

# PERILAKU SAMBUNGAN SAYAP MENERUS BALOK PROFIL I DENGAN KOLOM TABUNG BAJA AKIBAT BEBAN SIKLIK

Eko Riyanto<sup>1</sup>, Muslikh<sup>2</sup>, Bambang Supriyadi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan FT UGM  
Email: eko.riyanto@mail.ugm.ac.id

## ABSTRACT

*Using Concrete-Filled Steel Tube (CSFT) as a column component provides many advantages over steel columns. Steel tube serve as reinforcement as well as formwork for concrete filler increases the strength column. The lack of experience and complexity of the beam-column connection system becomes an obstacle to use the CFST as a column. In addition, strength and stiffness of the connection system should be sufficient to endure the earthquake loads. In this research, continuous joint of beam-CFST and continuous joint of beam-column steel tube without concrete filler (BKS-K). Load cycle of specimen refer to ACI 374.1-05. The test results showed the average load of 23,85 kN on BKS-K increased to 26,05 kN on BKS-T. Elastic stiffness ( $K_e$ ) at BKS-K of 0,531 kN/mm increased to 0,737 kN/mm on BKS-T. BKS-T also has a larger hysteretic loop than BKS-K. BKS-K and BKS-T adequate the strong column weak beam criteria with partial ductility.*

**Keywords:** CFST, beam-column joint, cyclic test.

## ABSTRAK

Penggunaan kolom tabung baja dengan isian beton memberikan banyak keuntungan dibandingkan dengan kolom biasa. Adanya isian beton pada tabung baja, kuat tekan terhadap gaya aksial meningkat. Selain itu sambungan harus memiliki kekuatan menahan beban gempa. Kajian ini bertujuan mengetahui perilaku histeris, kekuatan, kekakuan dan pola keruntuhan dalam menahan beban siklik. Kajian ini dibuat benda uji sambungan sayap menerus balok-kolom tabung baja dengan isian beton (BKS-T) dan sambungan sayap menerus balok-kolom tabung baja tanpa isian beton (BKS-K). Benda uji dibebani dengan siklus beban yang mengacu pada ACI 374.1-05. Hasil pengujian menunjukkan beban maksimum rata-rata sebesar 23,85 kN pada BKS-K meningkat menjadi 26,05 kN pada BKS-T. Kekakuan elastis ( $K_e$ ) pada BKS-K sebesar 0,531 kN/mm meningkat menjadi 0,737 kN/mm pada BKS-T. Benda uji BKS-T juga memiliki *hysteretic loop* yang lebih besar dari BKS-K. Benda uji BKS-K dan BKS-T mengalami kegagalan yang memenuhi kriteria *strong column weak beam* dengan daktilitas parsial.

**Kata kunci:** CFST, sambungan balok-kolom, uji siklik.

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi konstruksi terus mengalami kemajuan sesuai dengan tuntutan dan perubahan jaman. Hal ini dapat dibuktikan dengan kemajuan ilmu dan teknologi dalam bidang perencanaan dan pelaksanaan konstruksi bangunan khususnya struktur baja, kemajuan teknologi konstruksi struktur komposit baja dengan beton telah banyak digunakan untuk konstruksi bangunan gedung, jembatan, dan berbagai macam konstruksi lainnya. Kebanyakan sistem struktur komposit ini menggabungkan kelebihan dari kekuatan material baja dengan kekakuan komponen beton sehingga

memperoleh kekakuan dan kekuatan yang maksimal. Penggunaan struktur kolom komposit tabung baja dengan isian beton dalam mendukung beban lateral pada struktur rangka bangunan belum lazim dalam perkembangan konstruksi saat ini selain harus memenuhi kekuatan dan kekakuan. Ada dua jenis kolom komposit antara lain: bagian struktur baja terbungkus oleh beton dan tabung baja terisi beton penuh (*Concrete-Filled Steel Tube, CFST*).

Penelitian mengenai perilaku sambungan balok baja dan kolom tabung baja dengan isian beton telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Alostaz dan Schneider

(1998), membuat beberapa bentuk sambungan skala besar yang diuji dengan menggunakan pedoman ATC-24 untuk pengujian siklik komponen baja. Pembebanan siklik diberikan pada ujung balok. Hasil kajian menunjukkan bahwa pengelasan potongan sambungan langsung ke permukaan tabung baja mengakibatkan terjadinya deformasi yang besar pada dinding tabung baja. Besarnya deformasi pada dinding tabung tersebut sangat rentan terhadap kegagalan. Perilaku siklik inelastis membaik ketika diafragma yang eksternal digunakan untuk mendistribusikan kekuatan. Dalam kajian ini jenis sambungan dibagi menjadi dua kategori, yaitu: sambungan dengan sayap menerus pada balok baja profil I dan kolom tabung baja tanpa isian beton

di sekitar tabung. Dari hasil pengujian dapat dinyatakan bahwa sebuah diafragma berukuran minimum tidak efisien dalam mengurangi gaya geser yang besar pada dinding kolom tabung baja. Namun, kinerja detail ini memiliki peningkatan yang signifikan jika dibandingkan dengan detail sambungan yang dilas sederhana. Sambungan dengan tambahan diafragma berukuran minimum berdasarkan kajian tersebut dapat digunakan di daerah resiko gempa rendah.

