

PERILAKU GESER PADA BALOK BETON BERTULANG MUTU TINGGI SETELAH RETAK YANG DIPERBAIKI DENGAN INJEKSI EPOXY

Cut Rizka Ellysa Putri¹, Teuku Budi Aulia², Taufiq Saidi³

¹⁾ Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111

^{2,3)} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111,
email: aulia@unsyiah.ac.id², taufiqsaidi@gmail.com³

Abstract: Concrete as a building material has become the main choice in any building construction. Generally the cracking by damage of structural components repaired by epoxy injection. This research was conducted to observe shear behavior analysis of high strength reinforced concrete beams after crack that repaired by epoxy injection system. In this research had 4 beams tested with measuring (15 x 30 x 220) cm for each epoxy age variation has a beam specimen which was 7 days (BBMTG E-7), 14 days (BBMTG E-14), 28 days (BBMTG E-28) and a beam specimen will be tested normally as comparison. Specimens were designed to have shear failure. Tensile reinforcement has 18,9 mm diameter as many as 4 pieces, tension reinforcement has 15,8 mm diameter as many as 2 pieces and shear reinforcement has 6 mm diameter with interval of 300 mm. High Strength Concrete obtained about 66,62MPa with W/C Ratio 0,25. The results showed that all beams had shear failure as planned. The result showed that repairing age concrete by epoxy injection system influence the shear of high strength concrete capacity. It is showed by the maximum load reached by BBMTG E-7 about 20,81 T and BBMTG E-14 about 19,6 T didn't reach a maximum load of BBMTG Normal about 26,03 T, moreover of BBMTG E-14 maximum load value is shorter than BBMTG E-7 maximum load value. Maximum load by BBMTG E-28 about 25,55 T which is close to BBMTG Normal maximum load value. Crack repaired do not reopen after retesting, instead new nearby the initial crack. Repair of high strength concrete by using epoxy injection system could be add a brittleness of high reinforce concrete. This would be caused by epoxy resin material which had the same quality with high strength concrete.

Keywords : High Strength Reinforced Concrete Beam, Repaired by epoxy injection, Shear Behavior, Fracture Pattern.

Abstrak: Beton sebagai bahan bangunan telah menjadi pilihan utama dalam setiap pekerjaan konstruksi bangunan. Umumnya retak akibat kerusakan pada komponen struktur diperbaiki dengan injeksi epoxy. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengamati perilaku geser pada balok beton bertulang mutu tinggi yang telah diperbaiki dengan sistem injeksi epoxy. Pada penelitian ini diuji 4 buah balok berukuran (15 x 30 x 220) cm untuk masing-masing variasi umur epoxy sebanyak satu benda uji balok yaitu berumur 7 hari (BBMTG E-7), 14 hari (BBMTG E-14), 28 hari (BBMTG E-28) dan satu benda uji balok yang akan diuji secara normal sebagai pembandingan. Benda uji didesain untuk mengalami gagal geser. Tulangan yang digunakan adalah besi ulir diameter 18,9 mm sebanyak 4 buah sebagai tulangan tarik dan besi ulir diameter 15,8 mm sebanyak 2 buah sebagai tulangan tekan. Sedangkan untuk tulangan geser digunakan besi polos diameter 6 mm dengan jarak 300 mm. Kuat tekan Beton Mutu Tinggi Geser yang diperoleh sebesar 66,62 MPa dengan FAS 0,25. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua balok mengalami gagal geser sesuai yang direncanakan. Hasil penelitian meunjukkan umur perbaikan beton dengan sistem injeksi epoxy berpengaruh terhadap kapasitas geser beton mutu tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan beban maksimum yang dicapai BBMTG E-7 sebesar 20,81 T dan BBMTG E-14 sebesar 19,60 T tidak mencapai nilai beban maksimum BBMTG Normal sebesar 26,03 T, bahkan nilai beban maksimum BBMTG E-14 lebih rendah daripada nilai beban maksimum BBMTG E-7. Nilai beban maksimum BBMTG E-28 sebesar 25,52 T yang paling mendekati dengan nilai beban maksimum BBMTG Normal. Retak yang diperbaiki tidak terbuka kembali setelah pengujian ulang, sebaliknya

muncul retak baru disekitar retak yang lama. Perbaikan beton mutu tinggi dengan menggunakan sistem injeksi *epoxy* menambah sifat kegetasan beton mutu tinggi. Hal ini disebabkan karena material *epoxy* resin memiliki kekuatan yang hampir sama dengan beton mutu tinggi.

Kata kunci : Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi, Perbaikan dengan injeksi *epoxy*, perilaku geser, pola retak..

Beton sebagai bahan bangunan telah sangat lama digunakan di dunia termasuk Indonesia, kini telah menjadi pilihan utama dalam setiap pekerjaan-pekerjaan konstruksi bangunan. Hal ini disebabkan karena beton dapat dikerjakan dalam berbagai jenis bentuk, mempunyai kuat tekan yang tinggi, mudah dikerjakan, serta perawatannya mudah dan relatif murah.

Kerusakan pada komponen struktur dapat ditimbulkan akibat beberapa hal, seperti pemakaian material yang tidak memenuhi syarat seperti yang telah ditetapkan, terjadinya kesalahan pelaksanaan di lapangan, dan terlampauinya beban diluar dugaan perencanaan. Umumnya retak akibat kerusakan tersebut diperbaiki dengan injeksi *epoxy*. Bahan *epoxy* yang berbentuk cair mampu melakukan penetrasi ke dalam celah retakan memiliki kekuatan mekanis dan daya rekat yang tinggi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku geser pada balok beton bertulang mutu tinggi yang telah diperbaiki dengan injeksi *epoxy*.

