

Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Metode *Jacketing* dengan Bahan Ferosemen Akibat Beban Siklik pada Beban Ultimit

(Retrofitting of Reinforced Concrete Beam by Using Ferrocement Jacketing Method due to Cyclic Loading on Ultimate Load)

BAGUS SOEBANDONO, ANDREAS TRIWIYONO, MUSLIKH

ABSTRACT

A large number of buildings construction was made of reinforced concrete structure, composed of concrete and steel. The reinforced concrete structure elements could experience damage due to earthquake, from light to heavy failure, such as heavy bending-shear crack near the beam column joint. It is necessary, therefore, to repair the structure adopted good method and workability. The specimens were part of exterior beam-column joint model. Cyclic lateral load was applied to simulate earthquake load. This research used 3 specimens: US-1, the shear damage specimen as the result of first-step loaded test, then are repaired by using 1 layer rectangular galvanized welded wire mesh became R-US.1. US-2, the shear damage specimen as the result of first-step loaded test, then are repaired by using 2 layers rectangular galvanized welded wire mesh became R-US.2. UBB, the bending damage specimen as the result of first-step loaded test, then are repaired by using 2 layers rectangular galvanized welded wire mesh became R-UBB. The result showed that the retrofitted on ultimate load by using jacketing ferrocement increased the ultimate strength capacity of 91,667%(US-1 to R-US.1), 81,818%(US-2 to R.US.2) and 28,571%(UBB to R-UBB) respectively. Increasing the hysteretic energy were 215, 66%(US-1 to R-US.1), 273,11%(US-2 to R.US-2) and 389, 84%(UBB to R-UBB). The ductility of retrofitted specimen 6,64(R-US.1) and 12,72(R-US.2). The initial stiffness of retrofitted specimens decreased 60%(US-1 to R-US.1), 40%(US-2 to R-US.2) and 18%(UBB to R-UBB).

Keywords: shear strength, cyclic load, retrofit

PENDAHULUAN

Struktur beton bertulang banyak digunakan pada berbagai konstruksi bangunan, yang terdiri dari gabungan bahan jenis beton dan baja tulangan. Komponen beton bertulang dapat mengalami suatu kegagalan fungsi dimana struktur tersebut tidak mampu lagi menahan beban yang bekerja disebabkan karena kejadian alam, misalnya gempa bumi. Dampak dari kejadian alam tersebut bervariasi dari kategori rusak ringan, sedang, berat dan runtuh. Dengan kerusakan tersebut maka perlu upaya perbaikan struktur beton bertulang tersebut dengan metode perbaikan yang baik dan mudah dikerjakan dilapangan.

Dalam praktek telah berkembang bentuk beton bertulang tipis yang berbeda dari beton bertulang biasa atau beton pratekan, terutama dari bahan dan cara pemasangan tulangnya yaitu ferosemen. Ferosemen mempunyai beberapa keuntungan

utama, diantaranya adalah kemudahan dalam pengerjaan karena tekniknya tidak banyak berbeda dengan teknik bangunan biasa (mortar dan beton), bahan mudah didapat, volume bahan yang digunakan relatif sedikit. Dengan keuntungan tersebut maka ferosemen dapat dimanfaatkan menjadi metode perbaikan struktur.

Dalam penelitian perbaikan metode *jacketing* bahan ferosemen ini diteliti tentang balok eksterior dengan beban siklik sampai tingkat kerusakan pada beban ultimit. Benda uji tersebut kemudian diperbaiki (*retrofitting*) dengan metode *jacketing* ferosemen. Benda uji yang dipergunakan adalah struktur sambungan balok kolom eksterior berpenampang persegi. Tumpuan jepit pada masing-masing kolom dengan pembebanan lateral bolak-balik (siklik) pada balok

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kenaikan beban ultimit sebelum dan setelah perbaikan (*retrofitting*), serta mengetahui perilaku

setelah perbaikan (*retrofitting*), yaitu meliputi hubungan beban – lendutan, *envelope curve*, *hysteresis energy*, model keruntuhan, kekakuan (*stiffness*), daktilitas dan pola retak.

Penelitian tentang perbaikan struktur telah banyak dilakukan. Metode perbaikan yang dilakukan pada kerusakan struktur beton bertujuan untuk meningkatkan kapasitas beban yang biasanya dengan menambah tulangan atau bahan lainnya. Perkuatan dapat menggunakan bahan-bahan antara lain *wire mesh* atau besi tulangan yang ditambahkan pada area keruntuhan dan ditempelkan pada beton lama dengan *shotcrete*, penambahan struktur plat baja dan *external post-tensioning* (Poston, 1997).