## METODE

serta sambungan sayap menerus pada balok baja profil I dan kolom tabung baja dengan isian beton. Adapun bagan alir kajian ditunjukkan pada Gambar 1:



Gambar 1. Bagan Alir Kajian

Kajian mengikuti ketentuan pembebanan yang ada di dalam ACI 374.1-05. *Drift rasio* yang dimaksudkan adalah perbandingan 1. Benda uji harus dibebani oleh rangkain urutan siklus kontrol perpindahan yang mewakili *drift* yang diharapkan terjadi pada sambungan disaat gempa.

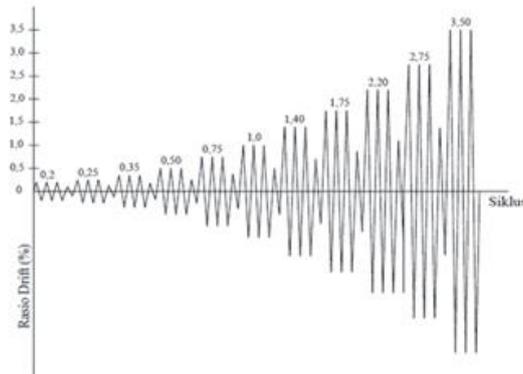
simpangan yang terjadi terhadap panjang balok pada benda uji. Adapun ketentuannya adalah sebagai berikut:

2. Tiga siklus penuh harus diaplikasikan pada setiap *drift rasio* (Gambar 2)

3. *Drift rasio* awal harus berada dalam rentang perilaku elastik linier benda uji. *Drift rasio* berikutnya harus bernilai tidak kurang dari pada 1,25 kali, dan tidak lebih dari pada 1,5 kali *Drift rasio* sebelumnya (Gambar 2)
4. Pengujian harus dilakukan dengan meningkatkan *drift rasio* secara bertahap
- 6.

hingga tercapai nilai *drift rasio* minimum 0,035.

5. Data diperlukan untuk menginterpretasikan kinerja benda uji secara kualitatif harus direkam. Dokumen foto yang memperlihatkan kondisi benda uji disetiap akhir siklus pembebanan harus diambil.

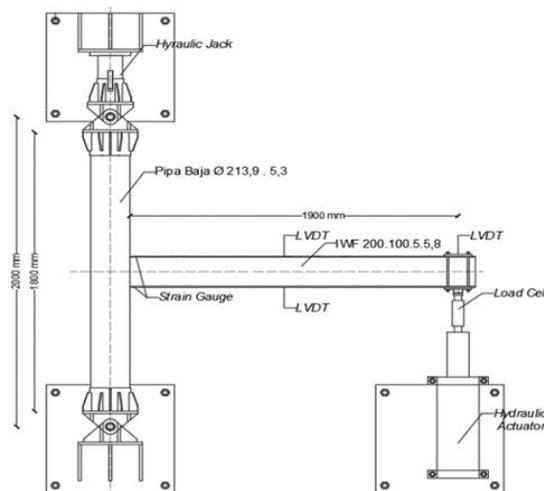


Gambar 2. Siklus Pembebanan dengan Kontrol Perpindahan ( ACI T1 374.1-05)

Perancangan skala dan dimensi benda uji pada kajian ini didasarkan pada kapasitas peralatan Laboratorium *Mechanics of Material* Pusat Studi Ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada. Perhitungan dan analisis gaya dalam dilakukan dengan menggunakan metode LRFD.

Studi Ilmu Teknik, Pusat Antar Universitas, Universitas Gadjah Mada. Pengujian dilakukan setelah beton pengisi pada kolom tabung baja mencapai umur 28 hari. Pembebanan siklik dilakukan dengan beban terhadap *displacement controlled* seperti yang disyaratkan dalam ACI 374.1-05. *Set-up* pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.

