

PENINGKATAN DISIPASI ENERGI DAN DAKTILITAS PADA KOLOM BETON BERTULANG YANG DIRETROFIT DENGAN CARBON FIBER JACKET

Johanes Januar Sudjati

*Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44 Yogyakarta,
januar@mail.uajy.ac.id*

ABSTRAK

Kerusakan yang terjadi pada kolom akibat gempa merupakan kerusakan yang sangat berbahaya karena dapat menyebabkan keruntuhan seluruh struktur bangunan. Kegagalan kolom akibat gempa dapat terjadi karena kerusakan geser, kerusakan pada daerah sendi plastis dan kerusakan pada daerah sambungan lewatan tulangan. Kolom yang memiliki kuat geser kurang memadai dan kolom yang mengalami kerusakan geser dapat diretrofit (diperkuat dan diperbaiki) dengan beberapa metode. Dalam penelitian ini digunakan metode retrofit dengan carbon fiber jacket untuk meningkatkan kapasitas beban lateral, disipasi energi dan daktilitas kolom.

Dalam penelitian ini digunakan 4 benda uji kolom yaitu 2 benda uji yang diperbaiki dan 2 benda uji yang diperkuat. Benda uji berupa kolom penampang bujursangkar dengan dimensi 160 mm dan tinggi 500 mm. Dua benda uji diberikan beban lateral siklik dan beban aksial 10,5 Ton sampai diperoleh beban lateral maksimum. Benda uji yang telah rusak ini diperbaiki dengan carbon fiber jacket kemudian diuji lagi dengan cara yang sama. Benda uji yang diperkuat dibungkus lebih dahulu dengan carbon fiber kemudian diuji dengan beban lateral siklik. Nilai disipasi energi dihitung dari luas hysteresis loop yang diperoleh dari hasil pengujian.

Kolom yang diretrofit menunjukkan perubahan pola kerusakan dari rusak geser menjadi rusak lentur. Kapasitas beban lateral kolom yang diperbaiki meningkat 54,021 % dan kapasitas beban lateral kolom yang diperkuat meningkat 75,566 % dibanding kolom asli. Daktilitas kolom yang diperbaiki meningkat sebesar 43,68 % sedangkan daktilitas kolom yang diperkuat bertambah sebesar 22,25 % dibanding kolom asli. Pada saat beban lateral maksimum tercapai kolom yang diperbaiki menunjukkan disipasi energi 3,71 kali lebih besar dari kolom asli sedangkan kolom yang diperkuat memiliki disipasi energi 2,49 kali lebih besar dari kolom asli.

Kata kunci: retrofit, carbon fiber jacket, kapasitas beban lateral, disipasi energi, daktilitas

1. PENDAHULUAN

Kerusakan pada struktur bangunan akibat gempa bumi dapat bervariasi mulai dari kerusakan ringan sampai dengan kerusakan berat. Keruntuhan kolom merupakan keruntuhan yang berbahaya karena dapat mengakibatkan runtuhnya seluruh struktur bangunan. Kerusakan kolom akibat gempa dapat berupa kerusakan geser, kerusakan pada daerah sendi plastis akibat pengekangan yang kurang memadai dan kerusakan pada daerah sambungan lewatan tulangan [4]. Dari beberapa tipe kerusakan kolom, kerusakan geser dipandang sebagai kerusakan yang paling berbahaya karena dapat mengakibatkan keruntuhan struktur secara tiba-tiba [4].

Struktur yang mengalami tingkat kerusakan sedang masih dapat diperbaiki dengan beberapa metode [7]. Perbaikan dan perkuatan merupakan konsep retrofit untuk meningkatkan kekuatan dan daktilitas struktur. Perbaikan dilakukan pada struktur yang telah mengalami kerusakan sehingga struktur dapat memiliki kekuatan dan

daktilitas yang lebih tinggi sehingga dapat menunjukkan kinerja yang lebih baik bila kembali mengalami gempa di masa mendatang. Perkuatan dilakukan pada struktur yang didesain dengan peraturan lama tapi kekuatannya tidak lagi mencukupi bila mengacu pada peraturan yang berlaku saat ini atau pada struktur yang akan memikul beban yang lebih besar dari beban semula yang direncanakan.