Sulendra (2000) melakukan penelitian dengan metode penyelubung beton (*concrete jacketing method*) dan penambahan tulangan lentur pada balok yang mengalami kerusakan lentur. Perbaikan struktur beton menggunakan metode penyelubung beton ini dilaksanakan dengan menyelubungi struktur asli dengan beton dan menambahkan tulangan longitudinal dan tulangan transversal yang jumlahnya ditentukan sesuai dengan gaya-gaya yang terjadi pada struktur yang diakibatkan oleh gempa. Sebelum beton penyelubung dicor terhadap struktur aslinya, permukaan struktur tersebut dikasarkas sedalam 2-3 mm. Hal ini diperlukan untuk memberikan rekatan yang cukup antara beton lama dengan beton baru. Hasilnya penelitian menunjukkan kapasitas beban lateral, kekuatan, kekakuan, daktilitas, dan disipasi energinya meningkat.

Triwiyono dkk. (2006) meneliti tentang kuat geser kolom beton bertulang penampang lingkaran yang diperbaiki dengan metode *concrete jacketing*. Hasil studi menunjukkan bahwa rumus teoritis untuk menghitung kuat geser kolom asli dan *retrofit* mempunyai nilai berkisar 75% terhadap hasil eksperimen, sehingga masih bisa diterapkan untuk memprediksi kuat geser kolom baik asli maupun *retrofit*. Dari hasil eksperimen didapatkan bahwa perbaikan dengan metode *concrete jacketing* cukup efektif, kekuatan kolom dalam menahan beban lateral meningkat menjadi dua kali dibandingkan kolom asli. Dari kurva histeresis dan pola kerusakannya, kolom *retrofit* dapat mempertahankan kemampuan menahan beban lateral meskipun selimut beton sudah mengalami spalling, kekuatan lateral kolom *retrofit* tidak menurun secara mendadak, dengan tingkat daktilitas menjadi sekitar dua kalinya.

Gaya Geser

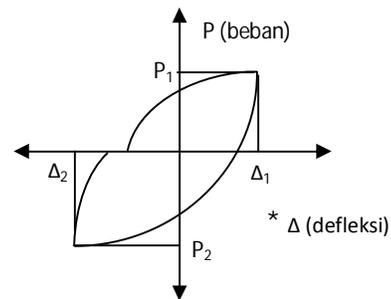
Gaya geser adalah gaya yang arahnya terletak pada bidang penampang struktur (tegak lurus dengan sumbu aksial struktur). Setiap struktur memiliki suatu kapasitas geser tertentu. Apabila gaya geser

yang terjadi melebihi kapasitas geser struktur, maka struktur akan mengalami kerusakan geser.

Kekakuan

Kekakuan didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan untuk memperoleh satu unit *displacement*.

$$\text{Kekakuan, } k = \frac{P_1 + P_2}{\Delta_1 + \Delta_2}$$



GAMBAR 1. Peak-to-peak stiffness

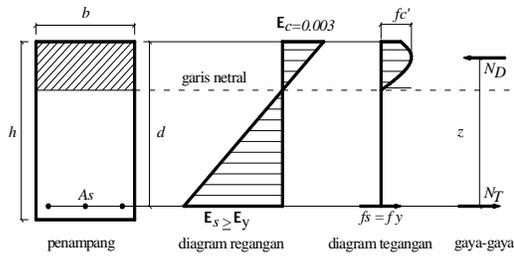
Daktilitas

Menurut SNI-1726-2002, daktilitas adalah kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa. Faktor daktilitas, μ adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan, δ_m dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama, δ_y di dalam struktur gedung.

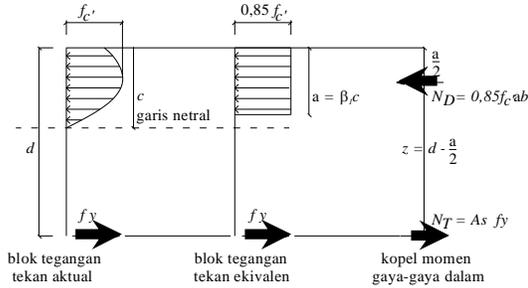
$$\mu = \frac{\delta_m}{\delta_y}$$

Analisis Kapasitas Batas

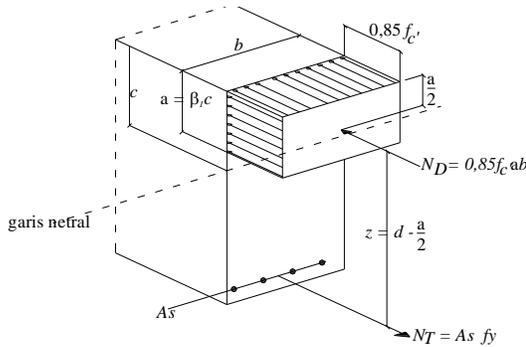
Balok yang menerima beban lentur, pada saat yang sama juga menahan gaya geser akibat lenturan. Gaya-gaya yang terjadi pada penampang balok yang terlentur dapat dilihat pada Gambar 2.