Pengujian benda uji dilakukan di Laboratorium *Mechanics of Material*, Pusat



Gambar 3. *Set-up* Pengujian

Tahap pengumpulan data dibagi menjadi dua bagian. Pertama, pengumpulan data berdasarkan pengamatan parameter pada material berupa pengamatan karakteristik dari masing-masing material untuk selanjutnya dijadikan acuan dalam pembuatan benda uji. Kedua, pengumpulan data berupa pengamatan parameter pada pengujian. Setelah pengumpulan data,

dilakukan analisis atau pengolahan data menggunakan alat bantu komputer. Hasil yang diperoleh dari pengujian berupa hubungan beban dan defleksi membentuk kurva histerisis yang akan dianalisis terhadap kekuatan, kekakuan, dan energi yang diserap. Peningkatan akibat adanya isian beton akan dibandingkan dengan kondisi kolom tabung baja kosong.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Hasil pengujian bahan

Dari hasil pengujian tarik profil pipa baja diambil  $f_y = 341,55$  MPa dan  $f_u = 409,99$  MPa, pelat baja diambil  $f_y = 348,73$  MPa dan  $f_u = 464,23$  MPa, IWF badan diambil  $f_y = 335,76$  MPa dan  $f_u = 453,60$  MPa, serta IWF sayap diambil  $f_y = 282,29$  MPa dan  $f_u = 432,95$  MPa. Hasil pengujian tarik baut baja UNS 4.6 diambil  $f_y = 400,18$  MPa dan  $f_u = 571,68$  MPa. Adapun Komposisi campuran yang digunakan sebagai beton pengisi kolom tabung pipa baja dalam pembuatan benda uji adalah beton cor ditempat dengan mutu beton  $f_c' = 25,41$  MPa.

### 2. Hasil pengujian sambungan

#### a. Mekanisme *Strong Column Weak Beam*

Kapasitas desain dalam SRPMK "kolom kuat balok lemah" digunakan

untuk memastikan tidak terjadinya sendi plastis pada kolom selama gempa terjadi. Dalam kajian ini benda uji BKS-K mengalami leleh pada nomor siklus pembebanan ke 6 (enam) atau *drift ratio* 1 % yaitu pada beban rata-rata sebesar 12,23 kN dan beban tarik sebesar 16,89 kN, sedangkan pada benda uji BKS-T mengalami leleh pertama pada nomor siklus pembebanan yang sama dengan nilai beban rata-rata sebesar 14,96 kN dan beban tarik sebesar 17,46 kN, sedangkan kolom baja baik dengan isian beton maupun tanpa isian beton secara pengamatan visual tidak mengalami keruntuhan. Parameter kedua yaitu dapat terlihat dan ditinjau dari pola kerusakan dan keruntuhan yang terjadi pada benda uji.

#### b. Daktilitas

Faktor daktilitas adalah perbandingan antara defleksi ultimit dengan defleksi *yield*. Hasil analisis dari masing-masing benda uji dapat dilihat pada Tabel 1:

Tabel 1. Hasil analisis daktilitas

No	Benda Uji	Defleksi ultimit $\Delta_u$ (mm)	Defleksi <i>Yield</i> $\Delta_y$ (mm)	Faktor Daktilitas ( $\mu$ ) = $\Delta_u/\Delta_y$
1	BKS-K	62,97	19,12	3,29
2	BKS-T	75,92	29,17	2,60

Dari Tabel 1 tersebut menunjukkan bahwa faktor daktilitas benda uji BKS-K sedikit lebih besar dibandingkan benda uji BKS-T yaitu selisih 0,69. Hal ini terjadi karena penurunan beban puncak pada benda uji

BKS-K dan BKS-T terjadi pada saat *drift ratio* yang sedikit berbeda. Dengan mengacu pada peraturan syarat SRPMK untuk daktilitas adalah daktilitas penuh, sedangkan daktilitas pada benda uji yang

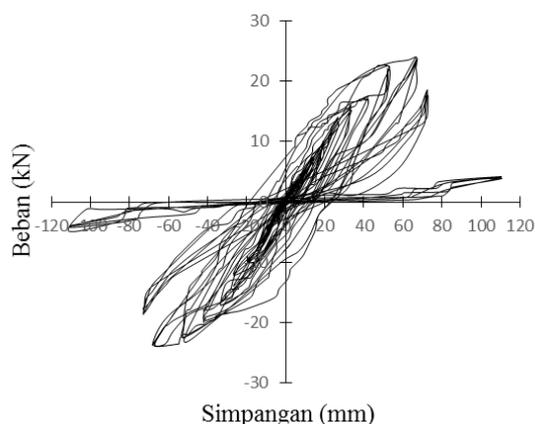
telah dilakukan adalah daktilitas parsial.

c. Hubungan beban dan *displacement*

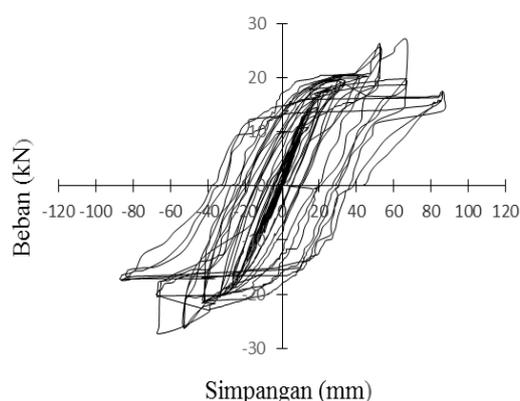
1. *Observed hysteretic curve*

Hubungan antara beban dan simpangan dari hasil pengujian dapat dilihat pada kurva *hysteretic loops* Gambar 8, dan Gambar 9. Benda uji BKS-K mengalami peningkatan beban seiring dengan pertambahan simpangan. Beban puncak pada benda uji BKS-K terjadi pada simpangan 67,04 mm yaitu sebesar 23,82 kN pada siklus pertama *drift rasio* 3,5 % dan mengalami penurunan pada *drift rasio* 4,75 % yang sama pada siklus ketiga sebesar 13,31 % dari beban puncak yaitu

