

Analisa Retrofit Beton Pasca Kegagalan Dan Kelenturan Menggunakan Metode Injeksi *Epoxy*

Lukman Haidir Ali^a

^aTeknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sukabumi

DOI: <https://doi.org/10.18196/bce.v3i1.17671>

Abstrak

Pada saat ini, banyak sekali ditemukan kerusakan – kerusakan beton pada bangunan yang telah berdiri. Kerusakan pada beton umumnya mengalami retak (*crack*) yang disebabkan karena beberapa faktor yaitu faktor perubahan suhu, iklim, gempa bumi, pelaksanaan pengerjaan beton dan maintenance yang kurang diperhatikan. Beton yang mengalami retak dapat diperbaiki dengan metode injeksi *epoxy* tetapi syarat perbaikan adalah nilai kekuatan harus mendekati atau melebihi kekuatan sebelum retak. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan *epoxy* dalam memulihkan kekuatan pada beton. Benda uji beton $f_c' 20$ berupa balok dan silinder dengan dimensi balok $15 \times 15 \times 60 \text{ cm}^3$ dan silinder $\Phi 15$ tinggi 30 cm. pengujian dilakukan dengan 2 metode yaitu uji tekan dan lentur yang dilakukan pada umur 7, 14, 28 hari. Berdasarkan uji pembebanan injeksi *epoxy* mampu mengembalikan nilai kuat tekan mendekati bahkan melebihi nilai sebelum retak, dan untuk kuat lentur mampu mengembalikan rata-rata 50% nilai sebelum retak. Hal ini ditunjukkan bahwa dengan pencapaian nilai tersebut injeksi *epoxy* mampu mengembalikan nilai kuat tekan dan mampu mengisi celah-celah keretakan pada beton. Berdasarkan rangkaian kegiatan penelitian tersebut, maka sangat perlu diperhatikan proses injeksi seperti viskositas, perbandingan campuran dan kebersihannya agar diperoleh hasil yang lebih baik.

Kata-kata kunci: kerusakan, beton, retak, injeksi, *epoxy*.

Abstract

At this time, a lot of concrete damage was found in buildings that were already standing. Damage to concrete generally experiences cracks caused by several factors, namely changes in temperature, climate, earthquakes, implementation of concrete work and maintenance that is not given enough attention. Cracked concrete can be repaired using the epoxy injection method, but the repair requirement is that the strength value must approach or exceed the strength before cracking. The purpose of this study was to determine the strength of epoxy in restoring strength to concrete. The $f_c' 20$ concrete test specimens are in the form of blocks and cylinders with beam dimensions of $15 \times 15 \times 60 \text{ cm}^3$ and cylinders with dimension of $\Phi 15$ and height 30 cm. The test was carried out using 2 methods, namely compressive and flexural tests which were carried out at the age of 7, 14, and 28 days. Based on the epoxy injection loading test, it is able to restore compressive strength values close to even exceeding the pre-cracking values, and for flexural strength it is able to restore an average of 50% of the pre-cracking values. This shows that by achieving this value, epoxy injection is able to restore the compressive strength value and is able to fill cracks in the concrete. Based on the series of research activities, it is very necessary to pay attention to the injection process such as viscosity, mixture ratio and cleanliness in order to obtain better results.

Keywords: damage, concrete, crack, injection, *epoxy*.

Riwayat Artikel

Diserahkan
21 Desember 2022

Direvisi
3 Februari 2023

Diterima
20 Februari 2023

*Penulis korespondensi
alihaidir060@gmail.com

© 2023. Bulletin of Civil Engineering UMY

1 PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu material pokok yang digunakan sebagai struktur bangunan baik itu untuk gedung, jalan, jembatan, bendungan dan berbagai macam struktur yang memerlukan beton. Peran penting beton menyebabkan semua aspek teknisnya diatur dalam peraturan dan telah menjadi suatu standar (SNI, 2014). Beton yang baik sangat penting untuk mendapatkan struktur yang aman, nyaman dan tahan lama. Aman berarti mampu menerima beban mati maupun hidup

dengan baik, termasuk gempa sesuai dengan fungsinya. Nyaman dalam arti digunakan oleh pengguna, sehingga tidak merasa kuatir akan kekuatannya, dan tahan lama yaitu memiliki umur pemakaian yang panjang sesuai dengan perencanaannya.

Dalam pelaksanaan, pekerjaan beton mendapat perhatian yang sangat besar. Perubahan iklim dan beton dalam waktu lama bisa mengalami kegagalan, kerusakan lentur atau tekan, sehingga bisa terjadi retak dalam jumlah banyak. Hal ini tidak berlebihan karena pelaksanaan dan

pengawasan yang baik diharapkan menghasilkan beton yang baik pula.