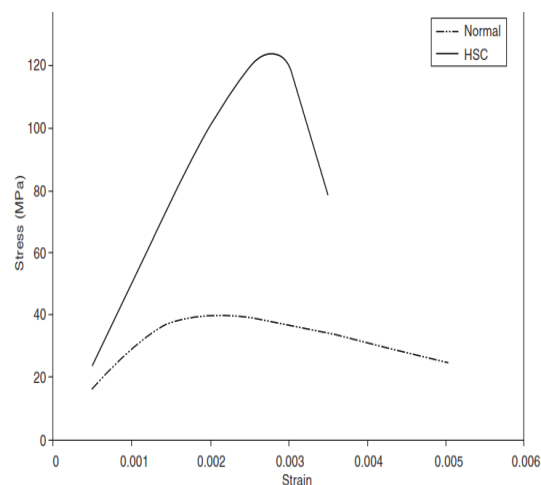
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengamati perilaku geser balok beton bertulang mutu tinggi yang telah diperbaiki dengan sistem injeksi *epoxy*. Hasil penelitian ini akan dibandingkan dengan perilaku geser yang timbul pada benda uji yang diuji sampai hancur (normal) dan benda uji sebelum

dilakukan perbaikan. Diharapkan dari hasil penelitian ini dapat diketahui kapasitas injeksi *epoxy* untuk perbaikan struktur balok beton mutu tinggi.

KAJIAN PUSTAKA

Konsep Beton Mutu Tinggi

Mulyono (2005 : 295) menyatakan criteria beton mutu tinggi berubah sesuai dengan perkembangan zaman dan kemajuan tingkat mutu yang berhasil dicapai. Pada tahun 1950-an, beton dikategorikan mempunyai mutu tinggi jika kekuatan tekannya 30 MPa, tahun 1960–1970 kriterianya naik menjadi 40 MPa. Saat ini beton dikatakan sebagai beton mutu tinggi jika kekuatan tekannya di atas 55 MPa dan 80 MPa sebagai beton mutu sangat tinggi, sedangkan 120 MPa bias dikategorikan sebagai beton bermutu ultra tinggi.



Gambar 1 Perbandingan Kurva Tegangan-Regangan pada Beton Mutu Tinggi dan Beton Normal

Sumber : Park dan Paulay(1975)

Kekuatan Geser Balok Beton Bertulang

Menurut Nawy (1998 : 147), perilaku balok beton bertulang pada keadaan runtuh karena geser sangat berbeda dengan keruntuhan karena lentur. Balok yang hancur karena geser kehancurannya secara tiba-tiba tanpa adanya pemberitahuan terlebih dahulu. Menurut Mc Cormack (2001 : 235), retak geser memiliki pola diagonal atau miring. Retak miring dapat terjadi pada beton bertulang baik sebagai kelanjutan dari retak lentur atau kadang-kadang sebagai retak yang independen. Pengujian terhadap balok beton bertulang menunjukkan bahwa balok tidak akan runtuh dengan melebarnya retak tarik diagonal sampai sengkang yang melintasi retak mencapai tegangan lelehnya. (McCormack, 2001 : 240).

Dalam desain kekuatan batas (ultimit), balok didesain untuk mulai gagal pada beban yang diperbesar. Pada taraf ini, baja diharapkan telah melampaui titik lelehnya, sementara beton diharapkan telah memasuki daerah plastis (Schodek, 1999).

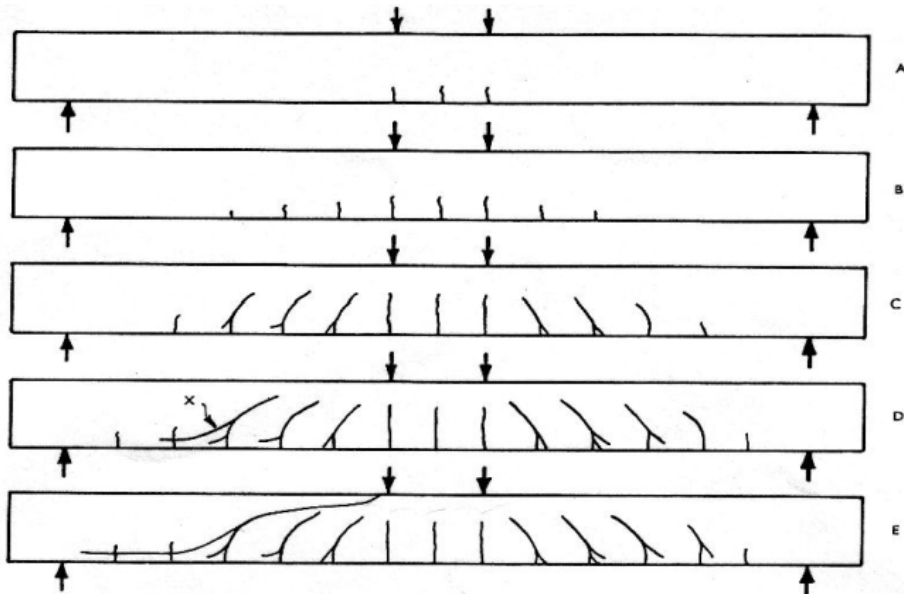
Retak

Beton dapat retak pada awal pembebanan karena material ini lemah terhadap tarik. Retak mempunyai kontribusi terhadap proses korosi tulangan, rusaknya permukaan beton dan efek-efek jangka panjang lainnya. Tegangan lekatan antara baja tulangan dengan beton di