GAMBAR 2. Gaya-gaya dalam balok



GAMBAR 3. Blok tegangan persegi ekuivalen



GAMBAR 4. Model perspektif blok tegangan persegi ekuivalen

Kedalaman blok tekan, a:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b}$$

dengan:

- A_s : luas penampang tulangan lentur
- b : lebar balok
- f_y : kuat leleh baja tulangan geser (dalam MPa)
- f'_c : kuat tekan beton

Lengan momen gaya-gaya dalam, z:
 $z = d - a/2$

Kuat momen nominal balok, M_n :
 $M_n = A_s f_y z$

Kuat momen rencana, M_r :

$$M_r = \phi M_n$$

dimana untuk koefisien reduksi lentur,
 $\phi = 0,8$

Tegangan geser rencana:

$$v_u = \frac{V_u}{\phi b_w d}$$

dengan:

V_u : tegangan geser rencana rata-rata total

V_u : gaya geser rencana total karena beban luar

ϕ : faktor reduksi kuat bahan (untuk geser, $\phi = 0,75$)

b_w : lebar balok

d : tinggi efektif balok

Kapasitas geser dan lentur dari beton, baja, serta kapasitas nominal struktur dalam SNI 03-2847-2002 dirumuskan sebagai berikut :

Kapasitas kemampuan beton (tanpa penulangan geser) untuk menahan gaya geser:

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \right) b_w d$$

atau menggunakan persamaan yang lebih terinci sebagai berikut:

$$V_c = \frac{1}{7} \left(\sqrt{f'_c} + 120 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d$$

dengan:

M_u : momen terfaktor yang terjadi bersamaan dengan gaya geser terfaktor maksimum V_u pada penampang kritis

Batas atas faktor pengali dan V_c adalah sebagai berikut :

$$\frac{V_u d}{M_u} \leq 1,0$$

$$V_c \leq (0,30 \sqrt{f'_c}) b_w d$$

Dalam persamaan tersebut, satuan f'_c dalam MPa, b_w dan d dalam mm, dan satuan V_c dalam kN.

Kuat geser nominal yang dapat disediakan oleh tulangan geser, V_s :

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$$

dengan:

A_v : luas penampang tulangan geser total dengan jarak spasi antar tulangan s , untuk sengkang keliling tunggal $A_v = 2 A_s$,

A_s : luas penampang batang tulangan sengkang,

s : jarak pusat ke pusat batang tulangan geser ke arah sejajar tulangan pokok memanjang.

Kapasitas geser nominal struktur, V_n :

$$V_n = V_c + V_s$$

Tulangan geser minimum :

$$A_v = \frac{1}{3} \frac{b_w s}{f_y}$$

Momen retak :

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

dengan:

f_r : modulus keruntuhan lentur beton

I_g : momen inersia penampang bruto beton terhadap garis sumbuanya dengan mengabaikan tulangan

y_t : jarak dari sumbu pusat penampang bruto, dengan mengabaikan tulangan, ke serat tarik terluar

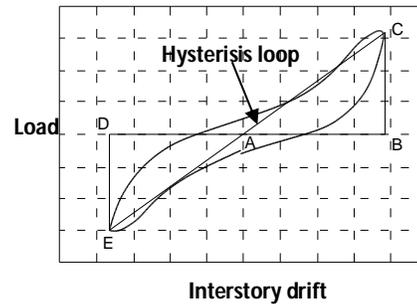
Untuk mencari modulus keruntuhan lentur beton, f_r , untuk beton normal, SNI 03-2847-2002 menggunakan rumus:

$$f_r = 0,7 \sqrt{f'_c}$$

Hysteretic Loop & Hysteresis Energy

Kurva *hysteretic loop* yang dihasilkan dari pengujian dengan pembebanan bolak-balik merupakan hubungan antara beban (*load*) dan simpangan (*displacement*). Hubungan ini menunjukkan kapasitas dan perilaku struktur dalam menerima dan menahan beban pada tiap siklusnya. Semakin datar *hysteretic loop* yang terjadi pada tiap siklus menunjukkan semakin rendahnya kekakuan geser yang terjadi akibat beban luar. Selain itu dari kurva *hysteretic loops* dapat diketahui kandungan energi yang diserap maupun yang lepas oleh masing-masing struktur pada setiap siklusnya.

Energi *Hysteresis* merupakan luasan total dari kurva tertutup (bentuk daun) pada *hysteretic loops* yang diambil pada setiap siklusnya.



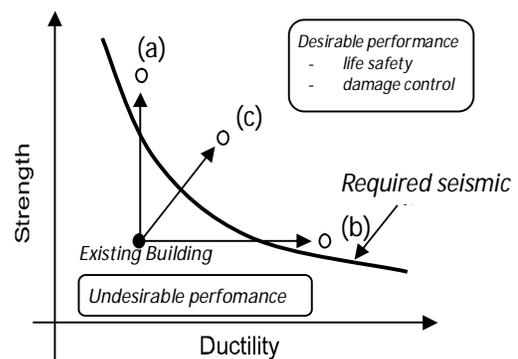
GAMBAR 5. *Hysteretic Loop*

Perbaikan Struktur

Kekuatan lateral dan daktilitas merupakan faktor yang paling esensial diantara respon gempa lainnya dari suatu bangunan. Dalam perancangan gedung, ada dua hal yang berkaitan dengan kapasitas struktur dalam menahan beban gempa, yaitu kekuatan dan daktilitas. Untuk penanganan gedung yang sudah rusak dapat diterapkan 3 (tiga) alternatif sebagai berikut:

- a. memperbaiki kuat ultimit dari keseluruhan gedung,
- b. meningkatkan daktilitas,
- c. gabungan antara a dan b.