Dalam perencanaan gempa deformasi inelastis struktur biasanya dihitung dengan menggunakan parameter daktilitas dan kapasitas disipasi energi [3]. Dalam penelitian ini digunakan metode retrofit dengan carbon fiber jacket untuk meningkatkan kapasitas beban lateral, disipasi energi dan daktilitas kolom.

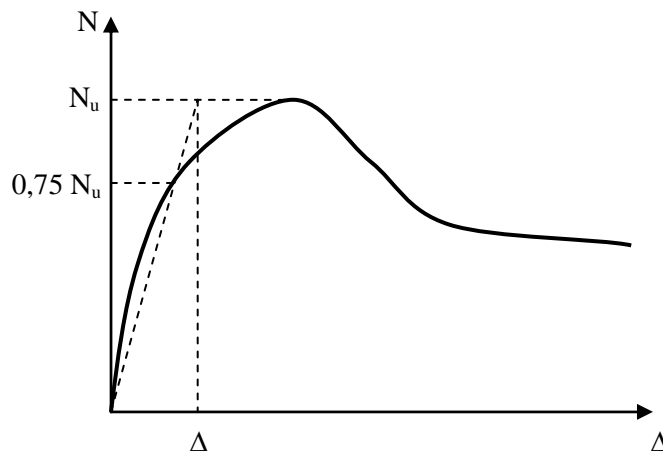
2. LANDASAN TEORI

Daktilitas Kolom

Daktilitas adalah kemampuan struktur untuk tidak mengalami keruntuhan secara tiba-tiba (getas) tetapi masih mampu mengalami deformasi yang cukup besar pada saat beban maksimum tercapai sebelum struktur tersebut mengalami keruntuhan. Daktilitas dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara defleksi saat kondisi ultimit dan defleksi saat luluh pertama [7] seperti persamaan berikut:

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \dots\dots\dots (1)$$

Nilai defleksi saat luluh pertama (Δ_y) dapat diperoleh dengan aturan $\frac{3}{4}$ [1] seperti pada gambar 1.



Gambar 1 Penentuan nilai Δ_y

Disipasi Energi

Kapasitas disipasi energi merupakan parameter yang penting untuk struktur yang direncanakan dengan beban gempa dengan periode ulang yang lama [3]. Pada struktur yang mendapat beban lateral siklik nilai disipasi energi untuk satu siklus (E_i) dapat dihitung dari luas area hysteresis loop seperti pada gambar 2. Disipasi energi total diperoleh dengan persamaan berikut:

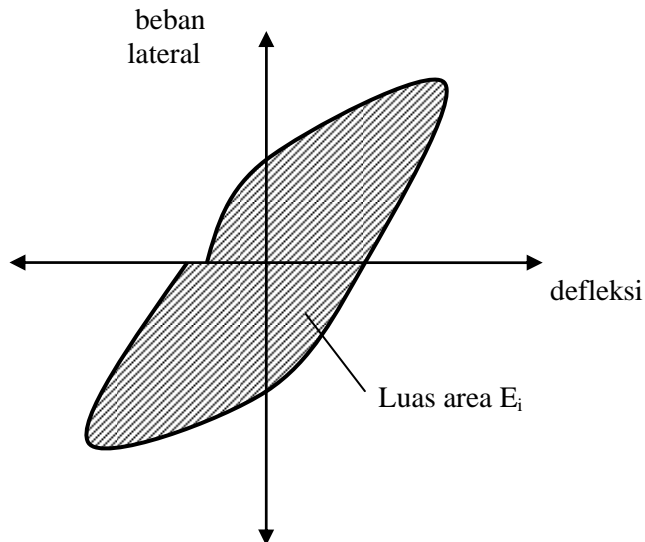
$$E_{total} = \sum_{i=1}^n E_i \dots\dots\dots (2)$$

ket.: n adalah jumlah siklus selama pengujian

Untuk tujuan perbandingan nilai disipasi energi total dapat dinormalisasi dengan persamaan berikut:

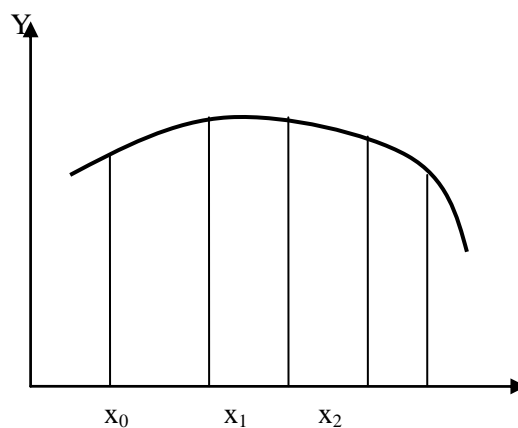
$$E_N = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{H_{maks} \Delta_y} \dots\dots\dots(3)$$

ket.: E_N adalah disipasi energi yang dinormalisasi dan H_{maks} adalah beban lateral maksimum.



Gambar 2 Penentuan nilai disipasi energi

Luas area hysteresis loop dapat dihitung secara pendekatan dengan aturan trapesium dengan banyak pias [5] seperti pada gambar 3.



Gambar 3 Aturan trapesium dengan banyak pias

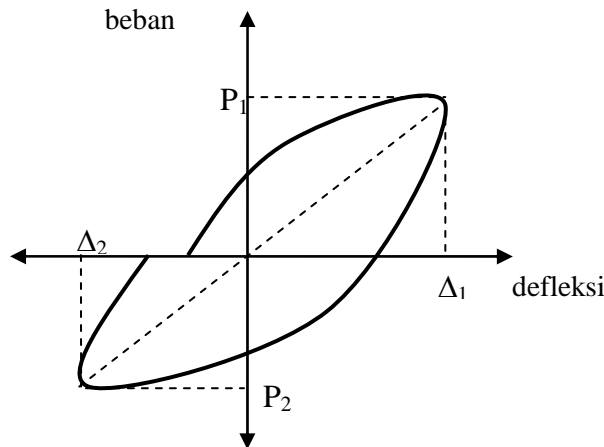
Luas area (A) dihitung dengan persamaan berikut:

$$A = \sum_{i=1}^n \Delta x_i \frac{f(x_i) + f(x_{i-1})}{2} \dots\dots\dots(4)$$

Kekakuan

Untuk struktur yang mengalami beban siklik kekakuan ditetapkan sebagai kemiringan garis yang menghubungkan puncak-puncak beban maksimum arah positif dan negatif dari kurva beban dan defleksi [6] seperti pada gambar 4 dan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$K = \frac{P_1 + P_2}{\Delta_1 + \Delta_2} \dots\dots\dots(5)$$



Gambar 4. Penentuan nilai kekakuan

3. CARA PENELITIAN

Benda Uji Kolom

Benda uji kolom dibuat sebanyak 4 buah dengan kode KA-1, KA-2, KS-1 dan KS-2. Benda uji KA-1 dan KA-2 setelah diuji dan diperbaiki kemudian diberi kode KR-1 dan KR-2. Benda uji KA-1 dan KA-2 diperkirakan akan mengalami kerusakan geser sedangkan KR-1, KR-2, KS-1 dan KS-2 akan mengalami kerusakan lentur. Semua benda uji kolom memiliki penampang persegi dengan dimensi 160 mm x 160 mm, tinggi 500 mm diberi tulangan longitudinal 8 Ø 12 mm dan sengkang Ø 4 – 160 mm. Benda uji merupakan model dari kolom suatu bangunan yang memiliki titik belok momen lentur tepat di tengah tinggi kolom.