sekitarnya (*bond strength*) merupakan parameter utama yang mempengaruhi retak geser, juga lebar retak. Lebar retak maksimum yang diizinkan bervariasi, tergantung Ikasi, jenis struktur, tekstur permukaan beton, dan faktor-faktor lain. Komite ACI 224 dalam laporannya tentang retak, telah memperlihatkan sejumlah perkiraan lebar retak maksimum yang diizinkan untuk berbagai situasi. Menurut Nawy (1998 : 153) pada dasarnya keruntuhan geser pada balok adalah keruntuhan tarik diagonal. Pada keruntuhan ini, retak halus mulai terjadi di tengah bentang berarah vertikal yang diakibatkan oleh lentur. Hal ini diikuti dengan kerusakan lekatan tulangan baja dan beton pada perletakan. Retak diagonal terjadi secara tiba-tiba dekat perletakan dan terus melebar ke retak diagonal utama. Keruntuhan ini tidak memberikan tanda-tanda sebelumnya.

Retak perlu diperbaiki, terutama retak struktur (retak tembus) karena dapat mengurangi kekuatan, kekakuan, durabilitas struktur maupun fungsi struktur lainnya. Perbaikan retak dilakukan dengan tujuan antara lain (Amri, 2006:209) :

1. Melindungi tulangan pada lokasi retak agar tidak terpengaruh lingkungan luar (korosi).
2. Merekatkan beton kembali setelah mengalami pemisahan akibat retak agar beton dapat berfugsi kembali.



Gambar 2. Pembentukan Retak Geser setiap Penambahan Beban

Sumber : Al-Nu'man dan Al-Sahlani, *Journal of Engineering and Development* (2006)

Injeksi Epoxy

Epoxy merupakan material yang sangat menjanjikan untuk digunakan dalam perkuatan struktur beton bertulang. Bahan *epoxy* untuk injeksi berbentuk cair dan mempunyai sifat cepat mengeras dan mampu melakukan penetrasi ke dalam celah-celah retakan yang tidak mampu dijangkau oleh semen. Bahan ini sangat membantu untuk mengikat beton yang mengalami retakan dan menghindarkan tulangan beton dari ancaman korosi (Amri, 2005 : 209). Celah sempit sebesar 0,05 mm dapat direkatkan kembali dengan injeksi *epoxy*. Injeksi *epoxy* telah berhasil digunakan dalam perbaikan retak pada bangunan gedung, bendungan, dan jenis-jenis struktur beton lainnya. (ACI Committee 224, 1993).

Produk injeksi *epoxy* yang terdiri dari dua komponen yaitu *resin* dan *hardener*. Keunggulan dari material ini antara lain :

- Viskositas super rendah (super encer);

- Dapat diaplikasikan dalam kondisi lembab atau kering;
- Kekuatan mekanis dan daya lekat tinggi;
- Keras, tapi tidak getas (*brittle*); dan
- Tidak susut dan stabil untuk jangka waktu yang panjang.

Material *epoxy* untuk injeksi keretakan beton yang diperdagangkan secara umum oleh PT. Sika Indonesia adalah Sikadur 752.

Tabel 1. Data teknis Sikadur 752

Parameter	Karakteristik
Warna	Kekuningan
Bentuk	Cairan
Berat jenis	$\pm 1,08 \text{ kg/lt}$
Daya rekat	640 kg/cm^2 pada umur 28 hari

Sumber : PT. Sika Indonesia (Anonim, 2012)

METODE PENELITIAN

Pembuatan Benda Uji Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi

Benda uji balok dibuat berukuran ($15 \times 30 \times 220$) cm sebanyak 4 buah. Beton yang digunakan adalah beton mutu tinggi dengan kuat tekan rencana mencapai 70 MPa untuk

benda uji silinder. Pemeriksaan sifat mekanis beton menggunakan benda uji silinder standar sebanyak 3 buah untuk uji kuat tekan serta balok beton polos standar sebanyak 3 buah untuk uji kuat lentur murni beton. Analisis yang dilakukan untuk mendapatkan benda uji gagal menahan kapasitas geser maka didapat ukuran dan jumlah tulangan yang digunakan

adalah besi ulir diameter 18,9 mm sebanyak 4 buah sebagai tulangan tarik dan besi ulir diameter 15,8 mm sebanyak 2 buah sebagai tulangan tekan. Sedangkan untuk tulangan geser digunakan besi polos diameter 6 mm dengan jarak 300mm. Penamaan benda uji diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Penamaan benda uji berdasarkan variasi perlakuan benda uji