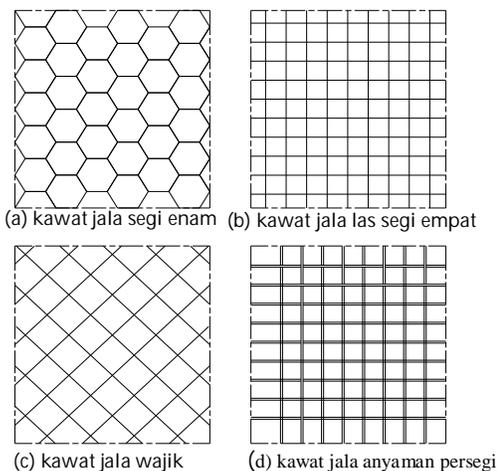
Konsep-konsep ini digambarkan secara sistematis pada Gambar 6, konsep a dan b adalah kondisi minimum yang harus dicapai, sedangkan konsep c adalah suatu kombinasi untuk mencapai kekuatan dan daktilitas yang lebih tinggi.



GAMBAR 6. Konsep dasar *retrofitting* (Triwiyono, 2000)

Ferosemen

Pama & Paul (1978, dalam Hartono, 1997) mengemukakan bahwa ferosemen mempunyai keuntungan khusus sebagai bahan struktur karena sifat mekanika seperti kuat tarik, lentur, geser dan daya tahan terhadap retak yang lebih besar dibandingkan dengan beton biasa. Distribusi yang seragam dengan tingginya rasio luas permukaan dibandingkan volume menjadikan ferosemen mampu menahan retak lebih baik. Secara umum kawat jala tersebut digolongkan dalam bentuk seperti kawat jala segi enam, segi empat, wajik, dan anyaman persegi, seperti terlihat pada Gambar 7.



GAMBAR 7. Berbagai macam tipe kawat jala

METODE PENELITIAN

Material Penelitian

1. Beton *ready mix* dengan mutu sebesar $f_c' = 20$ MPa yang diproduksi oleh PT. Jaya ReadyMix,
 2. Baja tulangan polos dengan diameter 4,8,10 sebagai sengkang dan tulangan ulir diameter 16 dan 19 sebagai tulangan pokok.
 3. Kawat jala las segi empat dengan jenis *galvanized welded wire mesh*, gauge: *BWG 22 G x 1/2"*, size *0,9 x 25 m*).
 4. *Bonding Agent* (*Nitobond EC* dan *Conbextra EP10 TG*) produksi dari PT. FOSROC Indonesia yang merupakan bahan untuk menutup dan menginjeksi retak pada balok beton bertulang yang
- terdiri dari 2 komponen *base* dan *hardener*.
5. Semen *grouting* (*Renderoc RG*), merupakan bahan grouting yang memiliki sifat *self compacting* sehingga memudahkan pengecoran pada area yang sempit. *Renderoc RG* produksi dari PT. FOSROC Indonesia dengan kemasan seberat 25 Kg per zak.