Kerusakan terjadi biasanya terlihat berupa lendutan yang berlebihan, retakan, dan pengelupasan lapisan selimut beton. Secara teoritis, hal ini bisa disebabkan karena:

1. kelebihan tegangan akibat beban yang bekerja lebih besar dari kemampuan beton,
2. beton yang belum cukup umur untuk menerima beban,
3. peralihan fungsi bangunan, dan
4. kejadian alam seperti gempa bumi, longsor, Terpaan angin, dan lain-lain.

Upaya perbaikan yang bisa dilakukan salah satunya dengan cara injeksi *epoxy*. Injeksi ini diharapkan dapat mengisi celah-celah keretakan, sehingga tertutup keseluruhannya dan menyatukan bagian-bagian beton yang terpisah. Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya terkait dengan menginjeksi struktur beton menggunakan *epoxy* untuk perbaikan retak beton terhadap beban lentur (Herlambang & Setyono, 2019), untuk memperbaiki beton bertulang mutu tinggi dengan retak lentur (Puspita et al., 2018), dan juga untuk memperbaiki perilaku geser (*shear behaviour*) beton bertulang dengan mutu tinggi (Putri et al., 2018).

Namun kenyataan di lapangan, hasil dari penggunaan penggunaan injeksi *epoxy* tidak bisa terukur kekuatannya, yaitu hanya dapat dilihat secara visual saja dan hanya mengetahui seberapa besar kuat tekan, kuat lentur, dan kuat tarik dari material injeksi *epoxy* itu sendiri.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian bagaimana daya lekat injeksi *epoxy* pada beton terhadap kuat tekan dan kuat lentur pada struktur yang telah diperkuat material injeksi. Berdasarkan latar belakang tersebut, didapat permasalahan yaitu bagaimana pengaruh beton yang telah diinjeksi *epoxy* terhadap sifat mekanik beton (kuat tekan dan kuat lentur). Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui perilaku beton sebelum dan sesudah diperbaiki (*retrofitting*) menggunakan metode injeksi *epoxy* dan mengetahui kemampuan *epoxy* mengembalikan atau memperbaiki kekuatan beton.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Pekerjaan Persiapan

Dalam pekerjaan persiapan ini yang dilakukan adalah mempersiapkan material yang digunakan dalam pembuatan campuran adukan beton seperti pasir, kerikil, semen, *epoxy*. Pengujian pada agregat berupa pemeriksaan sifat-sifat fisik meliputi pemeriksaan berat jenis, absorpsi, berat volume, susunan butiran agregat, dan pemeriksaan kandungan bahan organik. Kemudian, cetakan dan peralatan lainnya untuk keperluan penelitian dipersiapkan. Cetakan benda uji yang digunakan adalah cetakan balok ukuran $15 \times 15 \times 60 \text{ cm}^3$ untuk pengujian lentur, untuk pengujian tekan cetakan benda uji silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sukabumi, Jawa Barat, Indonesia.

Material *epoxy* yang digunakan yaitu Nat Resin *Epoxy* Berkekuatan Tinggi *Conbextra* EP10TG *hardener* dan *base*

resin produk dari PT. Fosroc Indonesia, dengan perbandingan skala 1:5 (1 *hardener*: 5 *base resin*), serta penutup aliran injeksi yaitu Nitobon EC.

2.2 Perencanaan Beton

Detail tipe, dimensi, dan jumlah benda uji pada penelitian ini, disajikan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 Ukuran dan Jumlah Benda Uji

No	Nama Benda Uji	Dimensi Benda Uji	Jumlah
1	Balok Beton U-28	$15 \times 15 \times 60 \text{ cm}^3$	2
2	Silinder Beton U-7	D 15 cm, T 30 cm	2
3	Silinder Beton U-14	D 15 cm, T 30 cm	2
4	Silinder Beton U-28	D 15 cm, T 30 cm	2
Total Benda Uji			8

2.3 Pengujian Beton Sebelum Injeksi *Epoxy*

Pengujian pembebanan pada benda uji balok dengan ukuran $15 \times 15 \times 60 \text{ cm}^3$ dilakukan pada umur 28 hari atau maksimum pengeringan pada beton. Setelah ditimbang dan memenuhi syarat, benda uji balok beton diletakkan pada alat uji. Pembebanan dilakukan dengan memberikan 1-2 beban terpusat yang sama besarnya.

