

Analisis Kapasitas Sambungan Balok Kolom Terhadap Beban Siklik Sesuai dengan Penjelasan SNI 2847-2013

Rachmat Nur Mahyuddin^{1,*} M. Zardan Araby² Abdullah³

¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111, Indonesia

^{2,3}Jurusan Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111, Indonesia.

*corresponding author, email: rahmatnurmahyuddin@gmail.com

Abstract

Joint column beam is the main structure that functions to connect other structural loads. The area of the joint column beam needs to be accurately designed so that it can dissipate energy when an earthquake occurs. So as to minimize damage. The purpose of this study was to study the ability of structures in joint column beams to withstand cyclic loads according to the requirements of SNI 2847-2013. this research is 1 specimen, concrete quality is 23.02 MPa. The beam is 120x30x40 cm, column measuring 30x30x200 cm reinforcement 8Ø14 mm, melting voltage $f_y = 310.03$ MPa and stirrup Ø10-100mm melting voltage $f_y = 374.59$ MPa. Tests carried out by cyclic loading with 0.75 mm, 1.5 mm, 3 mm, 6 mm, 12 mm, 24 mm and monotonic displacement. The results of this study are the use of reinforcement reinforcement according to SNI 2847-2013 the capacity of the resulting cyclic load is greater that is 8.51 tf from the theoretical load of 7.92 tf.

Keywords: Beam column joint, Cyclic load, SNI 2847-2013

Abstrak

Joint balok kolom merupakan struktur utama yang berfungsi menghubungkan beban-beban struktur lainnya. Daerah joint balok kolom perlu didesain akurat sehingga mampu mendisipasi energi saat terjadi gempa.. Sehingga mampu meminimalisasi kerusakan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari kemampuan struktur pada joint balok kolom dalam menahan beban siklik menurut syarat SNI 2847-2013. penelitian ini benda uji berjumlah 1, mutu beton 23,02 MPa. Balok berukuran 120x30x40 cm, kolom berukuran 30x30x200 cm tulangan 8Ø14 mm, tegangan leleh $f_y = 310,03$ MPa dan sengkang Ø10-100mm tegangan leleh $f_y = 374,59$ MPa. Pengujian dilakukan dengan pembebanan siklik dengan displacement 0,75 mm, 1,5 mm, 3 mm, 6 mm, 12 mm, 24 mm dan monotonik. Hasil pada penelitian ini adalah dengan penggunaan konfigurasi tulangan menurut SNI 2847-2013 kapasitas beban siklik yang dihasilkan lebih besar yaitu 8,51 tf dari beban teoristik 7,92 tf.

Kata Kunci: Joint balok kolom, Beban siklik, SNI 2847-2013

1. Pendahuluan

Joint balok kolom adalah struktur penting yang berguna untuk menghubungkan beban struktur lainnya. Sebagai komponen struktur dengan peran dan fungsi tersebut joint balok kolom menempati posisi penting dalam suatu bangunan. Gagalnya pada joint balok kolom akan berpengaruh langsung pada komponen struktur yang lain yang terhubung dengannya. Perencanaan joint balok kolom harus dilakukan secara detail agar dapat memberikan kekuatan lebih tinggi untuk komponen struktur lainnya, sehingga jika terjadi kerusakan pada suatu bangunan diharapkan joint balok kolom masih dapat menyangga komponen struktur lainnya.

*Secara umum perilaku kehancuran joint balok kolom yang terjadi akibat beban siklik pada kondisi beban minimum ke maksimum diawali dengan retak geser pada daerah joint. Jika beban siklik terus bertambah pada joint balok kolom tidak cukup untuk mengikat joint kolom balok serta mempertahankan terhadap tekuk local (*local buckling*)*

maka kehancuran segera terjadi. Untuk mencegah hal tersebut maka perlu direncanakan *joint balok kolom* yang lebih kuat dalam menahan beban siklik dengan mempertimbangkan efek kekangan. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan penyaluran tulangan balok ke kolom dengan harapan dapat meningkatkan efek kekangan pada *joint balok kolom* sehingga resiko kehancuran dapat diperkecil.

Penambahan tulangan sengkang di daerah joint dan penyaluran tulangan ke kolom merupakan variabel penting dalam menentukan tingkat kapasitas joint balok kolom suatu konstruksi beton bertulang.

Benda uji yang dipakai dalam penelitian ini adalah *joint balok kolom* beton bertulang, dimana balok berukuran 120 x 30 x 40 cm³ kolom memiliki ukuran 30 x 30 x 200 cm³ memakai besi 8Ø14 mm $f_y = 310,03$ MPa dan besi sengkang Ø10-100 mm dengan $f_y = 374,59$ MPa. Tujuan Penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan *joint balok kolom* dalam mempertahankan beban siklik dengan peraturan pembebanan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia 2847-2013.