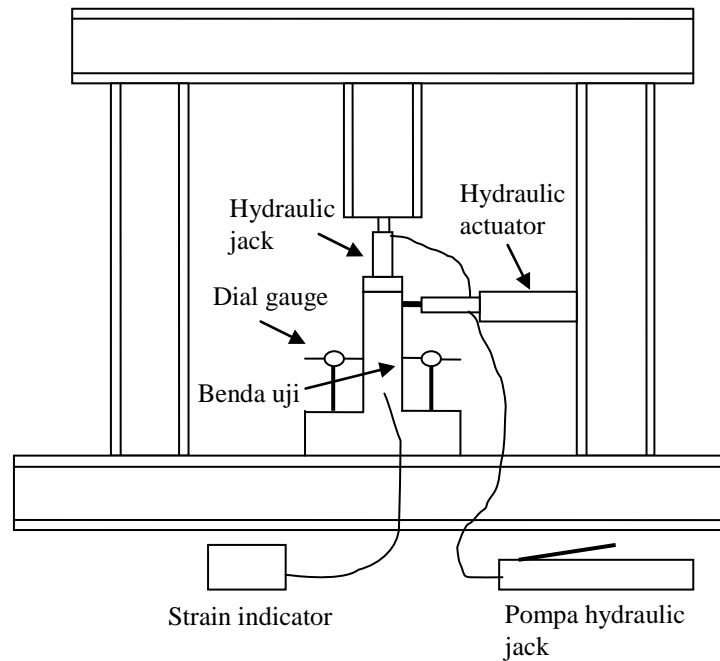
Pengujian Kolom

Benda uji KA-1 dan KA-2 diberikan beban lateral siklik dengan hydraulic actuator berkapasitas 10 Ton dan beban aksial tekan konstan sebesar 10,5 Ton ($0,15 f'_c A_g$) menggunakan hydraulic jack. Setup pengujian dapat dilihat pada gambar 5.

Pengujian dilakukan dalam 2 tahap yaitu load controlled dan displacement controlled. Tahap displacement controlled dilakukan dengan kelipatan defleksi $0,5 \Delta_y$. Dalam setiap siklus dilakukan 2 kali putaran pembebanan dengan displacement ductility factor 1; 1,5; 2; 2,5; 3 dst [2]. Pembebanan dihentikan setelah kapasitas beban lateral terlampaui.

Benda uji KA-1 dan KA-2 setelah selesai diuji dan dalam kondisi rusak kemudian dilakukan perbaikan dengan carbon fiber jacket. Sedangkan benda uji KS-1 dan KS-2 yang masih dalam keadaan utuh langsung dibungkus dengan carbon fiber jacket.

Benda uji yang sudah diretrofit ini kemudian diuji lagi dengan cara yang sama seperti pada pengujian sebelumnya.

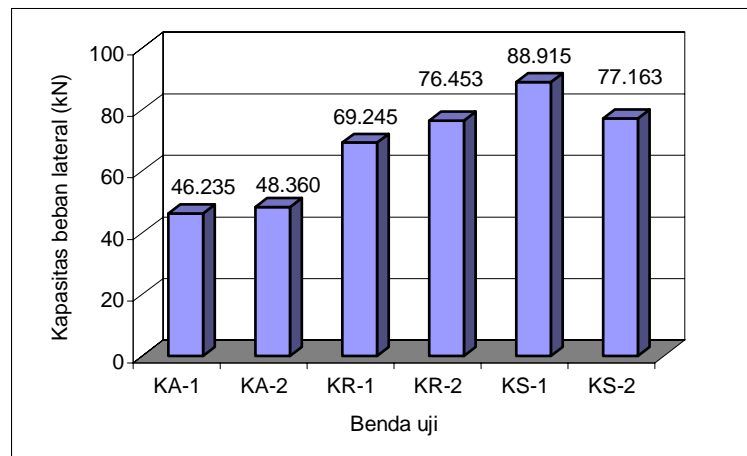


Gambar 5 Setup pengujian kolom

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kapasitas Beban Lateral

Kapasitas beban lateral dari hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 6.