Lendutan dengan renggangan dimonitor setiap kenaikan beban $\pm 10 \text{ kg}$, beban diberikan secara bertahap $\pm 75\%$ dari beban puncak atau hingga beban uji mengalami retak dengan lebar kurang dari 1 mm. Adapun perilaku yang diamati adalah retak yang terjadi pada beton, yaitu retak awal dan jumlah retak awal.

Pengujian pembebanan pada benda uji silinder dengan dimensi 15 cm tinggi 30 cm dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari proses pengeringannya. Setelah memenuhi syarat, benda uji diletakkan pada alat pengtesan uji tekan, lalu dilakukan pembebanan bertahap hingga pada beban puncak dan dilihat nilai puncak yang diterima, untuk dibandingkan dengan hasil setelah proses perbaikan dengan *epoxy*.

2.4 Perbaikan Beton dengan Metode Injeksi *Epoxy*

Metode perbaikan dilakukan dengan menyuntikkan *epoxy* resin pada retakan-retakan yang terjadi pada beton dengan lebar retak maksimum 1 mm. Dengan terisinya celah-celah tersebut, diharapkan daya lekat beton dapat diperbaiki seperti kondisi semula. Injeksi *epoxy* membutuhkan keterampilan tinggi untuk hasil yang memuaskan, dan teknik penggunaannya terbatas oleh suhu lingkungan.

Langkah-langkah menurut PT.Fosroc Indonesia adalah sebagai berikut ini.

1. *Underplate grouting*.
2. *Formwork*.
3. Permukaan Pondasi.
4. Pelat Dasar.
5. Pencampuran.
6. Penempatan.

7. Pembersihan.

Komposisi epoxy yang digunakan, ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Komposisi Epoxy

Supply		
1	Conbextra EP10TG	5 liter / set
2	Nitoprime 25	1 & 5 litre packs
3	Fosroc Solvent 102	5 litre packs
Coverage		
1	Nitoprime 25	4.0 to 5.0 m ² / liter

2.5 Pengujian Beton diperbaiki dengan Injeksi Epoxy

Benda uji yang telah diperbaiki dengan injeksi epoxy diuji kembali dengan metode uji yang sama dengan pembebanan awal, namun beban diberikan hingga benda uji mengalami kehancuran. Pengujian dilakukan pada proses pengeringan maksimal yaitu 7 hari sesuai dengan Tabel 1 Spesifikasi Conbextra EP10TG (Indonesia, 2019).

Perilaku yang diamati pada pengujian akhir yaitu sebagai berikut:

1. retak yang terjadi dibandingkan dengan retak awal:
 - a) posisi retak,
 - b) jumlah retak,
 - c) lebar retak,
2. lendutan yang terjadi dibandingkan dengan lendutan sebelumnya,
3. beban maksimum yang dipikul benda uji setelah dilakukan perkuatan epoxy, dan
4. pola kehancuran.

2.6 Analisis Data

Analisis data yang ditampilkan yaitu :

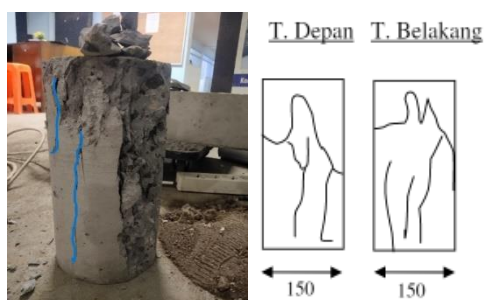
1. grafik gaya tekan sebelum dan sesudah epoxy,
2. pola retak hingga kehancuran pada beton, dan
3. perbandingan beton sebelum dan sesudah epoxy sebagai perbaikan terhadap kuat tekan dan lentur balok beton.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Kuat Beton

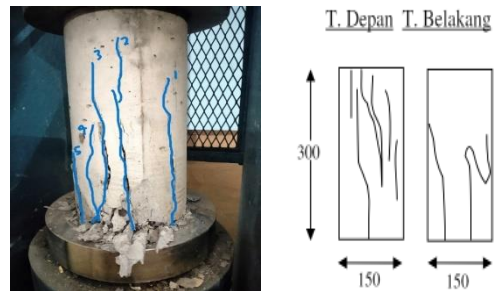
Pengujian awal

Pengujian awal benda uji umur 7, 14, dan 28 hari untuk jumlah, pola, dan lebar retak dapat dilihat pada Gambar 1.



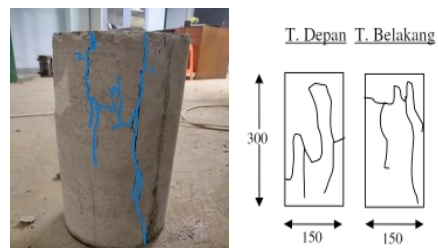
Gambar 1 Pengujian Umur 7 Hari.