Pada benda uji balok kolom beton bertulang dipasang alat ukur *Linear Variable Displacement Transducer* (LVDT) yang berfungsi untuk mengukur *displacement* benda uji balok kolom beton bertulang, dan alat ukur Transduser Omega yang berfungsi untuk mengukur lebar retakan beton yang terjadi di area joint balok kolom, dan juga alat ukur regangan yang terjadi pada tulangan (*strain gauge*) yang dipasang pada tulangan *longitudinal*. Semua alat ukur tersebut dihubungkan dan dimonitor melalui *Portable Data Logger* TDS 302.

Pengetesan benda uji *joint* balok kolom dilaksanakan dengan pemberian beban siklik dengan siklus tekan dan tarik yang berbeda pada *displacement* 0,75 mm, 1,5 mm, 3 mm, 6 mm, 12 mm, 24 mm dan monotonik hingga benda uji hancur. Regangan beton yang terjadi pada saat pembebanan maksimum -0,010 untuk pembacaan kiri atas melintang kanan bawah dan 0,336 untuk pembacaan kanan atas ke kiri bawah.

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa, *joint* balok kolom yang direncanakan dengan SNI 2847-2013 cukup kuat mencegah terjadinya kegagalan geser, beban maksimum yang dicapai yaitu pada *displacement* 24 mm adalah sebesar 8,51 tf lebih besar dari beban teoritis yaitu sebesar 7,92 tf.

2. Tinjauan Kepustakaan

2.1 Titik Pertemuan (*Joint*) Balok Kolom

Perencanaan struktur bangunan yang dapat menahan gempa pada *joint* balok kolom harus memenuhi beberapa ketentuan. Momen lentur dan gaya geser *joint* balok kolom, serta geser horizontal dan geser vertikal yang melewati inti *joint* harus dianalisis dengan memperhitungkan seluruh pengaruh gaya-gaya yang membentuk keseimbangan pada sambungan. Gaya yang bekerja pada tulangan utama memanjang balok pada sisi muka kolom harus tentukan dengan anggapan bahwa tegangan di dalam tulangan tarik lentur adalah 1,25 f_y dan faktor reduksi kekuatan sesuai dengan yang ditentukan dalam Standar Nasional Indonesia 2847-2013, Menurut Dipohusodo[1].

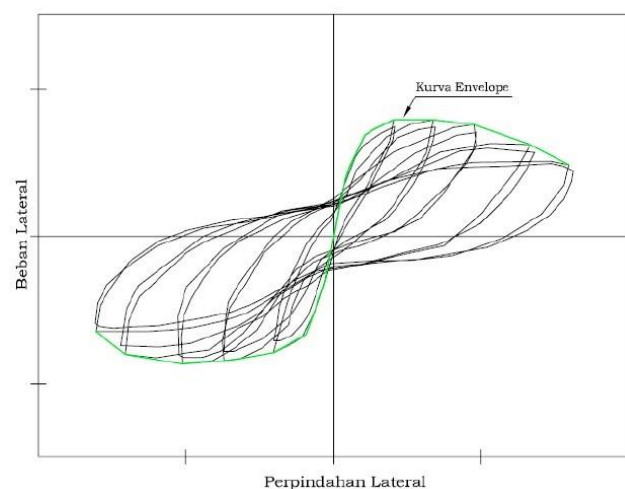
Menurut Dipohusodo[1], apabila lebar penampang kolom lebih besar dari lebar balok, maka b_j harus diambil sebagai nilai terkecil antara lebar kolom dan lebar balok ditambah setengah tinggi total tampang kolom. Sedangkan apabila lebar penampang kolom lebih kecil dari lebar balok, b_j harus diambil sebagai nilai terkecil antara lebar balok dan lebar kolom ditambah setengah tinggi total penampang kolom.

Dipohusodo[1] juga menjelaskan tulangan geser vertikal tersebut harus ada dari baja kolom antara (*intermediate bars*) yang berada pada bidang lentur diantara ujung baja sisi luar, atau terdiri dari sengkang ikat vertikal, atau tulangan vertikal khusus yang diletakkan dalam kolom dan di jangkarnya secukupnya untuk meneruskan gaya tarik yang disyaratkan ke dalam *joint*. Jarak antara tulangan vertikal pada tiap bidang balok yang menuju ke titik *joint* balok kolom tidak boleh melebihi 200 mm, dan minimum

terdapat satu batang tulangan kolom antara pada setiap sisi kolom.

2.2 Parameter Kinerja Struktur Balok Kolom

Menurut Wijaya [2] pengetesan struktur terhadap beban siklik memberi hasil kurva histeritik. perlakuan struktur kepada beban siklik dapat dilihat pada Gambar 1, beban siklik adalah suatu beban yang terjadi secara berulang-ulang, penyebab terjadinya keruntuhan dikarenakan terjadinya kegagalan *fatigue*, dimana beton retak pada saat menerima beban berulang. Pada kurva Gambar 1 dapat diketahui kapasitas struktur yang terjadi akibat beban siklik antaranya: kapaistas kekuatan tinggi, kekauan, energi disipasi dan daktilitas.