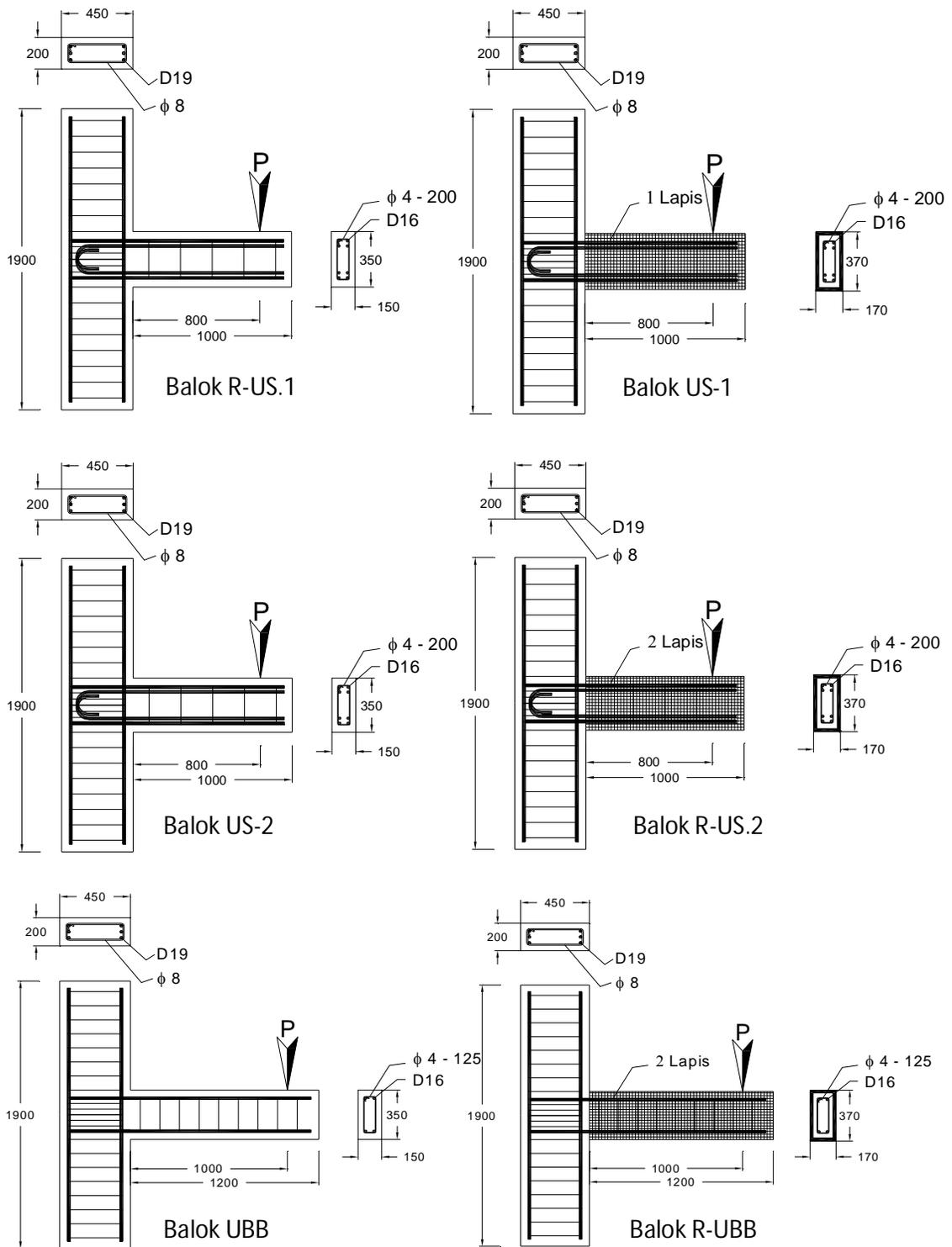
Peralatan Penelitian

Alat-alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Universal Testing Machine* (UTM). Peralatan ini digunakan untuk pengujian tarik tulangan baja. Merk : *HOYTOM*, seri : TN, MD 200/02 M2475, Kapasitas 200 kN, maksimum panjang tarikan : 125 mm.
2. *Compression Testing Machine* (CTM), mesin uji tekan silinder beton. Merk : *CONTROLS*, seri : 00051847, kapasitas : 2000 kN, perpanjangan : 50 mm.
3. *Pallet-truck*, dipakai untuk memindahkan benda uji dari luar ke dalam ruangan pengujian.
4. *Crane*, digunakan untuk memindahkan benda uji antar lokasi di dalam ruangan pengujian.
5. Rangka baja (*loading frame*) dari profil baja IWF 200 x 450 mm ini digunakan untuk tumpuan benda uji dan *hydraulic actuator* pada saat pengujian.
6. *Multi Purpose Testing System* (MTS), terdiri dari *hydraulic actuator* dan *micro console control*, digunakan untuk mensimulasi beban gempa (bolak-balik).
7. *Hydraulic jack*, berfungsi untuk memberikan beban aksial tekan pada ujung kolom sebagai simulasi dari beban gravitasi.
8. Alat pengukur lendutan (*dial gauge*).
9. *Micro crack meter*
10. *Injection equipment*, digunakan untuk menginjeksi bahan grout *conbextra EP 10 TG* ke dalam celah-celah retak pada benda uji.

Cara Penelitian

1. Pembuatan benda uji dengan dimensi dan penampang seperti pada Gambar 8.



GAMBAR 8. Dimensi dan penampang benda uji US-1, R-US.1, US-2, R-US.2, UBB, R-UBB

2. Perbaikan benda uji (*retrofit*)

Perbaikan pada benda uji US-1 akan menggunakan 1 lapis kawat jala las segiempat menjadi benda uji R-US.1, benda uji US-2 menggunakan 2 lapis kawat jala las segiempat menjadi R-US.2 dan benda uji UBB diperbaiki dengan 2 lapis kawat jala las segiempat menjadi R-UBB.

Langkah-langkah perbaikan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. *Injeksi epoxy*.
- b. Pengelupasan selimut beton.
- c. Penyelubungan kawat jala las segiempat.

3. *Set up* benda uji *retrofit*

Setting up benda uji dapat dilihat pada Gambar 9. Perubahan benda uji setelah *retrofit* dari US-1 menjadi R-US.1, US-2 menjadi R-US.2 dan UBB menjadi R-UBB akan dilakukan pengujian setelah diperbaiki dengan *set-up* sama dengan pengujian awal. Pengujian akan dilakukan sampai mencapai

beban luluh. Keruntuhan diidentifikasi dimana beban telah mengalami penurunan sampai 15% dari beban puncak.