Untuk pengujian umur 7 hari nilai kuat tekan benda uji yaitu 175-180 kN, benda uji mengalami retak yang umumnya vertikal, untuk lebar retak yaitu 0,5 - 2 mm, sedangkan untuk benda uji mengalami pola retak kerucut dan pecah (*cone & split*) dapat dilihat pada Gambar 2. Retak yang terjadi, serupa dengan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Qomariah dan Lestari (Qomariah & Lestari, 2022), terkait dengan keretakan beton normal, yaitu retak yang merambat hingga menyebabkan pecah pada spesimen silinder beton.



Gambar 2 Pengujian Umur 14 Hari

Untuk pengujian umur 14 hari nilai kuat tekan benda uji 315-322 kN, silinder mengalami retak yang umumnya juga vertikal tapi untuk retak yang dialami terdapat 5 retakan terpusat dan lebarnya 0,5 - 3,8mm dan pola retak *columnar* dapat dilihat pada Gambar 3.

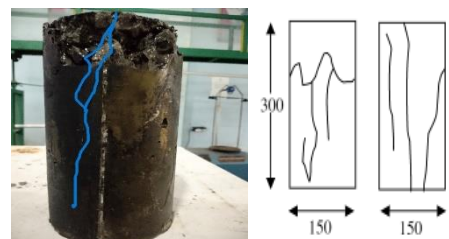


Gambar 3 Pengujian Umur 28 Hari

Sedangkan pengujian umur 28 hari nilai kuat tekan benda uji 380 kN, silinder mengalami retak vertikal terpusat sebanyak 3 buah dan lebar retak yang dialami berkisar 0.5 - 3.5 mm. Pola kehancuran cenderung berada di atas dan bawah permukaan, serta termasuk dalam pola retak kerucut dan geser.

Pengujian setelah diinjeksi

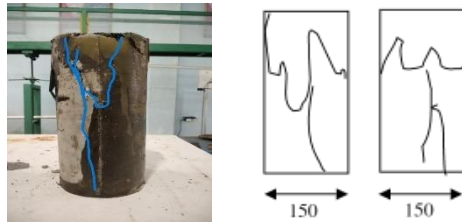
Pengujian benda uji umur 7, 14, dan 28 hari setelah diinjeksi diumur maksimal epoxy itu sendiri yaitu 7 hari dari dilakukannya injeksi. Untuk pengujiannya bisa dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Umur 7 Hari setelah diinjeksi Epoxy

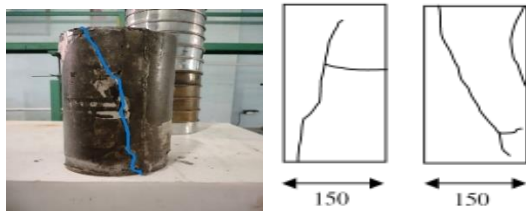
Pada pengujian ini beton mengalami kehancuran yang parah, maka dibutuhkan 600cc epoxy yaitu 100cc hardener dan 500cc base resin dengan perbandingan 1:5 untuk memperbaikinya. Hasil pengujian kuat tekan

diperoleh sebesar 310-335 kN, dan terbukti mampu melebihi kuat sebelumnya, serta pola retak yang terjadi hanya di beban terpusat karna cairan *epoxy* mampu melekat pada celah celah beton dan termasuk dalam pola retak kerucut dan pecah, yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Umur 14 Hari setelah diinjeksi *Epoxy*

Pada pengujian ini, beton mengalami kehancuran yang cukup parah, maka dibutuhkan 500cc *epoxy* untuk memperbaikinya dan terbukti pengujian kuat tekan sebesar 305-335 kN mampu melebihi kuat sebelumnya. Pola retak yang terjadi hanya di beban terpusat karena cairan *epoxy* mampu melekat pada celah-celah beton, yang dapat dilihat pada Gambar 6.