menjadi 18,57 kN pada simpangan 72,51 mm, dan seiring bertambahnya beban terjadi penurunan yang besar dari beban puncak yaitu pada *drift rasio* 3,5% dimulai dari beban puncak yaitu sebesar 22,50 %. Benda uji BKS-T mengalami beban puncak pada *displacement* 52,64 mm dan penurunan 80% dari beban puncak pada simpangan 60,20 mm. Adapun pada benda uji BKS-T sesuai yang ada pada Gambar 9 beban puncak terjadi pada *drift rasio* 2,75 % siklus pertama dengan simpangan 52,59 mm yaitu sebesar 26,15 kN dan selanjutnya terjadi penurunan pada siklus kedua dan ketiga secara sebesar 25,94 kN dan 25,62 kN.



Gambar 4. *Observed hysteretic curve* BKS-K



Gambar 5. *Observed Hysteretic Curve* BKS-T

Selanjutnya dari Gambar 5 terlihat *hysteretic curve* BKS-T setelah *drift rasio* 2,75% terus mengalami penurunan beban yang dikarenakan oleh adanya kondisi *fatigue* akibat beban siklik yang bekerja. Beban siklik mengakibatkan adanya *strain hardening* pada

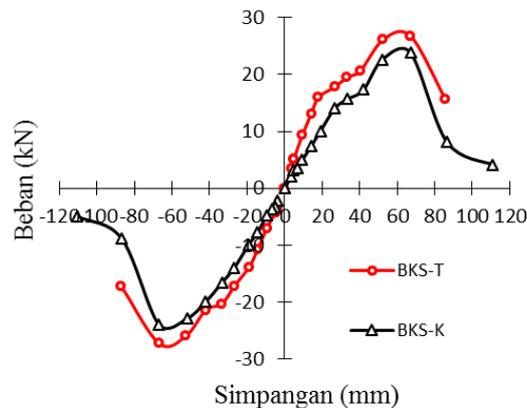
sambungan las dan menyebabkan sambungan menjadi *brittle*. Selain itu pada Gambar 4, dan Gambar 5 di atas terlihat benda uji BKS-T memiliki *hysteretic loops* yang lebih besar bila dibandingkan dengan benda uji BKS-K, hal ini dikarenakan adanya

pengisi beton pada kolom BKS-T yang mengakibatkan peningkatan kekakuan pada kolom tabung baja. Sehingga disipasi energi yang dimiliki oleh benda uji BKS-T lebih besar dari benda uji BKS-K.

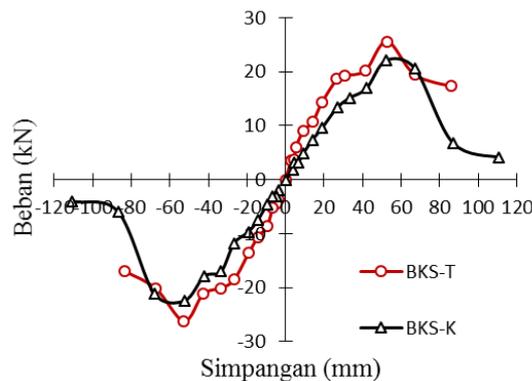
## 2. Kurva *envelope*

kurva hasil perbandingan beban dan *displacement* pada Gambar 4. dan Gambar 5. Hasil tersebut menunjukkan bahwa benda uji BKS-K mengalami pencapaian beban lateral maksimum tekan dan tarik serta penurunan beban tekan dan tarik pada level *drift ratio*

yang berbeda, bila dibandingkan benda uji BKS-T. Hal ini terjadi dikarenakan benda uji BKS-T mengalami retakan awal pada pelat sayap sambung menerus serta retakan makin bertambah panjang pada tiap siklus pembebanan secara berurutan. Berbeda dengan benda uji BKS-K yang mengalami retakan awal pada pelat sambung sayap menerus serta retakan makin bertambah panjang pada rangkaian siklus pembebanan yang bersifat tidak secara berurutan. Masalah ini terjadi akibat tidak adanya inti beton di dalam kolom pipa baja tersebut.