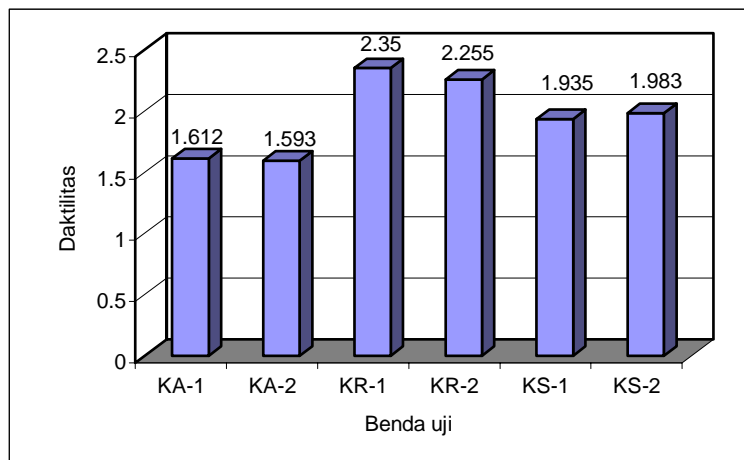


Gambar 6 Kapasitas beban lateral

Benda uji KA-1 dan KA-2 mengalami rusak geser dan setelah diperbaiki (KR-1 dan KR-2) pola kerusakannya berubah menjadi rusak lentur. Setelah diperbaiki benda uji KR-1 dan KR-2 menunjukkan kenaikan beban lateral rerata 54,021 % dibanding kolom asli KA-1 dan KA-2. Sedangkan kolom perkuatan KS-1 dan KS-2 memiliki kapasitas beban lateral lebih besar rerata 75,566 % dibanding kolom asli KA-1 dan KA-2.

Daktilitas

Hasil pengujian menunjukkan kolom yang diperbaiki dan diperkuat memiliki daktilitas yang lebih besar dibanding kolom asli seperti terlihat pada gambar 7.

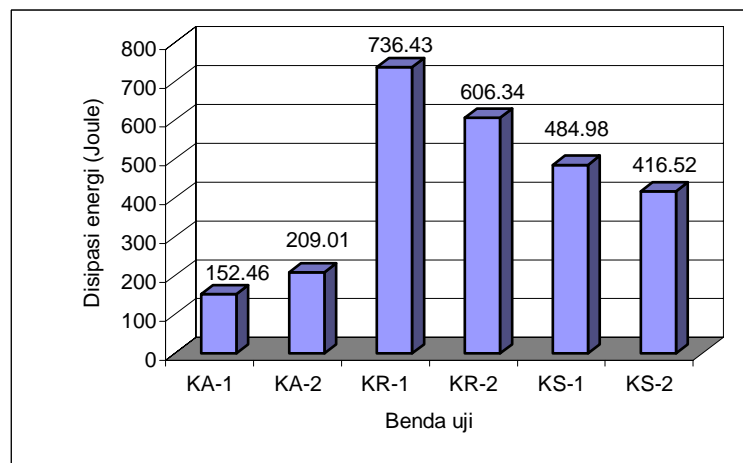


Gambar 7 Daktilitas kolom

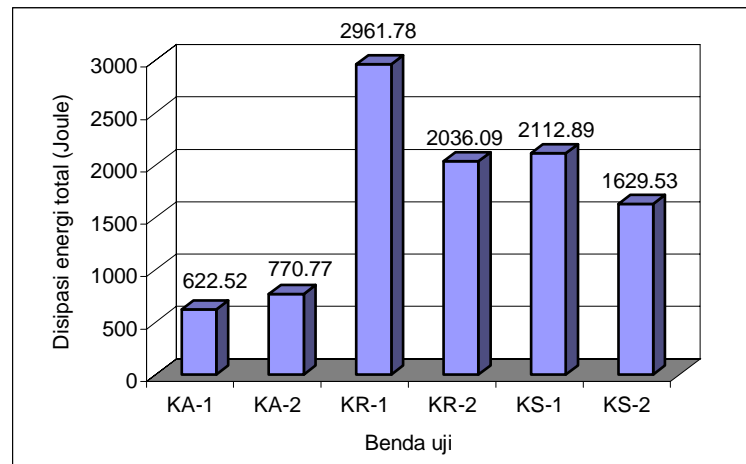
Kolom yang diperbaiki KR-1 dan KR-2 menunjukkan peningkatan daktilitas rerata sebesar 43,68 % dibanding kolom asli sedangkan kolom yang diperkuat KS-1 dan KS-2 memiliki daktilitas yang lebih besar rerata 22,25 % dibanding kolom asli. Kolom yang diperkuat KS-1 dan KS-2 memiliki daktilitas yang lebih kecil dibanding kolom yang diperbaiki KR-1 dan KR-2 karena kekakuan kolom perkuatan lebih besar dibanding kolom yang diperbaiki.