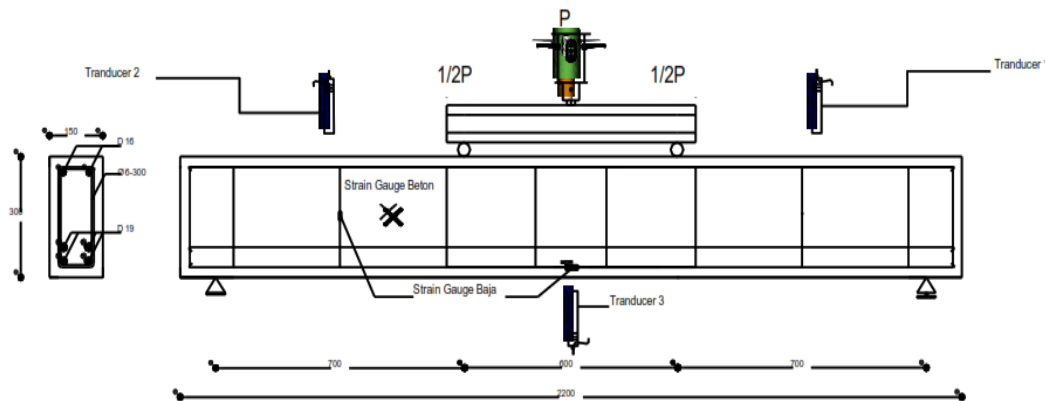
Jenis Benda Uji	Variasi Perlakuan Benda Uji	Penamaan Benda Uji	Jumlah Benda Uji	Lama Perawatan (hari)	Lama Perlakuan (hari)
Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi	Pengujian Normal	BBMTG N	1	28	-
	Pengujian Setelah di Epoxy 7 hari	BBMTG E-7	1	28	7
	Pengujian Setelah di Epoxy 14 hari	BBMTG E-14	1	28	14
	Pengujian Setelah di Epoxy 28 hari	BBMTG E-28	1	28	28

Pengujian Benda Uji Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi Normal

Pengujian pembebanan benda uji balok ukuran (15 × 30 × 220) cm dilakukan pada umur 28 hari. Setelah ditimbang, benda uji diletakkan diatas tumpuan dengan panjang teoritis 200 cm. Pembebanan dilakukan dengan memberikan dua beban terpusat yang sama besar. Lendutan dan regangan dimonitor setiap kenaikan beban 100 kg dengan menggunakan alat LVDT (*transducer*) dan *strain gage*. LVDT ditempatkan pada 3 lokasi. *Strain gauge* baja ditempatkan pada tulangan geser dan tulangan lentur sedangkan *strain gauge* beton pada daerah geser. Beban diberikan secara bertahap hingga benda uji mengalami kehancuran.

Pengujian Awal Benda Uji Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi

Pembebanan awal benda uji balok beton bertulang mutu tinggi dilakukan pada umur 28 hari. Pengujian dilakukan dengan cara yang sama dengan pembebanan pengujian normal, namun beban diberikan hingga 75% dari beban teoritis. Lendutan dan regangan dimonitor setiap kenaikan beban 100 kg dengan menggunakan *data logger*. LVDT ditempatkan pada 3 lokasi, sedangkan *strain gauge* baja ditempatkan pada tulangan geser dan tulangan lentur. *Set up* pengujian benda uji balok dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Set Up Pembebanan Benda Uji Balok

Perbaikan beton dengan sistem injeksi epoxy

Penginjeksian *epoxy* digunakan untuk mengatasi retakan beton dengan lebar maksimum 5 mm. Dengan terisinya celah-celah tersebut diharapkan daya lekat tulangan dan beton dapat diperbaiki seperti pada kondisi semula. Berikut adalah langkah-langkah perbaikan retakan dengan injeksi *epoxy* :

a. Pembersihan retakan

Langkah pertama adalah pembersihan retakan dan daerah disekitar penampang retak dari unsur-unsur yang dapat mengganggu perlekatan. Keberadaan minyak, lemak, kotoran dan partikel halus mengganggu penetrasi bahan *epoxy* dan mengurangi lekatan sehingga mengurangi efektivitas perbaikan. Untuk itu, retakan harus dibersihkan dengan alat vakum atau dengan cara pembersihan lainnya.

b. Pemasangan *nipple*

Sebelum pemasangan *nipple*, pada retakan dibuat celah berbentuk V dengan

kedalaman 13 mm dan lebar 20 mm di sepanjang retakan. *Nipple* dipasang pada celah retakan dengan jarak interval 15 – 20 cm. Celah retakan di antara *nipple* ditutup dengan material *epoxy*, *polyster*, atau bahan lain yang sesuai yang dapat menutupi retakan dan mengeras. Permukaan retakan harus ditutupi untuk mencegah bocornya *epoxy*.

c. Pencampuran *epoxy*

Komponen *epoxy* dicampur sesuai dengan petunjuk pabrik, biasanya dengan penggunaan pengaduk. Volume bahan yang dicampur harus secukupnya untuk kebutuhan sebelum material menjadi gel. Ketika material *epoxy* mulai menjadi gel, karakteristik alirannya mulai berubah sehingga tekanan injeksi menjadi sulit.

d. Menginjeksikan cairan *epoxy*

Penginjeksian dilakukan dengan menggunakan pompa hidrolik. Tekanan yang digunakan untuk menginjeksi harus dipilih secara hati-hati. Tekanan yang diperlukan untuk menginjeksi cairan *epoxy* tergantung pada lebar dan kedalaman retakan.

kan. Penambahan tekanan hanya sedikit menambah tingkat kecepatan *epoxy*. Pada kenyataannya, menggunakan tekanan secara berlebihan dapat memperlebar retakan sehingga menambah kerusakan.