Gambar 6. *Envelope Curve* saat *Initial Condition*



Gambar 7. *Envelope Curve* saat *Stabilized Condition*

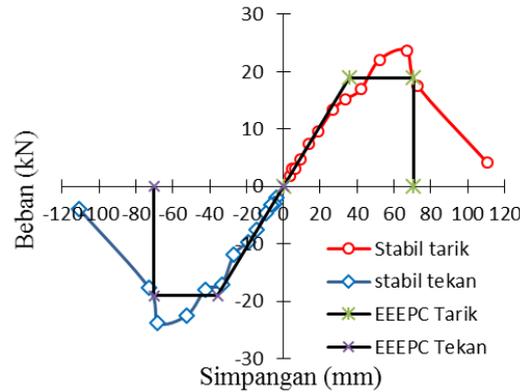
sehingga mudah mengalami pelemahan pada permukaan dinding kolom pipa baja saat sambungan sayap menerus mengalami deformasi yang cukup besar dan masih mampu bertahan tanpa menimbulkan retakan yang makin bertambah panjang dalam beberapa rangkaian siklus pembebanan siklik. Dari hasil tersebut terlihat bahwa benda uji BKS-K sedikit lebih daktail bila dibandingkan dengan benda uji BKS-T.

## 3. *Equivalent energy elastic plastic curve (EEEEPC)*

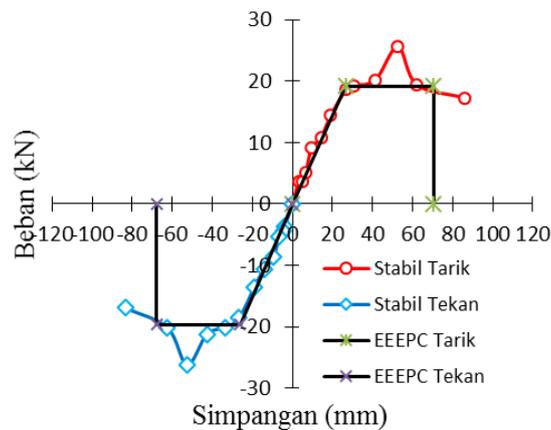
*Stabilized Envelope curve* benda uji BKS-K dan BKS-T selanjutnya dilakukan analisis untuk memperoleh *Equivalent Energy Elastic-Plastic Curve (EEEEPC)*, yaitu hubungan antara beban dan simpangan pada saat kondisi *crack* awal, *yield*, *peak*, dan *failure* sebagai dasar perhitungan beban leleh, simpangan leleh, daktilitas dan

kekakuan elastis. Hasil dari analisis dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9. Benda uji BKS-T memiliki beban *crack* yang lebih besar dibandingkan benda uji BKS-K karena adanya isian beton di dalam kolom pipa baja yang meningkatkan kapasitas penampang kekuatan kolom benda uji BKS-T, sehingga beban *crack* awal yang terjadi pada sambungan dengan sayap

menerus dan permukaan dinding kolom pipa baja akibat beban siklik pada ujung balok terjadi lebih besar dari pada benda uji BKS-K, dan kemudian secara berangsur-angsur terus dengan bertambahnya siklus pembebanan siklik tidak menimbulkan adanya pelelehan ataupun kerusakan pada permukaan dinding kolom pipa baja komposit tersebut.



Gambar 8. *Equivalent Energy Elastic-Plastic Curve (EEEEPC)* pada Benda Uji BKS-K

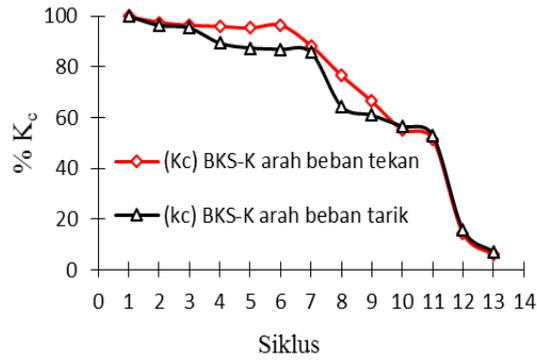


Gambar 9. *Equivalent Energy Elastic-Plastic Curve (EEEEPC)* pada Benda Uji BKS-T

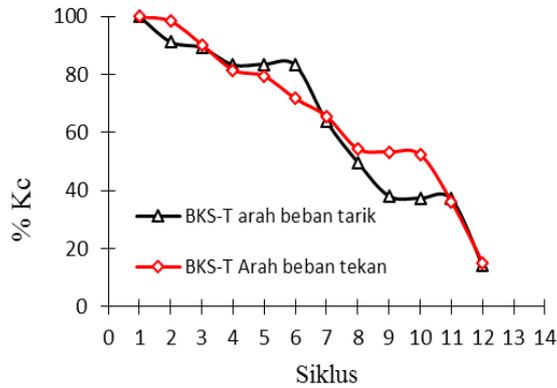
#### 4. Kekauan siklus ( $K_c$ )