Gambar 1. Kurva Histeritik Perilaku Struktur Terhadap Beban Siklik
Sumber: Wijaya[2]

2.3 Beban Siklik

Menurut Egor Popov[3], beban siklik yang terus menerus akan jadi pelemahan kinerja gaya tekan yang biasa mencapai 50% dari kapasitas pertamanya bahkan sanggup dengan beban siklik kuat saja. Beban siklik atau *cyclic load* ialah pembebanan berulang-ulang, seperti yaitu tekanan berulang yang teratur pada suatu bagian struktur, yang kadang menyebabkan kelelahan (*fatigue*). Beban siklik dapat di maksud sebagai beban gempa bumi yang bekerja pada bangunan bertingkat secara bolak balik (2 arah). Karena dalam kondisi nyata sebagian besar sistem struktur bersifat non linear sampai taraf tertentu. Sehingga, dalam analisa beban siklik dilakukan dengan Analisa dinamik non linear.

2.5 Kekakuan

Kekakuan merupakan suatu yang sangat penting. Batasan kekakuan berguna untuk menjaga konstruksi

supaya tidak terjadi lendutan lebih dari lendutan yang diaturkan. Kekakuan dapat dimaksud juga sebagai suatu gaya yang dibutuhkan untuk mendapatkan satu unit *displacement*. Nilai dari kekakuan adalah sudut kemiringan dari hubungan pada beban dan lendutan. Makin kaku suatu struktur makin besar nilai kekakuannya menurut Ujjianto[4].

Menurut Timoshenko[5] kekakuan berfungsi sebagai gaya yang di pergunakan untuk menerapkan suatu lendutan sebesar satu satuan, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan berikut:

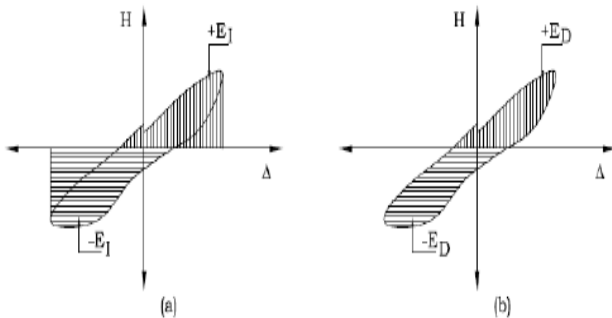
$$k = \frac{P}{\delta} \dots\dots\dots 1)$$

Dimana:

- k = Kekakuan (N/mm)
- P = Beban (N)
- δ = Lendutan (mm)

2.6 Energi Disipasi

Menurut Wijaya[2] energi total yang memberikan struktur pada suatu pembebanan ialah energi input. Energi input yang diserap pada struktur diserap oleh struktur dengan cara meretakan struktur dan kelelahan baja tulangan. Pada kurva histeritik, energi *input* ialah sebagai luas daerah yang berbatas kurva tertutup histeresis beban dan *displacement*. maksud energi *input* dan energi disipasi diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Definisi Energi Input dan Energi Disipasi
Sumber: Wijaya[2]

Energi disipasi dihitung dengan Persamaan 2 berikut ini:

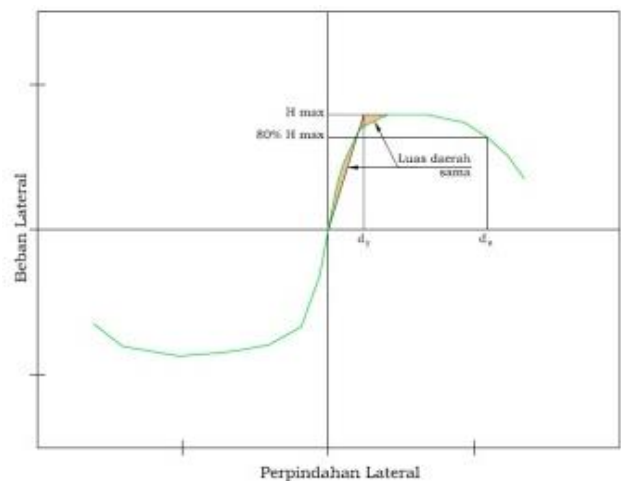
$$E_i = E_E + E_D \dots\dots\dots 3)$$

Dimana:

- E_i = energi input total;
- E_E = energi elastis;
- E_D = energi disipasi.