Pada retakan dengan posisi vertical atau diagonal, proses injeksi harus dimulai dengan memompa material *epoxy* ke dalam *nipple* dari elevasi terendah hingga material *epoxy* mencapai *nipple* di atasnya, lalu *nipple* yang paling rendah kemudianditutup. Proses ini terus diulangi hingga seluruh retakan terisi. Pada retakan horizontal, proses injeksi harus dilanjutkan dari satu *nipple* ke *nipple* yang lain dengan cara yang sama.

e. Membersihkan permukaan.

Setelah *epoxy* selesai disuntikkan, permukaan yang ditutupi harus dihapus dibersihkan dengan cara digerenda atau cara lain yang sesuai.

Pengujian benda uji balok beton mutu tinggi setelah diperbaiki dengan injeksi *epoxy*

Setelah dilakukan perbaikan, maka benda uji balok diuji kembali setelah berumur 7, 14 dan 28 hari. Pengujian dilakukan dengan cara yang sama dengan pembebanan pengujian normal. Adapun perilaku yang diamati adalah :

1. Beban maksimum yang dapat dipikul oleh balok setelah dilakukan perbaikan.
2. Lendutan dan regangan yang terjadi dibandingkan dengan lendutan sebelumnya.
3. Lendutan dan regangan yang terjadi dibandingkan dengan lendutan pada balok normal.
4. Posisi retak dan jumlah retak yang

terjadidibandingkan dengan retak awal.

5. Daktilitas dari hubungan beban dengan lendutan.

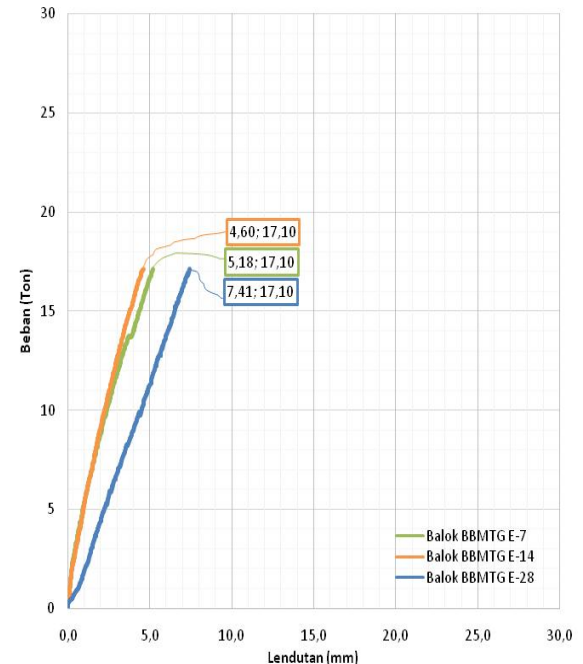
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengujian laboratorium diperlihatkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Laboratorium

Benda Uji Balok	Retak Awal		Beban Maksimum	
	Retak Lentur (ton)	Retak Geser (ton)	P (ton)	Lendutan (mm)
BBMTG Normal	5,00	9,90	26,03	12,37
BBMTG E-7 Sebelum di Epoxy	3,20	4,10	17,10	5,18
BBMTG E-7 Setelah di Epoxy	7,00	7,41	20,81	6,36
BBMTG E-14 Sebelum di Epoxy	3,20	6,30	17,10	4,60
BBMTG E-14 Setelah di Epoxy	3,20	5,10	19,60	6,96
BBMTG E-28 Sebelum di Epoxy	3,60	6,00	17,10	7,41
BBMTG E-28 Setelah di Epoxy	7,00	14,2	25,52	13,49

Lendutan pada BBMTG sebelum di *epoxy*



Gambar 4. Grafik Perbandingan Beban terhadap Lendutan di Tengah Bentang pada Balok BBMTG Sebelum di Epoxy

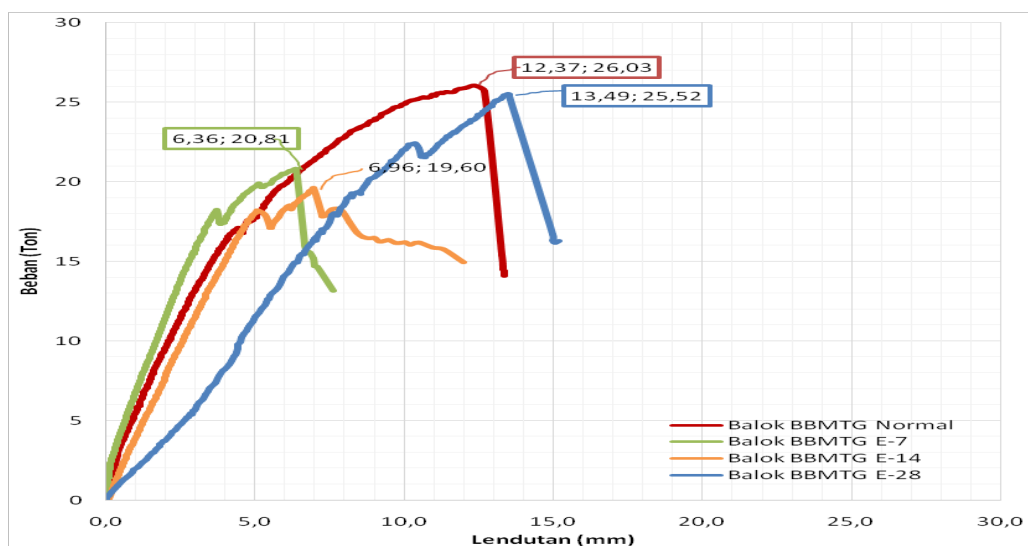
Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa balok BBMTG E-28 memiliki nilai lendutan paling besar, yaitu 7,41 mm. Balok

BBMTG E-7 memiliki lendutan sebesar 5,18 mm. Sedangkan Balok BBMTG E-14 memiliki lendutan sebesar 4,60 mm.

