membantu dalam mencatat setiap beban yang diberikan dan lendutan yang terjadi.
4. Lakukan pemberian beban secara konstan dan perlahan dengan menggunakan pompa *hydraulic jack*. Beban dinaikan secara konstan dan berkelanjutan setiap $\pm 0,1$ kN. Lakukan pemberian beah hingga benda uji mengalami keruntuhan.
5. Selama proses pembebanan berlangsung, lakukan penggarisan pada setiap retakan yang terjadi. Garis ini bertujuan untuk mempermudah dalam melihat pola retak dan jenis keruntuhan yang terjadi. Besarnya beban yang diberikan akan di rekap secara otomatis oleh *data logger* yang di pakai.
6. Setelah balok mengalami keruntuhan, amati pola retak dan jenis keruntuhan yang terjadi pada benda uji uji.
7. Lakukan langkah 2 sampai 6 dengan benda uji lainnya.

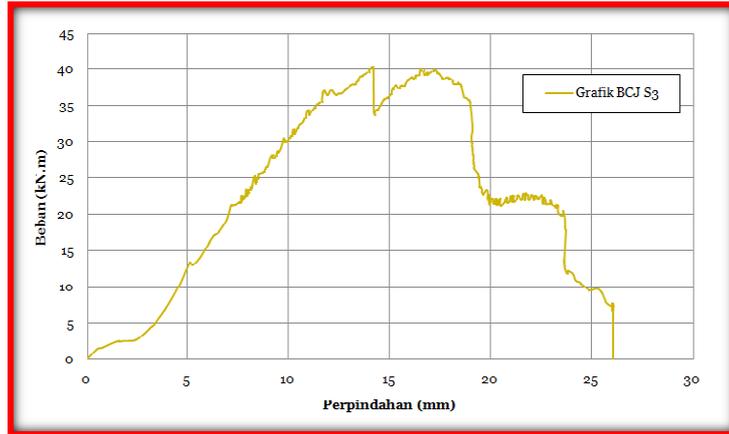
3.3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian eksperimental yang telah dilakukan di Laboratorium Material dan Struktur Universitas Andalas, maka penulis dapat mengamati hasil yang dibaca dari *data logger* berupa grafik hubungan antara beban dan perpindahan, terlihat pada gambar 3.1 sampai gambar 3.7 sebagai berikut :



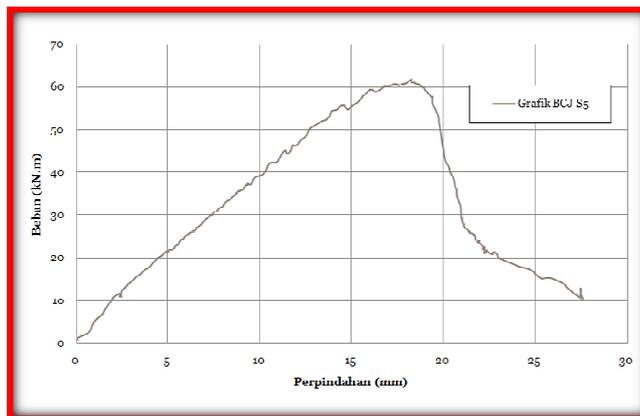
Gambar 3.3. Kurva Beban Perpindahan BCJ S2 (sumber data penelitian, 2014)

Untuk BCJ S2 Retak pertama pada balok pada beban 12 kN . Beban maksimum pada balok sebelum balok tersebut mengalami keruntuhan, pada saat beban sebesar 36,2 kN.



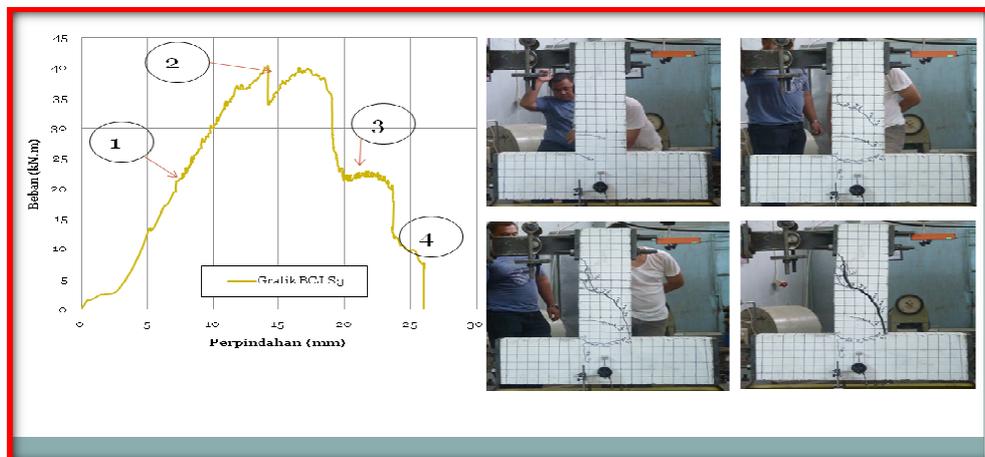
Gambar 3.4. Kurva Beban Perpindahan BCJ S3 (sumber data penelitian, 2014)

Untuk BCJ S3 Retak pertama pada benda uji terjadi pada beban sebesar 21,2 kN. Retak ini terjadi pada daerah muka kolom. Pertambahan beban secara menerus menyebabkan pertambahan retak di sepanjang bentang balok. Beban Maksimum Pada Balok sebesar 40,2 kN.