2.7 Daktilitas Struktur

Menurut Wijaya[2] daktilitas struktur adalah kapasitas struktur dalam terjadinya deformasi inelastis dengan cara tidak terjadi hilangnya kekakuan yang banyak. Dengan luas luas daktilitas adalah sebagai bandingan antara *displacement* ultimit dan *displacement* leleh. Perpindahan maksimum diterapkan dari *displacement* saat kakuatan tertinggi menurun sebesar 20% atau dengan maksud lain struktur memiliki kekuatan 80% energi tertinggi. Sedangkan untuk kuantifikasi perpindahan leleh, beberapa metode yang umum digunakan diantaranya perpindahan saat leleh pertama tulangan (*first yield*) perpindahan saat leleh signifikan tulangan (*significant yield*), perpindahan berdasarkan kesamaan kapasitas penyerapan energi (*equal energy absorbsion*). Pada gambar 3 ditampilkan penentuan titik leleh dengan metode *equal energy absorption*.



Gambar 3. Penentuan Perpindahan Leleh dan Perpindahan Ultimit
Sumber: Wijaya[2]

3. Metode Penelitian

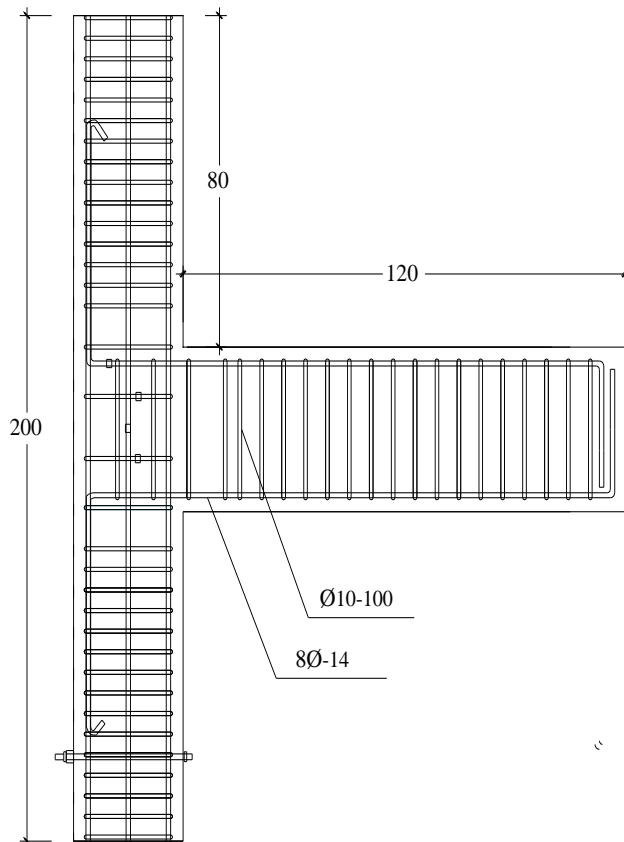
3.1 Pengujian Kuat Tarik Baja

Baja tulangan yang dipakai untuk kolom balok adalah 8Ø14 mm untuk tulangan utama dan Ø10-100 mm untuk sengkang. Mutu baja ditentukan dengan uji tarik baja menurut prosedur ASTM E.8-81. Pada pembebanan tarik baja ini, beban diberikan secara kontinyu sampai baja putus. Pembacaan regangan dilakukan setiap penambahan beban 100 kg melalui pembacaan dial *transducer*. Hasil pengujian ini digambarkan dalam suatu kurva hubungan tegangan tarik baja dengan regangan sehingga diperoleh kuat tarik baja dan regangan luluhnya.

3.2 Detail Benda Uji Joint Balok Kolom

Benda uji yang direncanakan adalah *joint* balok kolom beton tulangan dengan kuat tekan beton $f'c = 23,02$ MPa. kolom memiliki ukuran 30 x 30 x 200 cm dan 30 x 40 x 120 cm untuk balok. Benda uji direncanakan

berdasarkan kebutuhan penelitian, yaitu benda uji untuk pengujian kapasitas beban siklik pada *joint* balok kolom beton bertulang. Benda uji yang direncanakan terdiri dari beton bertulang normal dengan agregat halus, agregat kasar, besi tulangan dan air. Tulangan utama yang digunakan $8\text{Ø}14$ dengan kuat Tarik leleh $f_y = 310,03$ MPa. Pembesian Sengkang menggunakan baja $\text{Ø}10-100$ mm kuat Tarik leleh $f_y = 374,59$ MPa. Lebih jelasnya detail benda uji *joint* balok kolom dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4 Bentuk Penampang Benda Uji

Strain gauge baja dipasang pada tulangan Sengkang dan tulangan utama daerah *joint* balok kolom, seperti terlihat pada Gambar 4.