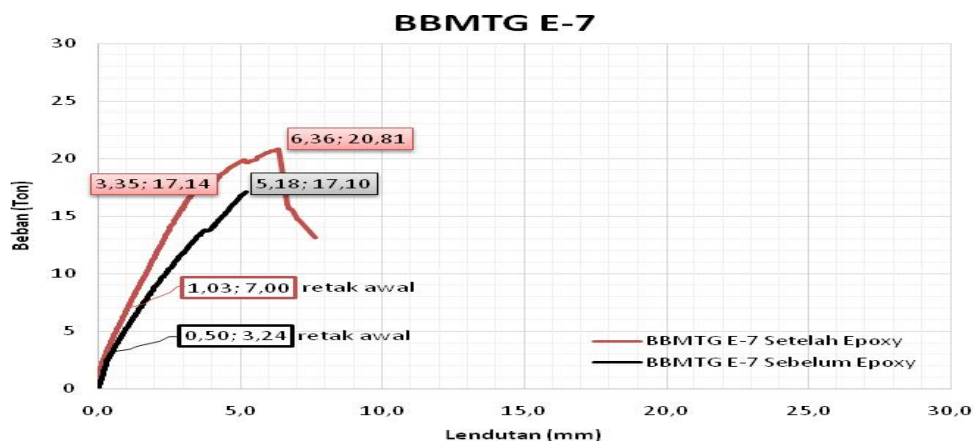
Lendutan pada BBMTG Normal dan BBMTG setelah di epoxy

Berdasarkan gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai lendutan pada beban maksimum paling besar diperoleh pada balok BBMTG E-28, yaitu 13,49 mm pada beban maksimum 25,52 ton. Balok BBMTG Normal memiliki lendutan sebesar 12,37 mm pada beban maksimum 26,03 ton. Balok BBMTG E-7 memiliki lendutan sebesar 6,36 mm pada

beban maksimum 20,81 ton. Sedangkan Balok BBMTG E-14 memiliki lendutan sebesar 6,96 mm pada beban maksimum 19,60 ton. Beban maksimum paling tinggi terjadi pada balok BBMTG Normal. Dari hasil penelitian, beban maksimum BBMTG E-7 dan BBMTG E-14 Setelah di epoxy belum mampu mencapai nilai beban BBMTG Normal, bahkan nilai beban maksimum BBMTG E-14 lebih rendah daripada nilai beban maksimum BBMTG E-7. Nilai beban maksimum BBMTG E-28 yang paling mendekati dengan nilai beban maksimum BBMTG Normal.



Gambar 5 Grafik Perbandingan Beban terhadap Lendutan di Tengah Bentang pada Balok BBMTG Setelah di Epoxy



Gambar 6 Grafik Perbandingan Beban terhadap Lendutan di Tengah Bentang BBMTG E-7

Lendutan pada BBMTG E-7

Berdasarkan gambar 6 dapat dilihat bahwa terjadi perubahan deformasi pada balok BBMTG E-7. Setelah di *Epoxy*, balok BBMTG E-7 lebih kaku daripada sebelum di *Epoxy*. Nilailendutan untuk beban 17,1 ton pada balok BBMTG E-7 setelah di *epoxy* adalah sebesar 3,35, selisih 1,83 mm dari lendutan balok BBMTG E-7 sebelum di *epoxy*. Pada gambar di atas juga memperlihatkan bahwa nilai beban retak awal BBMTG E-7 setelah di *epoxy* lebih tinggi daripada sebelum di *epoxy*.

Lendutan pada BBMTG E-14

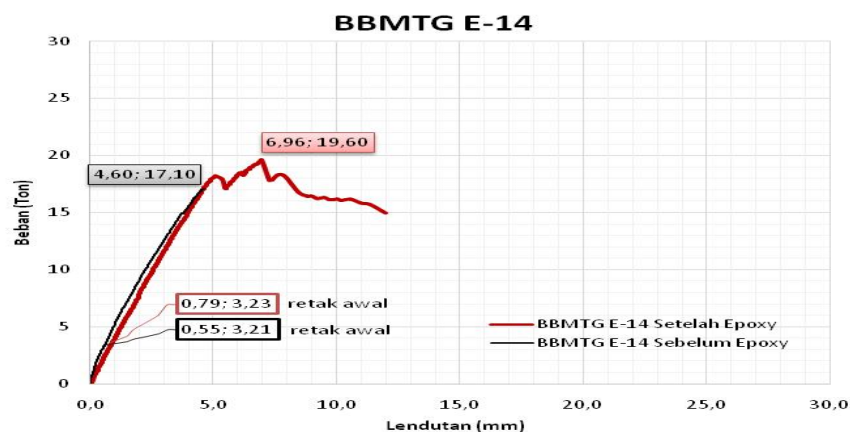
Berdasarkan gambar 7 dapat dilihat ba-

hwa tidak terjadi perubahan deformasi pada balok BBMTG E-14. Nilai beban retak awal BBMTG E-14 setelah di *epoxy* hampir sama dengan nilai beban retak awal sebelum di *epoxy*.