Kekakuan merupakan besarnya gaya yang mampu ditahan/diserap oleh struktur tiap satuan panjang. Kekakuan siklus pada pembebanan siklik secara umum akan mengalami penurunan pada setiap siklusnya, hal ini disebabkan karena pembebanan bolak-

balik yang dilakukan menyebabkan efek kelelahan/*fatigue* pada benda uji. Besarnya kekauan siklus dapat dinyatakan dengan presentase terhadap kekakuan awal siklus pada masing-masing benda uji. Pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. Kekakuan Siklus ( $K_c$ ) BKS-K

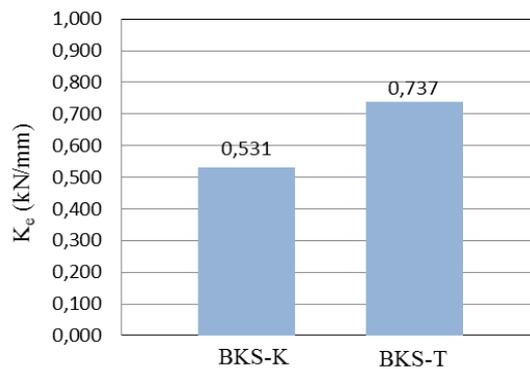


Gambar 11. Kekakuan Siklus ( $K_c$ ) BKS-T

Dari Gambar di atas, terlihat bahwa kekakuan benda uji BKS-K, dan benda uji BKS-T mengalami penurunan seiring dengan adanya pertambahan siklus atau pertambahan simpangan hingga sampai pada siklus terakhir atau benda uji runtuh. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya pelat sambung yang mengalami leleh dan retak pada sambungan las yang menyebabkan penurunan kekakuan pada benda uji.

#### 5. Kekakuan elastis ( $K_e$ )

Kekakuan elastis adalah perbandingan antara beban *crack* dengan *displacement* pada saat *crack*. Analisis beban *crack* dan *displacement crack* diperoleh dari analisis *EEEEPC* pada Gambar 8, dan Gambar 9. Hasil perhitungan kekakuan elastis dapat ditunjukkan pada Gambar 12.



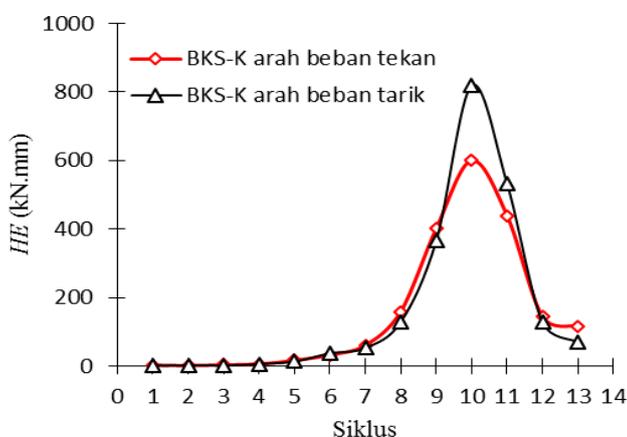
Gambar 12. Kekakuan Elastis ( $K_e$ )

Dari Gambar 12 menunjukan bahwa kekakuan elastis benda uji BKS-T sedikit lebih besar dari benda uji BKS-K hal ini terjadi dikarenakan sambungan benda uji BKS-T lebih dahulu mengalami kondisi *crack* pada *displacement* yang relatif sedikit lebih rendah dibandingkan dengan benda uji BKS-K.

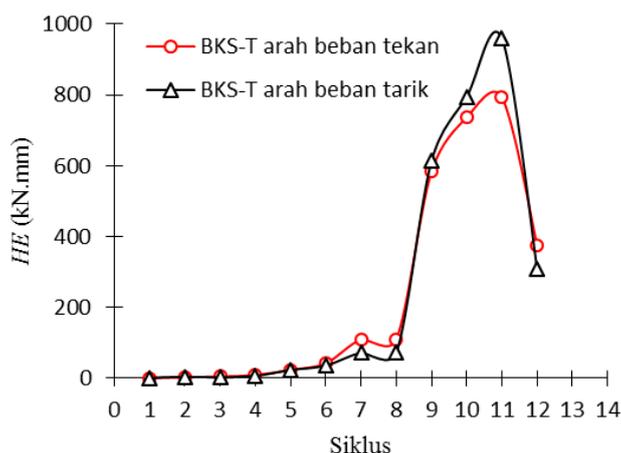
### 6. *Hysteretic energy (HE)*

Adapun *hysteretic energy* menggambarkan kemampuan benda uji untuk mendisipasikan beban yang bekerja pada benda uji tersebut.

Besarnya *hysteretic energy* dihitung berdasarkan besarnya luasan kurva yang dibentuk dari satu siklus lengkap (positif dan negatif). Besarnya *hysteretic energy* dihitung berdasarkan pendekatan numerik dengan cara menghitung luasan tiap pias pada siklus positif maupun negatif. Hasil rekapitulasi perhitungan dapat dilihat pada Gambar 13, dan Gambar 14.