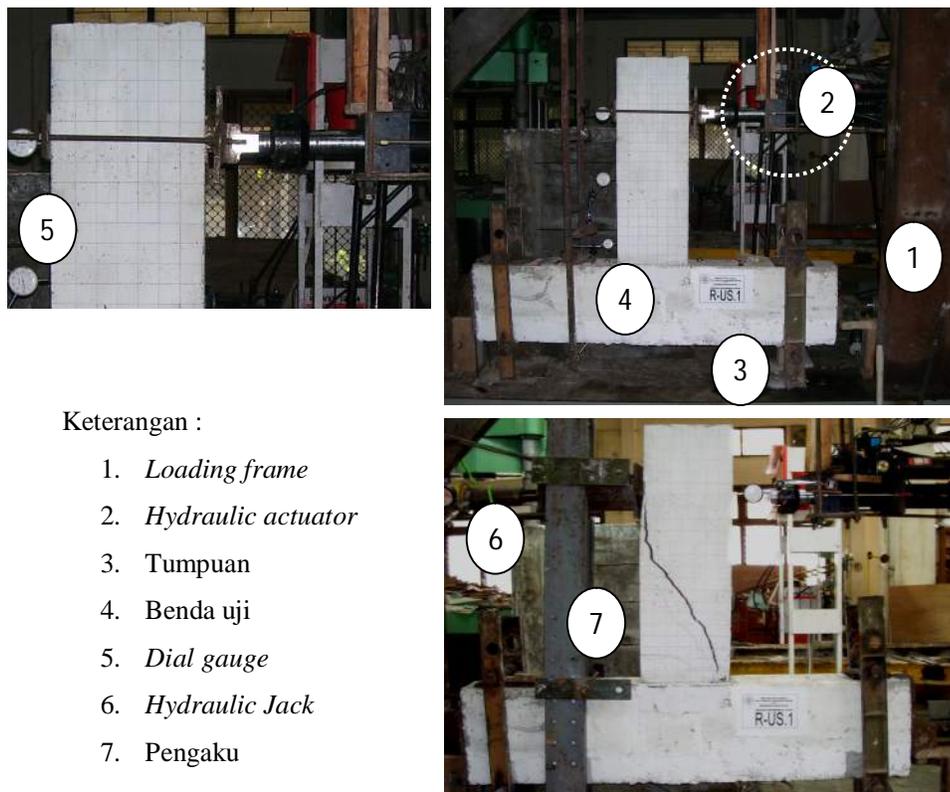
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kapasitas Beban Ultimit

Kapasitas beban ultimit sebelum dan setelah perbaikan (*retrofitting*) dapat dilihat pada Gambar 10.

Hysteretic Curve, Envelope Curve & Energy Hysteretic

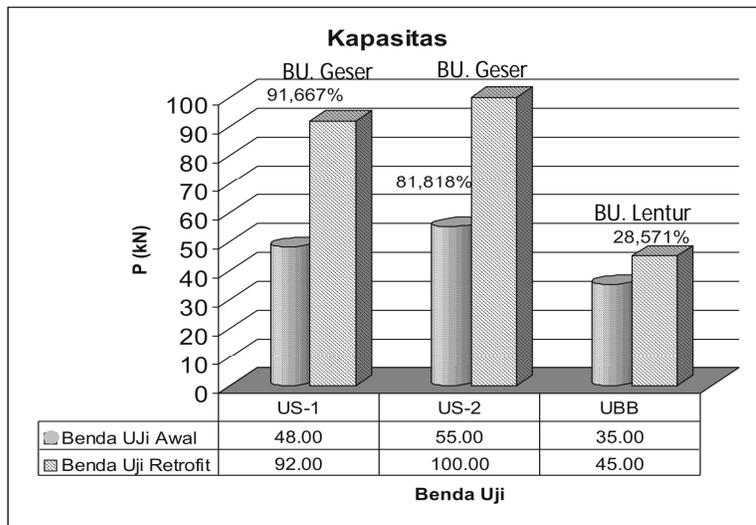
Hasil pengujian bolak-balik (siklik) dapat dilihat pada Gambar 11 sampai dengan Gambar 13. Grafik hubungan antara beban dan lendutan berupa *hysteretic curve* yang menggambarkan besarnya energi yang terdisipasi pada setiap siklusnya. *Hysteretic curve* ini juga menunjukkan perilaku dari struktur ketika menerima dan melepas beban.



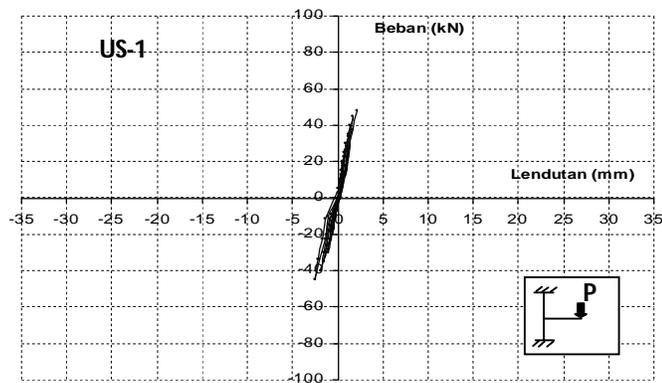
Keterangan :