Disipasi Energi dan Kekakuan Kolom

Besarnya disipasi energi pada saat kapasitas beban lateral tercapai dapat dilihat pada gambar 8. Sedangkan gambar 9 menunjukkan nilai disipasi energi total (dihitung dari semua siklus).



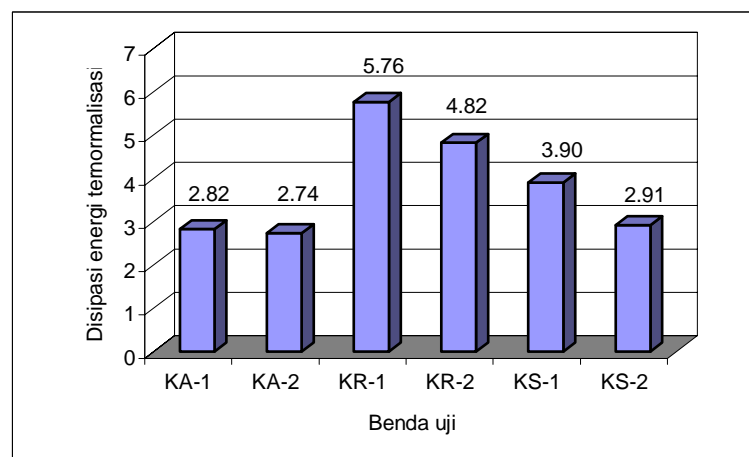
Gambar 8 Disipasi energi saat kapasitas beban lateral



Gambar 9 Disipasi energi total

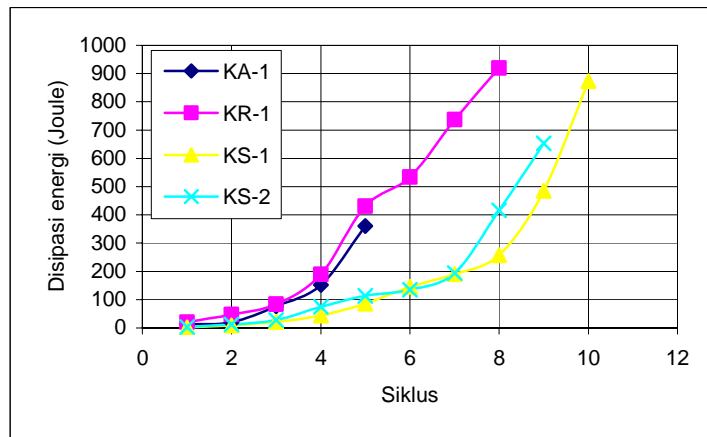
Pada saat beban lateral maksimum tercapai kolom yang diperbaiki KR-1 dan KR-2 memiliki disipasi energi rerata 3,71 kali lebih besar dari kolom asli KA-1 dan KA-2. Kolom perkuatan KS-1 dan KS-2 memperlihatkan disipasi energi rerata 2,49 kali lebih besar dari kolom asli. Bila dihitung nilai disipasi energi total dari semua siklus terlihat benda uji KR-1 dan KR-2 memiliki disipasi energi 3,59 kali lebih besar dibanding KA-1 dan KA-2 sedangkan benda uji KS-1 dan KS-2 menunjukkan disipasi energi 2,69 kali lebih besar dari KA-1 dan KA-2. Hasil pengujian menunjukkan rerata disipasi energi dari kolom perkuatan lebih kecil dibanding kolom yang diperbaiki karena kolom perkuatan memiliki kekakuan yang lebih besar.