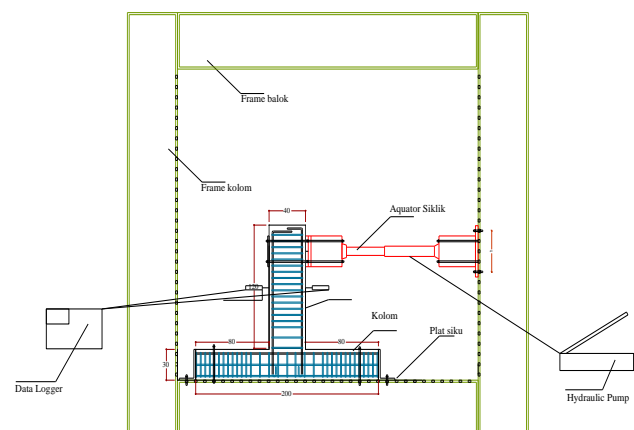
3.3 Prosedur pengujian *joint* balok kolom

Pengujian dilakukan saat benda uji berumur 28 hari. Pengujian benda uji *joint* balok kolom dilakukan bersamaan dengan benda uji silinder. Kapasitas beban siklik yang diperhitungkan adalah kuat tekan beban yang dihasilkan dari pengujian kuat tekan benda uji silinder. Sebelum dilakukan pengujian, permukaan benda uji di cat warna putih dan digambar *grid* terlebih dahulu, agar memudahkan menggambar pola retak yang dihasilkan. Benda uji dipasang di pada *frame*. Pada ujung balok dipasang plat baja, yang diikat dengan mor pada sisi ujung kolom, plat di hubungkan ke *load cell* berfungsi untuk pemberian beban

siklik secara tekan dan tarik. Beban diberikan pada akhir ujung balok. Beban berikan oleh *hydraulic jack* yang tersambung *load cell* selanjutnya ke benda uji *joint* balok kolom. Beban yang diberikan dilihat dengan pembaca *dial* pada data *logger*.

Pemberian beban dilakukan secara bertahap yaitu dengan cara pemberian *displacement* tekan dan tarik secara berurutan 0,75 mm, 1,5 mm, 3 mm, 6 mm, 12 mm, 24 mm serta monotonik. Setiap pembebanan tekan tarik dibaca pembebanan serta digambarkan pola retak yang terjadi. Pembebanan terus diberi sampai benda uji retak. Pada samping balok dipasang *transducer* untuk pembacaan *displacement* dalam arah horizontal.

Regangan yang terjadi pada *joint* balok kolom dibaca oleh *Portable Data Logger* yang telah dihubungkan pada *strain gauge*. Pembebanan berhenti saat beban tidak lagi naik dikarenakan barang uji tidak sanggup menahan beban hingga barang uji terjadi retak dan hancur. Pola retak dilihat setiap saat dengan menggambar retak yang terjadi di barang uji menurut dengan besar beban yang diberikan. Beberapa peralatan tes dan pemasangan benda uji pada *frame* secara detail dilihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 5 Set Up Pengujian Benda Uji *Joint* Balok Kolom

4. Hasil Penelitian

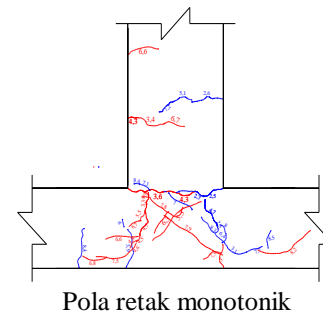
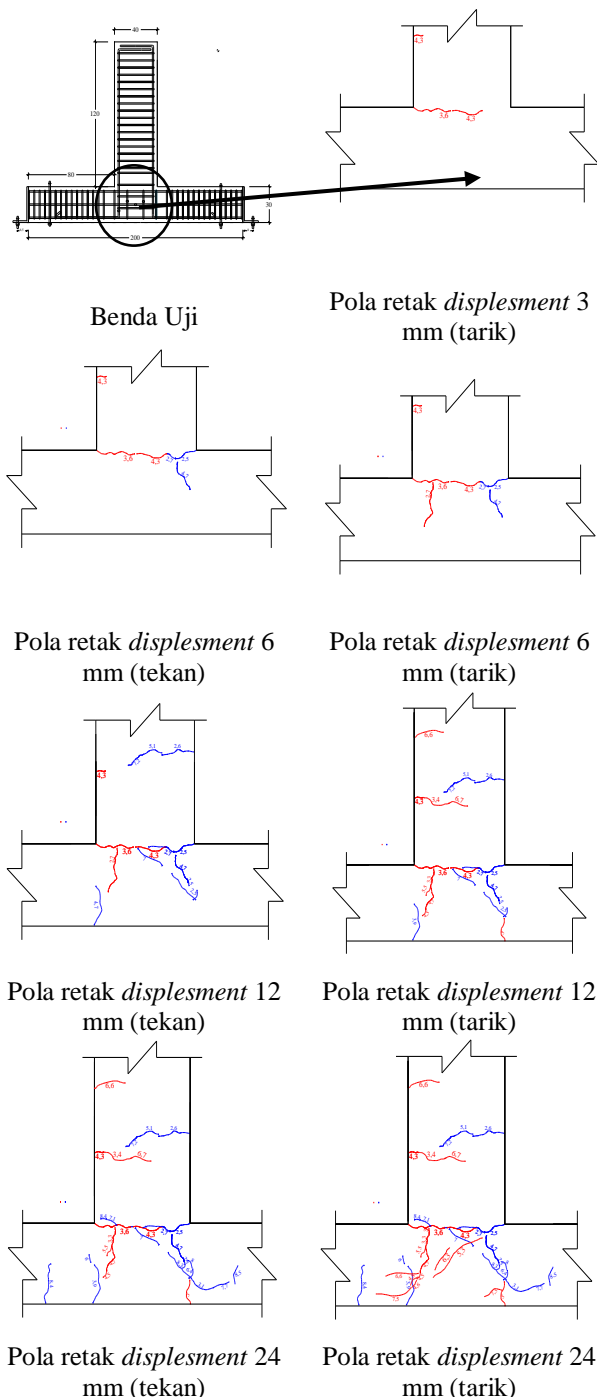
4.1 Kapasitas beban siklik