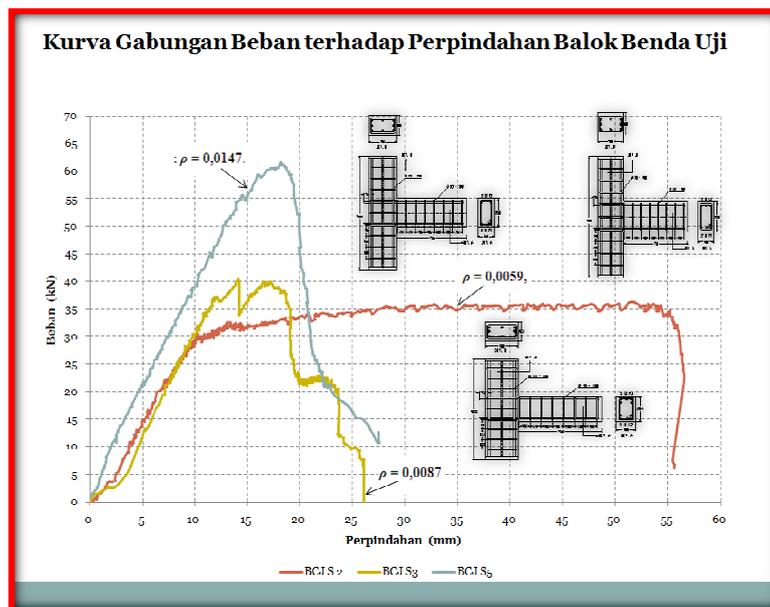


Gambar 3.5. Kurva Beban Perpindahan BCJ S5 (sumber data penelitian, 2014)

Dan BCJ S5: Retak pertama pada balok pada beban 20,3 kN, beban maksimum pada balok sebelum balok tersebut mengalami keruntuhan pada saat beban sebesar 61,6 kN.



Gambar 3.6. Kurva dan pola retak BCJ S3 (sumber data penelitian, 2014)



Gambar 3.7 .Kurva Beban Perpindahan Gabungan (sumber data penelitian,2014)

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari Penelitian yang dilakukan dapat kesimpulan bahwasanya balok pada sambungan balok kolom eksterior ini adalah sebagai berikut :

1. Rasio tulangan longitudinal memberikan kekuatan lentur yang berbeda, semakin besar rasio semakin kuat balok menahan beban dan semakin kecil perpindahan yang terjadi,terbatas pada 3 benda uji ini.
2. Kapasitas Momen penampang juga berbeda dari masing masing benda uji setelah dihitung secara manual dengan persamaan (9) ,didapat masing masing untuk BCJ S2 = 21,375 kNm,BCJ S3 = 29,897 kNm,serta BCJ S5 = 46,544 kNm.

Saran

Dalam melakukan penelitian lanjutan balok pada sambungan balok kolom beton bertulang disarankan memakai perbedaan rasio tulangan tarik dan tekan. Sehingga ada perbedaan kuat lentur akibat pembebanan sampai baloknya hancur, dan bisa dibandingkan hasilnya dengan memakai software Metode Elemen Hingga (FEM) seperti Atena dan RCCSA.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Park, R., and Paulay, T. (1975). "Reinforced Concrete Structures", John Wiley and Sons, New York.
- Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI03-2847-2002).
- Morita, S., and Kaku, T.. 1984, "Slippage of Reinforcement in Beam-Column Joint of Reinforced Concrete Frame," *Proceedings of the Eighth. World Conference on Earthquake Engineering*, Vol. VI. pp. 477-484.
- Kitayama, K., Otani. S., and Aoyama, H., 1991, "Development of Design Criteria for RC Interior Beam-Column Joints," *Design of Beam-Column Joints for Seismic Resistance, SP-123, American Concrete Institute*, Farmington Hills, Mich., pp. 97-123.
- Otani, S., 1991, "The Architectural Institute of Japan (AIJ) Proposal of Ultimate Strength Design Requirements for RC Buildings with Emphasis on Beam-Column Joints," *Design of Beam-Column Joints for Seismic Resistance, SP-123, American Concrete Institute*, Farmington Hills, Mich., pp.125-144.

- Fujii, S. and Morita, S., 1991, "Comparison Between Interior and Exterior RC Beam-Column Joint Behavior," *Design of Beam-Column Joints for Seismic Resistance, SP-123, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.*, pp. 145-165.
- Kaku, T. and Asakusa, H., 1991, "Ductility estimation of exterior beam-column subassemblages in RC frames," *Design of Beam-Column Joints for Seismic Resistance, SP-123, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.*, pp. 167-185.
- Ichinose, T., 1991, "Interaction between Bond at Beam Bars and Shear Reinforcement in RC Interior Joints", *Design of Beam-Column Joints for Seismic Resistance, SP-123, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.*, pp. 379-400.