Bila nilai disipasi energi total dinormalisasi maka akan diperoleh hasil seperti pada gambar 10 yang juga memperlihatkan benda uji KR-1 dan KR-2 memiliki disipasi energi yang paling besar. Kolom KS-1 dan KS-2 terlihat memiliki disipasi energi lebih kecil dibanding kolom yang diperbaiki tapi masih lebih besar dibanding kolom asli KA-1 dan KA-2.

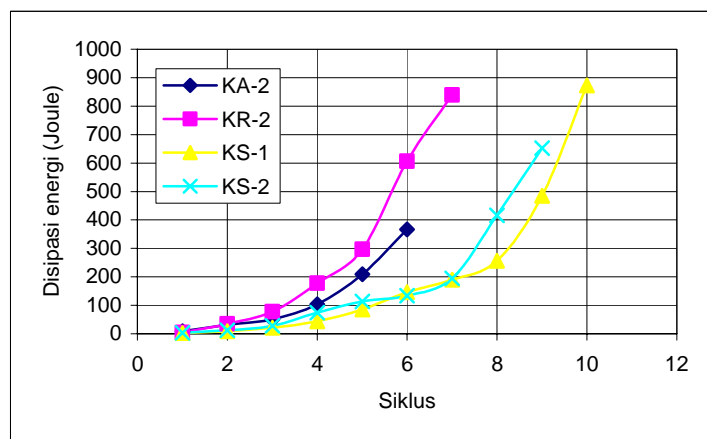


Gambar 10 Disipasi energi total yang dinormalisasi

Gambar 11 dan gambar 12 memperlihatkan peningkatan nilai disipasi energi pada setiap siklus pengujian. Pengujian dihentikan pada 1 siklus setelah kapasitas beban lateral tercapai.