Beban tertinggi yang dicapai dari penelitian *joint* balok kolom adalah sebesar 8,51 tf, pembebanan tekan yang terjadi pada *displacement* 24 mm sebesar 8,51 tf dan beban tarik sebesar 7,6 tf pada *displacement* 24 mm. Data tersebut menjadi grafik beban siklik pada barang uji tersebut. Grafik beban siklik yang terjadi pada pembebanan 0,75 mm, 1,5 mm, 3 mm, 6 mm, 12 mm, 24 mm, dan monotonik.

Beban terus bertambah seiring dengan bertambahnya *displacement*. Saat kondisi maksimum terjadi kehancuran patah dan retak pada daerah *joint* yang mengakibatkan beban berkurang selama bertambahnya *displacement*.

4.2 Pola Retak *Joint* Balok Kolom

Retak yang terjadi lebih banyak pada daerah *joint* balok kolom yang cenderung retak momen dan geser, retak momen terbesar adalah terjadi pada daerah balok dengan retakan berukuran 2,45 cm, adapun gambaran pola retak yang terjadi pada barang uji sambungan balok kolom dilihat seperti yang pada gambar berikut:



Gambar 6 Gambar pola retak

4.2.1 *Displacement* 0,75 mm, 1,5 mm, dan 3 mm

Pada saat beban siklus awal yaitu pada siklus *displacement* 0,75 mm sampai dengan siklus 1,5 mm tidak ada retak yang terjadi dimana *joint* balok kolom masih bisa menahan beban sebesar 2,95 tf dengan *displacement* 1,5mm, tanpa terjadi retak apa-apa.

Retak pertama terjadi pada benda uji *joint* balok kolom ialah pada siklus (1) 3 mm pembebanan tarik dimana beban yang keluar yaitu terjadi adalah sebesar 3,58 tf, retak yang terjadi terletak pada sudut sambungan balok kolom melintang dengan balok. Pada saat pemberian *displacement* siklus (2) 3 mm beban tekan, retak kembali terjadi dan bertambah di beban 2,55 tf, dengan bentuk retakan dari sudut kanan *joint* melintang balok sepanjang 9 cm dan setelahnya menghasilkan beban 3,05 ton. Selanjutnya pada siklus yang sama siklus (2) 3 mm yaitu beban tarik, retak juga kembali terjadi pada saat beban 3,3 tf, dengan bentuk dan letak retakan yaitu pada sudut kiri atas daerah *joint* melintang dibawah kolom sepanjang sekitar 13 cm dan setelah diberikan *displacement* penuh yaitu 3 mm (+) menghasilkan beban sebesar 3,83 tf. Untuk lebih jelas ragam pola retak yang terjadi pada pembebanan 3 mm adalah pada Gambar 6:

4.2.2 *Displacement* 6 mm

Setelahnya pada pembebanan 6 mm beban tekan pada siklus (1), retak awal yang terjadi adalah pada daerah sudut kanan atas *joint* melintang kolom pada beban 4,66 ton dengan besar retakannya sebesar 15 cm, sampai beban puncak siklus pada 4,66 ton. Pada *displacement* 6 mm beban Tarik di siklus (1), retak pertama yang terjadi adalah pada daerah sudut kiri atas *joint* melintang kolom pada pembebanan 4,7 tf dengan besar retakan sebesar 7 cm, sampai beban puncak siklus pada 4,92 tf. pada pembebanan 6 mm beban tekan pada siklus (2), retak pertama yang terjadi adalah pada daerah kanan *joint* melintang kolom pada beban 2,5 tf dengan Panjang retakan sebesar 3 cm, sampai dengan beban maksimum siklus pada 4,42 tf. Pada pembebanan 6 mm beban Tarik di siklus (2), retak pertama yang terjadi adalah pada daerah balok pada beban 3,4 tf dengan Panjang retakan sebesar 15 cm, sampai dengan *displacement* maksimum siklus pada 4,52 tf. Untuk lebih

jenis ragam pola retak yang terjadi pada *displacement* 6 mm adalah pada Gambar 6.