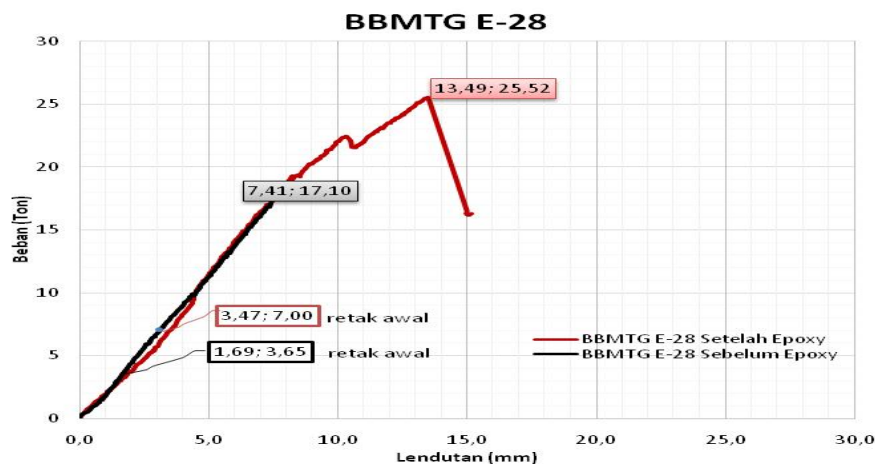
Lendutan pada BBMTG E-28

Berdasarkan gambar di 8 dapat dilihat bahwa tidak terjadi perubahan deformasi pada balok BBMTG E-28. Nilai beban retak awal BBMTG E-28 setelah di *epoxy* lebih tinggi daripada sebelum di *epoxy*.

Perbandingan pola retak sebelum di *epoxy* dengan setelah di *epoxy* pada variasi balok BBMTG diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 7 Grafik Perbandingan Beban terhadap Lendutan di Tengah Bentang BBMTG E-14



Gambar 8 Grafik Perbandingan Beban terhadap Lendutan di Tengah Bentang BBMTG E-28

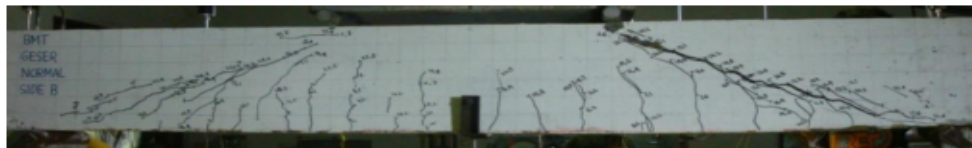


Foto Pola Retak BBMTG Normal



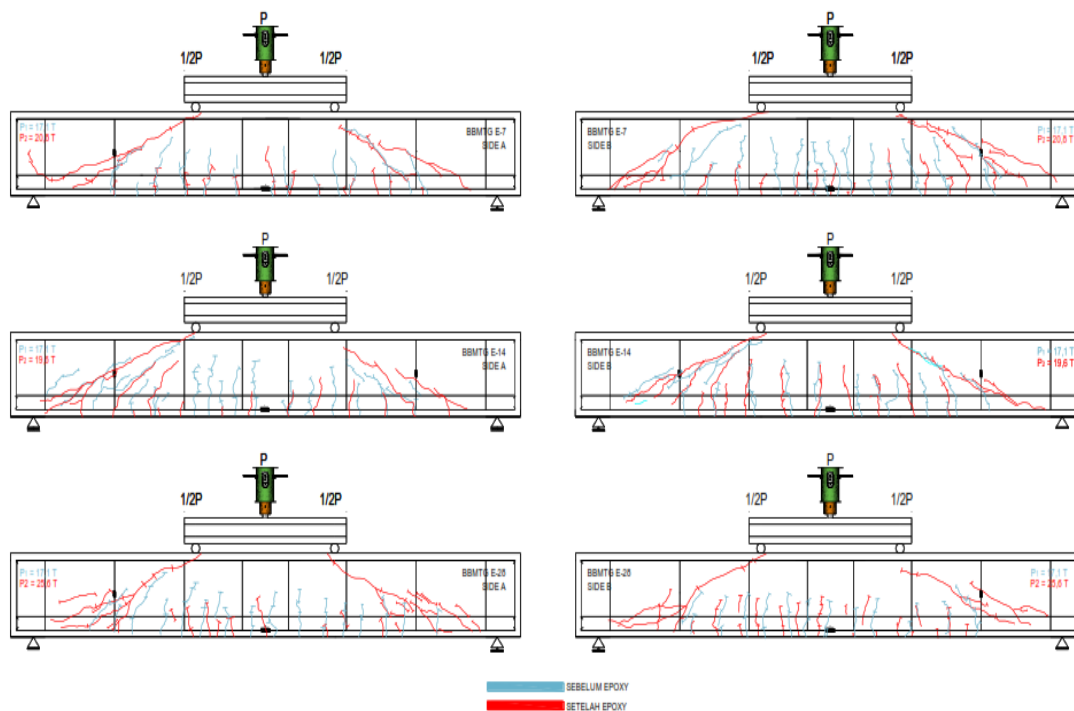
Foto Pola Retak BBMTG E-7 Setelah di *Epoxy*