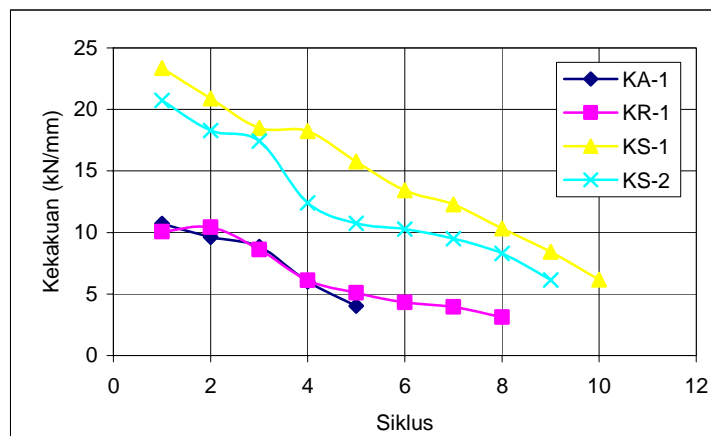


Gambar 11 Kenaikan disipasi energi KA-1, KR-1, KS-1 dan KS-2

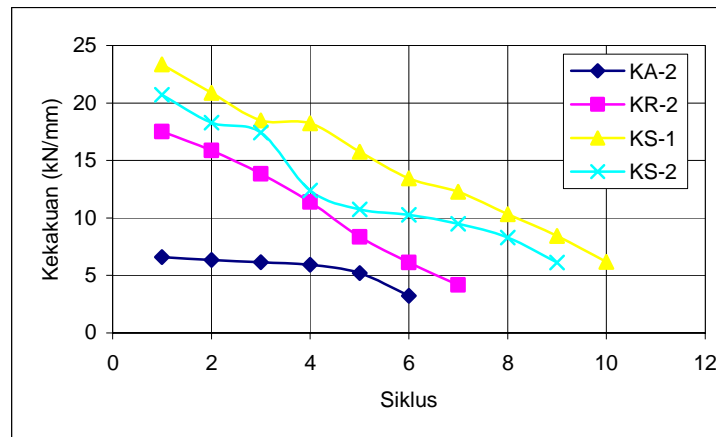


Gambar 12 Kenaikan disipasi energi KA-2, KR-2, KS-1 dan KS-2

Kolom KR-1 dan KR-2 terlihat memiliki disipasi energi yang lebih besar dibanding kolom KA-1 dan KA-2 untuk setiap siklus yang sama. Hasil ini memperlihatkan kolom yang sudah rusak kemudian diperbaiki dengan carbon fiber jacket memiliki kemampuan memencarkan energi yang lebih besar dibanding kolom asli. Pada siklus yang sama kolom perkuatan KS-1 dan KS-2 menunjukkan disipasi energi yang lebih kecil dibanding kolom asli dan kolom yang diperbaiki karena kekakuan kolom perkuatan yang besar seperti yang dapat dilihat pada gambar 13 dan 14.



Gambar 13 Penurunan kekakuan KA-1, KR-1, KS-1 dan KS-2



Gambar 14 Penurunan kekakuan KA-2, KR-2, KS-1 dan KS-2

Pada awal pengujian kolom KS-1 dan KS-2 memiliki kekakuan sekitar 2,54 kali dari kolom asli dan 1,6 kali dari kolom yang diperbaiki. Namun disipasi energi saat kapasitas beban lateral tercapai dan disipasi energi total dari kolom perkuatan tetap lebih besar dari kolom asli.

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kolom yang diperbaiki dan diperkuat menunjukkan perubahan pola kerusakan dari rusak geser menjadi rusak lentur.
2. Kolom yang diperbaiki menunjukkan kenaikan kapasitas beban lateral rerata 54,021 % dibanding kolom asli. Sedangkan kolom perkuatan memiliki kapasitas beban lateral lebih besar rerata 75,566 % dibanding kolom asli.
3. Daktilitas kolom yang diperbaiki memperlihatkan peningkatan sebesar 43,68 % sedangkan kolom yang diperkuat memiliki daktilitas 22,25 % lebih besar dibanding kolom asli.
4. Saat kapasitas beban lateral tercapai kolom yang diperbaiki memiliki disipasi energi 3,71 kali lebih besar dari kolom asli dan kolom yang diperkuat memiliki disipasi energi 2,49 kali lebih besar dari kolom asli. Disipasi energi total kolom yang diperbaiki 3,59 kali lebih besar dari kolom asli dan kolom yang diperkuat memiliki disipasi energi total 2,69 kali lebih besar dari kolom asli.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Foster, SJ and Attard, MM. (1997), Experimental tests on eccentrically loaded high-strength concrete columns, *ACI Structural Journal*, May-June, pp 295-303.
2. Jiuru, T, Chaobin, H, Kaijian, Y and Yongcheng, Y. (1992), Seismic behavior and shear strength of framed joint using steel-fiber reinforced concrete, *ASCE Journal*, pp 341-358.
3. Legeron, F and Paultre, P. (2000), Behavior of high-strength concrete columns under cyclic flexure and constant axial load, *ACI Structural Journal*, July-August, pp 591-601.

4. Seible, F, Priestley, MJN, Hegemier, GA and Innamorato, D. (1997), Seismic retrofit of RC columns with continuous carbon fiber jackets, *Journal of Composites for Construction*, May, pp 52 – 62.
5. Triatmodjo, B. (1996), *Metode numerik*, edisi revisi, Yogyakarta, Beta Offset.
6. Tsonos, AG. (1999), Lateral load respons of strengthened reinforced concrete beam-columns joints, *ACI Structural Journal*, January-February, pp 46-56.
7. Williams, MS, Villemure, I and Sexsmith, RG. (1997), Evaluation of seismic damage indices for concrete elements loaded in combined shear and flexure, *ACI Structural Journal*, May-June, pp 315-322.