4.2.3 Displacement 12 mm

Sedangkan pada *displacement* 12 mm beban tekan pada siklus (1), retak terjadi pada area sekitar sambungan balok kolom, terjadi antara beban 2,6 tf, 3,6 tf, 3,9 tf, 6,4 tf, sampai dengan *displacement* maksimum siklus pada 7 ton. Pada *displacement* 12 mm beban Tarik di siklus (1), retak terjadi pada area sekitar *joint* balok kolom, terjadi antara beban 3 tf, 3,3 tf, 3,4 tf, 4,3 tf, 4,5 tf, 4,7 tf, 5,5 tf, sampai dengan *displacement* maksimum siklus pada 6,7 tf. pada *displacement* 12 mm pembebanan tekan pada siklus (2), retak terjadi pada daerah sekitaran *joint* balok kolom, terjadi antara beban 3,1, 5,1, sampai dengan beban maksimum siklus pada 6,33 tf. Pada pembebanan 12 mm beban Tarik di siklus (2), retak terjadi pada daerah sekitaran *joint* balok kolom, terjadi pada beban 4,8 tf, sampai dengan *displacement* tertinggi siklus pada 6 tf. Untuk detail dan jenis ragam pola retak yang terjadi pada *displacement* 12 mm adalah pada Gambar 6:

4.2.4 Displacement 24 mm

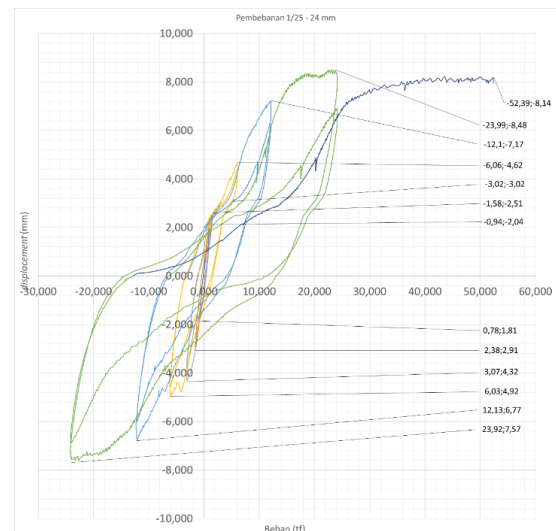
Pada *displacement* 24 mm pembebanan tekan pada siklus (1), retakan terjadi pada daerah sekitar *joint* balok kolom, yaitu terjadi antara beban 6 tf, 7,1 tf, 8 tf, 8,3 tf, 8,4 tf sampai beban tertinggi siklus pada 8,51 tf. Pada *displacement* 24 mm pembebanan Tarik di siklus (1), retak terjadi pada area sekitar *joint* balok kolom, terjadi antara beban 4,6 tf, 4,7 tf, 5,3 tf, 6,3 tf, 6,6 tf, 6,7 tf, 7,3 tf sampai beban tertinggi siklus pada 7,6 tf. pada *displacement* 24 mm pembebanan tekan pada siklus (2), tidak terjadi retakan hingga beban maksimum siklus pada 6,9 tf. Pada *displacement* 24 mm beban Tarik di siklus (2), retak memula pada area sekitaran *joint* balok kolom, terjadi antara beban 4,7 tf, 4,8 tf sampai dengan beban maksimum siklus pada 5,83 tf. Untuk lebih detail ragam pola retak yang terjadi pada *displacement* 24 mm adalah pada Gambar 6.

4.2.5 Displacement monotonic

Pada *displacement* monotonik, retak terjadi pada daerah sekitar *joint* balok kolom, yaitu terjadi antara beban 3,2 tf, 3,3 tf, 7,4 tf, 7,9 tf, 8 tf sampai dengan beban maksimum siklus pada 8,2 tf. Untuk lebih jelasnya beberapa retak yang terjadi pada *displacement* 24 mm ialah pada gambar 6.

4.3 Kapasitas Kekuatan Puncak Balok Kolom

Maksimum dari envelope grafik hubungan beban dan *displacement*, didapat kapasitas kuat tertinggi barang uji balok kolom 8,51 tf (tekan) dan 7,6 tf (Tarik). Grafik daktilitas hubungan beban dan *displacement* lateral dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7 Grafik beban dan perpindahan

4.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder

Pada tiap barang uji *joint* balok kolom dilaksanakan pembuatan barang uji tes berukuran 15 x 30 cm berjumlah 6 barang uji. Hal ini dilakukan untuk mengontrol kekuatan beton yang telah direncanakan. Pengetesan kuat tekan ini dilaksanakan setelah barang uji 28 hari. Adapun nilai kuat tekan tersebut disajikan pada tabel 1 berikut

Tabel 1 Hasil pengujian kuat tekan beton silinder

f'_c (kg/cm ²)	$(X_i - \bar{X})^2$	S_d	f'_{cr} (kg/cm ²)	f'_{cr} (Mpa)
304,519	866,548	60,112	234,772	23,023
411,184	5964,125			
298,280	1272,803			
408,010	5483,934			
310,461	552,026			
271,284	3927,849			