1. *Loading frame*
2. *Hydraulic actuator*
3. Tumpuan
4. Benda uji
5. *Dial gauge*
6. *Hydraulic Jack*
7. Pengaku

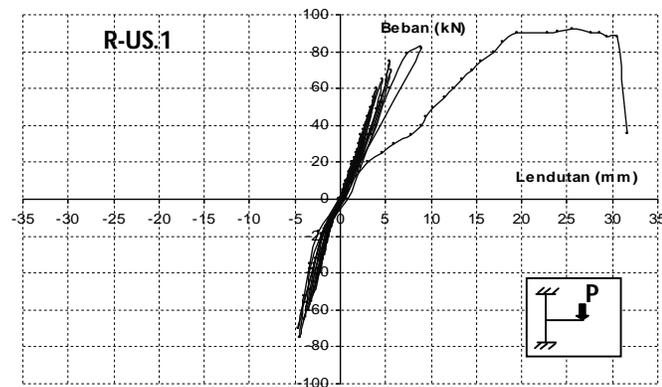
GAMBAR 9. *Setting up* benda uji dengan *actuator* dan *hydraulic jack*



GAMBAR 10. Peningkatan kapasitas beban ultimit

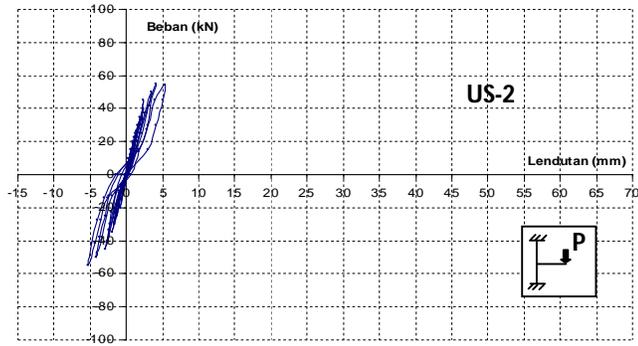


(a) US - 1

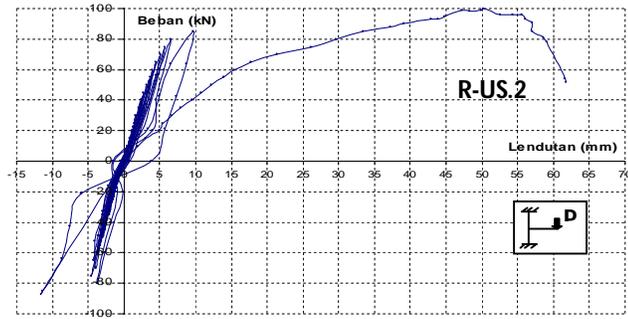


(b) R-US.1

GAMBAR 11. Kurva hysteretic US-1 dan R-US.1

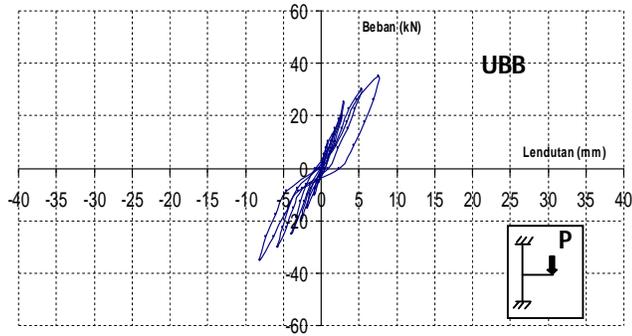


(a) US - 2

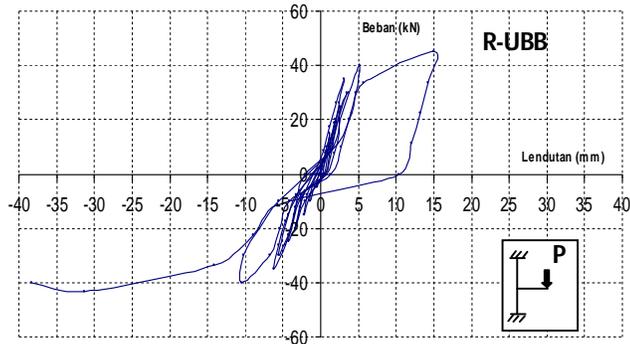


(b) R-US.2

GAMBAR 12. Kurva hysteretic US-2 dan R-US.2



(a) UBB



(b) R-UBB

GAMBAR 13. Kurva hysteretic UBB dan R-UBB

Envelope curve digunakan untuk menghitung daktilitas benda uji. Perhitungan daktilitas didapatkan dari nilai sebesar 6,64. Daktilitas benda uji R-US.2 sebesar 12,72 lebih besar dari R-US.1 naik 191,56 %. Penambahan jumlah lapisan kawat jala las segi empat dari 1 lapis menjadi 2 lapis mampu meningkatkan nilai daktilitas yang cukup tinggi. Besarnya *energy hysteretic* diperoleh berdasarkan luasan *loops* dari kurva hubungan beban – lendutan tiap siklusnya. Serapan energi US.1 sebesar 80,663 kN-mm, sedangkan R-US.1 mencapai 173,954 kN-mm, meningkat sebesar 215,66%. Serapan energi US.2 sebesar 148,169 kN-mm, sedangkan R-US.2 mencapai 404,661 kN-mm, meningkat sebesar 273,11%. Serapan energi UBB sebesar 224, 698 kN-mm, sedangkan R-UBB mencapai 875,969 kN-mm. Serapan energi meningkat sebesar 389,84%.