Foto Pola Retak BBMTG E-14 Setelah di *Epoxy*



Foto Pola Retak BBMTG E-28 Setelah di *Epoxy*



Gambar 9 Gambar Perbandingan Pola Retak Pada Variasi Balok BBMTG Sebelum dan Setelah di *Epoxy*

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa,sejalan dengan penambahan beban yang diberikan pada pengujian kedua, timbul sejumlah retak baru dengantidak terjadi retak pada posisi awal. Sebagian besar retak baru

muncul bersisian dengan retak awal.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian adalah sebagai berikut :

1. Hasil pengujian kuat tekan dapat diklasifikasikan kepada beton mutu tinggi.
2. Kehancuran geser balok beton bertulang mutu tinggi setelah retak sama dengan balok beton bertulang mutu tinggi normal.
3. Hasil pengujian balok BBMTG setelah di perbaiki dengan injeksi epoxy menunjukkan bahwa beban maksimum BBMTG E-7 menurun 20% dari BBMTG Normal dan BBMTG E-14 b menurun 25% dari BBMTG Normal, bahkan nilai beban maksimum BBMTG E-14 lebih rendah daripada nilai beban maksimum BBMTG E-7. Nilai beban maksimum BBMTG E-28 yang paling mendekati dengan nilai beban maksimum BBMTG Normal yaitu dengan selisih 2%. Hal ini menunjukkan bahwa umur perbaikan beton dengan sistem injeksi *epoxy*
4. berpengaruh terhadap kapasitas geser beton mutu tinggi.
5. Retak yang diperbaiki tidak terbuka kembali setelah pengujian ulang, sebaliknya muncul retak baru disekitar retak yang lama.

Saran

Penelitian ini diharapkan dapat dilanjutkan oleh peneliti lain, dengan memperhatikan saran antara lain melanjutkan penelitian ini dengan variasi penambahan hari yang lebih lama setelah di injeksi epoxy untuk melihat apakah metode perbaikan injeksi *epoxy* berhasil meningkatkan atau setidaknya mengembalikan kapasitas geser balok beton mutu tinggi.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- ACI Committe 224, Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures, American Concrete Institute, 1993, 22 pp.
- ACI – ASCE Committe 426, The Shear Strength of Reinforced Concrete Members, Journal of The Structural Division, 1973, pp 9791-1187.
- Al-Nu'man B. S. Dan M. H. Al-Sahlani., Behavior of Repaired Reinforced Concrete Beams Failed in Shear, Journal of Engineering and Development, Vol. 10, No.3, September 2006, pp 115-134.
- Al-Nu'man B. S. Dan M. H. Al-Sahlani., Behavior of Repaired Reinforced Normal and High Strength Concrete Beams Failed in Shear, Journal of Engineering and Development, Vol. 11, No.3, Desember 2007, pp 39-60.
- Amri, S., 2006, Teknologi Audit Forensik, Repair dan Retrofit untuk Rumah dan Bangunan Gedung, Penerbit Yayasan John Hi-Tech Ideatama, Jakarta.
- Anonim, 2004, Annual Book of American Society for Testing and Materials Standard (ASTM Standard), New York, USA.
- Anonim, 2011, Data Teknis, PT. Sika Indonesia, Jakarta.
- Aulia, T. B., 1999, Effect of Mechanical Properties of Aggregate on The Ductility of High Performance Concrete, Karsten Deutschman,

- Lacer No. 4, University of Leipzig, 133 – 147.
- Aulia, T. B, 2005, Ein Beitrag Zur Bruchmechanik Von Unbewehrtem Hochfesten Beton, Dissertation, University of Leipzig, 54 – 155.
- Chung, H. W., Epoxy Repaired Reinforced Concrete Beams, ACI Journal, Vol. 72, No. 5, May 1975, pp 233-234.
- Dipohosodo, I., 1994, Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Laitarawan, I, 2009, Buku Ajar Mekanika Bahan, Fakultas Teknik Universitas Hindu Indonesia, Denpasar.
- McCormac, J.C., 2001, Desain Beton Bertulang, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Mulyono, T., 2005, Teknologi Beton, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- NAHB Research Center, Inc., Testing and Assessment of Epoxy Injection Crack Repair for Residential Concrete Stem Walls and Slabs on Grade, Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering, July 2002, 24 pp.
- Nawy, Edward G., 1998, Beton Bertulang suatu Pendekatan Dasar, Cetakan II, PT Refika Aditama, Bandung.
- Neville, A M., 1999, Properties of Concrete, Longman, London.
- Park, R. And Paulay, T., 1975, Reinforced Concrete Structure, John Wiley & Sons. Inc., New York.
- Punmia, B.C, Ashok, K.J, and Arun, K.J., 2007, Limit State Design of Reinforced Concrete, Published By. Laxmi Publications (P) LTD. New Delhi. Penerbit: Firewall Media, 2007.
- Subakti , A., 1995, Teknologi Beton Dalam Praktek, Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya.
- Susiloriono, R., Dan Kusno. A. S., 2010, Perencanaan Beton Bertulang Lanjutan, Penerbit SPS, Semarang.
- Ujiyanto, M., 2006, Lendutan dan Kekakuan Balok Beton Bertulang dengan Lubang Segiempat di Badan, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Semarang.