4.3 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengetesan kuat Tarik baja tulangan dilakukan sesuai dengan uraian pada uraian sebelumnya. Hasil pengujian kuat tarik baja beton diperlihatkan pada lampiran, Selanjutnya berdasarkan hasil pengujian kuat tarik baja tulangan tersebut digambarkan dalam grafik hubungan tegangan-regangan seperti yang diperlihatkan pada lampiran. Hasil pengetesan tarik baja tulangan dengan diameter 14 mm adalah $f_y = 310,03$ MPa, hasil dari uji Tarik baja tulangan sengkang diameter 10 mm ialah 374,59 MPa. Nilai tegangan leleh (σ_y) dan regangan leleh (ϵ_y) pengetesan tarik baja tulangan diperlihatkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

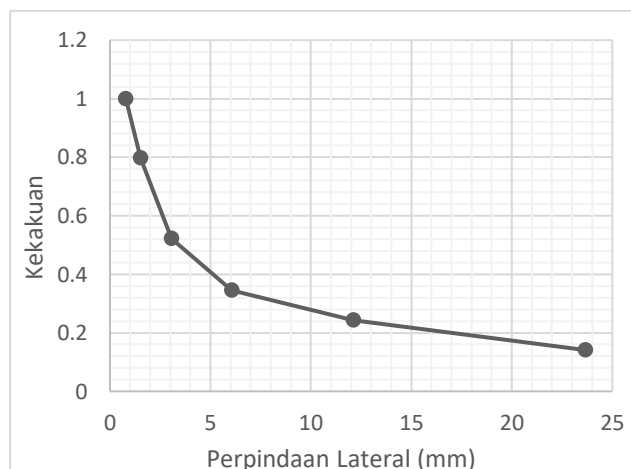
Benda Uji	Diameter	f_y Mpa		ϵ
	mm	Hasil	Rata-rata	
1	14	318,53	310,03	0,029
2		318,53		0,036
3		293,04		0,035
1	10	374,59	374,59	0,033
2		362,10		0,031
3		387,07		0,029

4.4 Hasil Pengujian Beban Siklik

Beban puncak yang didapatkan oleh barang uji sambungan balok kolom ialah sebesar 8,51 ton beban tekan pada *displacement* 24 mm sebesar 8,51 dan pembebanan Tarik sebesar 7,6 ton pada *displacement* 24 mm. Data itu dibuat grafik beban siklik yang diperoleh pada barang uji tersebut. Grafik beban siklik yang didapatkan pada pembebanan 0,75 mm, 1,5 mm, 3 mm, 6 mm, 12 mm, 24 mm, dan monotonik.

4.5 Penurunan Kekakuan Joint Balok Kolom

Grafik hubungan penurunan kekakuan dengan perpindahan lateral dapat dilihat pada Gambar 8



Gambar 8. Grafik Hubungan Kekakuan Perpindahan

Berdasarkan Gambar 8, benda uji mengalami penurunan kekakuan dimulai dari perpindahan lateral 1,535 mm sampai pada perpindahan 23,67 mm sebesar 0,14 mm.

5. Kesimpulan

Dari hasil yang didapatkan setelah penelitian ini adalah Penambahan tulangan sengkang dan penyaluran tulangan ke kolom daerah *joint* balok kolom dapat meningkatkan nilai kapasitas geser. Kapasitas beban siklik

maksimum yang diperoleh pada saat *displacement* 24 mm adalah sebesar 8,51 tf (tekan), 7,6 tf (tarik). *Displacement* yang didapatkan pada saat pembebanan puncak adalah sebesar 52,39 mm. Kekakuan *secant* balok kolom yang diperoleh pada saat beban maksimum sebesar 0,14 dengan *displacement* sebesar 23,67 mm. Siklus beban energi disipasi tertinggi terjadi pada beban 24 mm. Energi disipasi terbesar sebesar 12,13 tf. Penyaluran tulangan dan sengkang pada *joint* dapat meningkatkan disipasi energi pada *joint* dengan memberi kekakuan pada portal.

6. Daftar Kepustakaan

- [1] I. Dipohusodo, *Struktur Beton Bertulang*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1999.
- [2] Wijaya I.I.D. (2009). *Kajian Eksperimental Kinerja Dinding Bata Terkekang Portal Beton Bertulang*. Magister Rekayasa Struktur Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [3] E. P. Popov, *Cyclic Inelastic buckling of thin tubular columns*, University of California, California, 1979.
- [4] M. Ujianto, *Lendutan dan Kekakuan Balok Beton Bertulang dengan Lubang Segi Empat di Badan*, **2(2)**: 52-57, 2006
- [5] S. Timoshenko, *Dasar-dasar Perhitungan Kekuatan Bahan*, Terjemahan D. H. Gulo, Restu Agung, Jakarta, 1996.