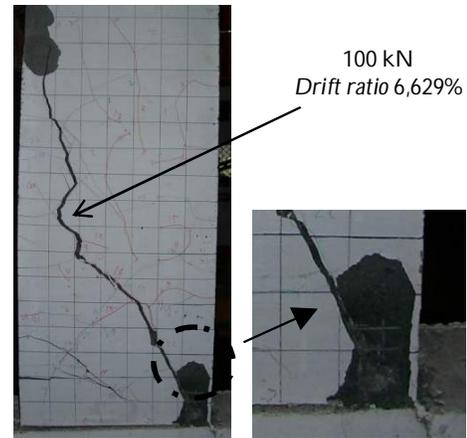
Kekakuan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekakuan pada benda uji US-1(benda uji awal) dan sesudah perbaikan (*retrofit*) R-US.1 mengalami penurunan. Benda uji US-1 memiliki kekakuan awal 45,455 kN/mm dan R-US.1 memiliki kekakuan awal 18,182 kN/mm. Kekakuan awal US-1 menjadi R-US.1 turun sebesar 60 %. Kekakuan awal US-1 mengalami penurunan sebesar 40,5 %. Benda uji lentur UBB juga mengalami penurunan 18 %. Jadi semua benda uji mengalami penurunan kekakuan.

Tipe Kerusakan Struktur (Pola Retak)

Pengujian balok eksterior US-1 mencapai batas ultimit pada beban 92 kN dengan lendutan 25,6 mm (*drift ratio* 3,20). Pengujian balok *retrofit* R-US.2 mengalami beban ultimit terjadi pada beban 100 kN dengan lendutan 50,15 mm (*drift ratio* 6,629%). Beban ultimit UBB sebesar 35 kN dengan lendutan 7,79 mm (*drift ratio* 7,79%). Pengujian balok *retrofit* R-UBB mengalami kenaikan beban ulimit menjadi 45 kN dengan lendutan 23,21 mm (*drift ratio* 23,21%).

Salah satu contoh pola retak dapat dilihat pada Gambar 14.



GAMBAR 14. Pola retak keruntuhan geser

KESIMPULAN

1. Perbaikan struktur (*retrofit*) pada tahap ultimit dengan menggunakan metode *jacketing* dengan bahan ferosemen mampu meningkatkan kapasitas beban ultimit sebesar 91,667% (US-1 menjadi R-US.1) dan 81,818% (US-2 menjadi R-US.2), serta 28,571% (UBB menjadi R-UBB).
2. Pengujian perbaikan dengan metode *jacketing* mengalami peningkatan *energy hysteretic* sebesar 215,66% (US-1 menjadi R-US.1) dan 273,11% (US-2 menjadi R-US.2), serta 389,84% (UBB menjadi R-UBB).
3. Daktilitas balok R-US.1 sebesar 6,64 dan R-US.2 sebesar 12,72.
4. Kekakuan balok setelah diperbaiki (*retrofit*) mengalami penurunan kekakuan awal sebesar 60% (US-1 menjadi R-US.1), 40% (US-2 menjadi R-US.2) dan 18 % (UBB menjadi R-UBB).
5. Pola retak pada balok sebelum dan sesudah perbaikan sesuai dengan tipe kerusakan yang direncanakan. Retak geser ditandai dengan retak miring/ diagonal dari arah ujung tumpuan (pertemuan balok-kolom) ke titik pembebanan, sedangkan retak lentur ditandai dengan retak utama melintang di area pangkal balok disertai retak-retak kecil yang merata sepanjang jarak pembebanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Hartono, E. (1997). *Aplikasi Ferosemen untuk Selimut Balok Beton Bertulang*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Poston, R. W. (1997). *Structural Concrete Repair: General Principles and a case study*, Concrete Construction Engineering Handbook, New York: CRC Press.
- SNI-1726-2002, *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Permukiman, Bandung.
- SNI 03-2487-2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Badan Standardisasi Indonesia.
- Sulendra, I. K. (2000). *Perilaku Struktural Perbaikan Joint Balok-Kolom Eksterior Beton Bertulang yang Rusak akibat Beban Gempa*, Tesis Pascasarjana Program Studi Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Triwiyono, A. (2000). *Evaluasi dan Rehabilitasi Struktur Beton*, Buku Ajar Magister Teknologi Bahan Bangunan Program Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta.

PENULIS:

Bagus Soebandono✉

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul 55183.

✉Email: baguse_soe@yahoo.com

Andreas Triwiyono, Muslikh

Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika no. 2, Yogyakarta.