Gambar 13. *Hysteretic Energy* BKS-K



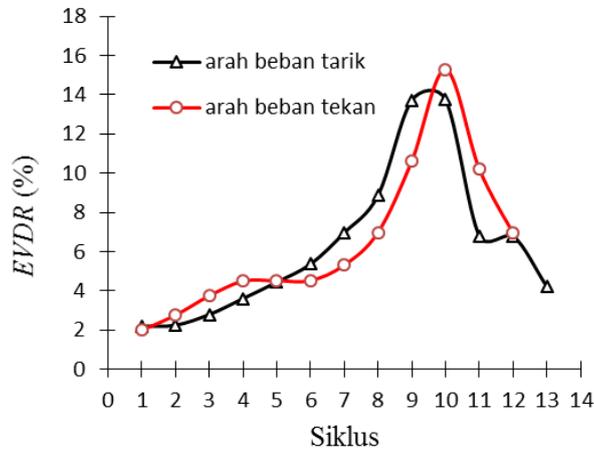
Gambar 14. *Hysteretic Energy* BKS-T

Gambar 13 dan Gambar 14 di atas menunjukkan bahwa benda uji BKS-K memiliki *potential energy* lebih besar dibandingkan dengan benda uji BKS-T. Hal ini juga masih berkaitan dengan serapan energi yang dialami oleh benda uji terhadap

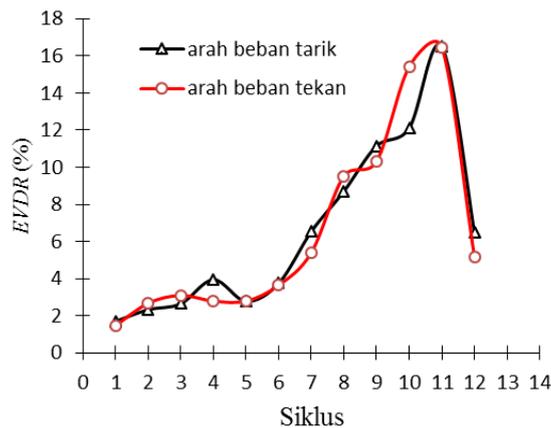
beban luar yang bekerja untuk setiap siklusnya, terjadi pada pelat sambungan sayap menerus.

7. *Equivalent viscous damping ratio* (EVDR)  
 EVDR menggambarkan besarnya redaman struktur dalam menerima beban dari luar.

Secara grafis besarnya nilai dari (EVDR) masing-masing benda uji dapat dilihat pada Gambar 15, dan Gambar 16.



Gambar 15. EVDR Benda Uji BKS-K



Gambar 16. EVDR Benda Uji BKS-T

8. Kekuatan sambungan

Hasil pengujian pada benda uji BKM-K diperoleh beban maksimum sebesar 23,82 kN dan 23, 88 kN untuk beban tarik dan beban tekan, sedangkan pada pengujian benda uji BKM-T diperoleh beban maksimum sebesar 26,15 kN dan 26,32 kN untuk beban tekan dan beban Tarik. Kekuatan balok baja profil I dengan analisis penampang plastis mencapai nilai  $M_p$  dengan  $P_u$  sebesar 27,94 kN. Penyambungan sayap menerus dengan sayap pada balok baja menggunakan las penetrasi penuh, tahanan nominal

sambungan las sebesar 352,8 kN lebih besar dari tahanan leleh pelat sayap yaitu sebesar 255,18 kN, Sehingga asumsinya kegagalan terjadi pada pelat sayap. Tetapi pada pengujian kegagalan terjadi pada sambungan las. Kegagalan yang terjadi pada las antara pelat sambung dengan pelat sayap balok profil I menyebabkan keruntuhan secara tiba-tiba, ditandai dengan penurunan beban secara drastis pada hubungan beban dan simpangan yang masih memperlihatkan pola kenaikan.

9. Pola keruntuhan

Pengamatan pola retak dimulai dari awal hingga akhir pengujian. Untuk benda uji

BKS-K mengalami retak pertama pada kondisi tarik beban lateral puncak *drift ratio* ke-11 (3,5%) siklus pertama yaitu

pada daerah kedua pelat sambungan sayap menerus sisi atas dan sisi bawah yang dapat dilihat pada Gambar 17. Retak awal ini terjadi hanya pada siklus pertama *drift ratio* ke-11 (3,5%). Keruntuhan yang dominan terjadi pada benda uji BKS-K adalah tipe keruntuhan lelah (*fatigue failure*). Akan tetapi pada *drift ratio* ke-6 (1,4%) terjadi *yield* pada sambungan pelat sayap menerus BKS-K. Hal ini terlihat dari hasil analisa pada saat pengujian, dimana sambungan pelat sayap menerus pada benda uji BKS-K mengalami *yield* pada *drift ratio* ke-7 (1,4%) tanpa adanya retak awal pada pelat sambungan sayap menerus. Selain itu keruntuhan benda uji BKS-K terjadi pada

penurunan beban sebesar 17,54% dari beban puncak pada *drift ratio* ke-11 (3,5%) siklus pertama. Kemudian pada *drift ratio* ke-11 (3,5%) siklus kedua terjadi penambahan retak pada bagian yang sama serta terjadi deformasi pada pelat sambung. Selanjutnya semakin bertambahnya nilai *displacement*, bentuk retak yang terjadi semakin bertambah besar pada daerah sambungan pelat sayap dan las antara pelat sayap sambung dengan sayap pada balok baja profil I, sehingga menyebabkan keruntuhan pada kedua sisi sambungan balok baja profil I dengan kolom tabung pipa baja tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 17. Retak Pertama Kali Benda Uji BKS-K

semakin bertambahnya simpangan, mengakibatkan retak semakin bertambah besar pada sambungan las tumpul yang menghubungkan pelat sayap dari balok baja profil I dan pelat sambung sayap menerus.

Dengan demikian, mekanisme keruntuhan benda uji BKS-K dan benda uji BKS-T tidak sesuai dengan mekanisme kapasitas desain dalam SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus).



Gambar 18. Keruntuhan pada Benda Uji BKS-K

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut: Benda uji BKS-T memiliki *hysteristic loops* lebih besar jika dibandingkan benda uji BKS-K. Hal ini menunjukkan bahwa benda uji BKS-T memiliki redaman yang lebih baik dari pada benda uji BKS-K. Kapasitas beban maksimal untuk benda uji BKS-K diperoleh pada siklus pertama penerapan *drift rasio* 3,5% sebesar 23,82 kN dan -23,88 kN pada *displacement* 67,04 mm dan 67,12 mm. Sedangkan benda uji BKS-T sebesar 26,15 kN dan -26,32 kN dan *displacement* 52,59 mm dan -62,64 mm yang diperoleh pada siklus pertama *drift rasio* 2,75%. Dari nilai tersebut terlihat bahwa dengan isian beton pada kolom meningkatkan kapasitas beban. Kekakuan elastis benda uji BKS-K sebesar 0,531 kN/mm, sedangkan pada benda uji BKS-T sebesar 0,737 kN/mm untuk beban tekan maupun tarik. Hal ini menunjukkan bahwa beton pengisi kolom dapat

meningkatkan kekakuan sambungan. Keruntuhan yang terjadi pada benda uji BKS-K maupun BKS-T adalah tipe keruntuhan lelah (*fatigue failure*). Benda uji BKS-T memiliki *hysteretic energy* yang lebih besar dari benda uji BKS-K. Adanya pelat badan pada balok menyebabkan sayap lebih kuat dibandingkan dengan sambungan las. Hal ini dapat dilihat dari pola keruntuhan dimana retakan awal terjadi pada bagian sambungan las sejajar dengan pelat badan balok dan semakin melebar seiring dengan penambahan beban. Sambungan las pada sayap kegagalannya bersifat getas dapat digantikan dengan sambungan menggunakan pelat. Selain itu sendi plastis pada balok dapat dipastikan dengan cara melakukan modifikasi sambungan (*reduced beam section*) pada sayap ujung balok. Tanpa adanya kegagalan pada kolom maka sambungan memenuhi kriteria *Strong Column Weak Beam*.

## DAFTAR RUJUKAN

- [1] ACI T1.1-01. 2001. *Commentary on Acceptance Criteria for Moment Frames based on Struktural Testing*. American Concrete Institute. Innovation Task Group 1 and Collaborators
- [2] ACI 374. 1-05. 2005. *Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing*.
- [3] Alostaz, Y. M. and Schneider, S. P., 1998, *Experimental Behavior of Connections to Concrete-Filled Steel Tubes*. *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 45, No. 3, pp. 321–352
- [4] ASTM. 2002. *Standart Test Methode for Cyclic (Reversed) Load Test for Shear Resistance of Wall for Building*. Vol 405 E2126-02a.
- [5] Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: SNI 1726-2012.
- [6] Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Metode Uji Dan Kriteria Penerimaan Sistem Struktur Rangka Memikul Momen Beton Bertulang Pracetak Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: SNI 7834-2012.
- [7] Badan Standarisasi Nasional. 2015. *Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Jakarta: SNI 1729-2015.
- [8] Gere, J. M. dan Timosenko, S. P., 1997. *Mekanika Bahan*. Jilid 1. Edisi Ke empat. Jakarta: Erlangga.
- [9] Muhammad Haykal. 2015. *Thesis: Perilaku Sambungan Balok baja dan kolom tabung baja dengan isian beton menggunakan pelat diafragma melingkar Akibat Beban Siklik*. Program

Perilaku Sambungan Sayap ... (Eko/ hal 76-88)

Pascasarjana Departemen Teknik Sipil  
dan Lingkungan. Universitas Gadjah

Mada. Yogyakarta.