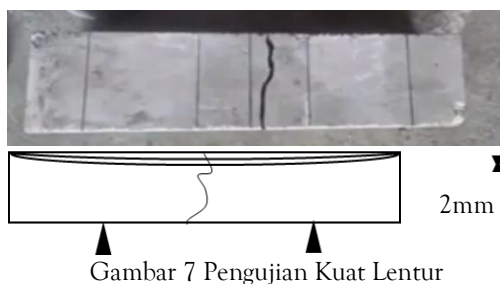


Gambar 6 Umur 28 Hari setelah diinjeksi *Epoxy*

3.2 Pengujian Kuat Lentur

Pengujian awal

Pengujian awal benda uji balok umur 28 hari, yang diamati di pengujian ini yaitu lendutan yang terjadi, beban maksimal yang diterima dan retak pada benda uji. Retakan benda uji dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Pengujian Kuat Lentur

Pada pengujian kuat lentur, secara bertahap benda uji diberikan beban 2 -3 kN agar dapat dilihat perilaku yang terjadi. Pada pembebanan di 17 kN, lendutan pada balok mencapai 1 mm, retak mulai terjadi di beban 19 kN dan balok runtuh di pembebanan 21-25 kN.

Pengujian setelah diinjeksi

Untuk pengujian ini, yang diamati sama seperti pengujian awal, yaitu pembebanan mulai diberikan secara bertahap dan pada beban 5-6 kN balok mulai mengalami lendutan 0,5mm hingga sampai beban di 12-15 kN balok belah dan lendutan maksimal setelah diinjeksi mencapai 1 mm. Sehingga, dapat dikatakan injeksi *epoxy* cukup mampu mengembalikan kuat lentur pada balok.

Pengujian dan hasil injeksi bisa dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8 Balok Umur 28 Hari setelah diinjeksi *Epoxy*



Gambar 9 Cairan *Epoxy* mampu melekat dan mengisi Celah-celah Beton

3.3 Perbandingan Data

Dari hasil data yang didapat pada pengujian beton diatas, maka untuk perbandingan data pengujian pembebanan dapat dilihat seperti Tabel 3.

Table 3 Resume Uji Pembebanan *Silinder* dan Balok sebelum dan sesudah Injeksi *Epoxy*

Umur Benda Uji (Hari)	No	Beban Retak Kondisi Awal (kN)	Beban Retak Setelah Diinjeksi (kN)	Selisih Beban (kN)	Presentasi Selisih (%)	Presentase Rata-rata (%)
7	1	180	335	155	186,1	181,6
	2	175	310	135	177,1	
14	3	315	335	20	106,3	100,5
	4	322	305	-17	94,7	
28	5	380	360	-20	94,7	96,4
	6	377	370	-7	98,1	

Dari hasil data pengujian kuat lentur diatas, maka untuk perbandingan data pengujian kuat lentur dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Resume Uji Pembebanan Balok sebelum dan sesudah Injeksi *Epoxy*

Umur Benda Uji (Hari)	No	Beban Retak Kondisi Awal (kN)	Beban Retak Setelah Diinjeksi (kN)	Selisih Beban (kN)	Persentase Selisih (%)	Presentase Rata-rata (%)
28	7	21	15	-6	71,4	59,7
	8	25	12	-13	48	

Dari data Tabel 3 dan 4, dapat dilihat nilai pembebanan kuat tekan dan lentur akan dikonversikan ke dalam nilai kuat tekan dan lentur beton, dimana menjadi syarat kekuatan beton yaitu dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5 Konversi Kuat Tekan sebelum Injeksi Epoxy

Umur Benda Uji	No	Luas	Hasil Kuat Tekan Sebelum Injeksi Epoxy		Hasil Kuat tekan
			kN	N	
7	1	17662,5	180	180000	10,19
	2	17662,5	175	175000	9,9
14	3	17662,5	315	315000	17,83
	4	17662,5	322	322000	18,23
28	5	17662,5	380	380000	21,51
	6	17662,5	377	377000	21,34

Tabel 6 Konversi Kuat Tekan setelah Injeksi Epoxy

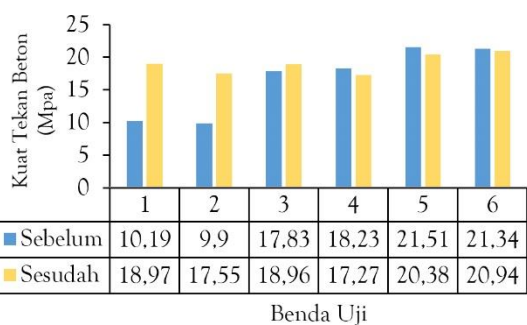
Umur Benda Uji	No	Luas	Hasil Kuat Tekan Sebelum Injeksi Epoxy		Hasil Kuat Tekan
			kN	N	
7	1	17662,5	335	335000	18,97
	2	17662,5	310	310000	17,55
14	3	17662,5	335	335000	18,96
	4	17662,5	305	305000	17,27
28	5	17662,5	360	360000	20,38
	6	17662,5	370	370000	20,94

Tabel 7 Konversi Kuat Lentur sebelum Injeksi Epoxy

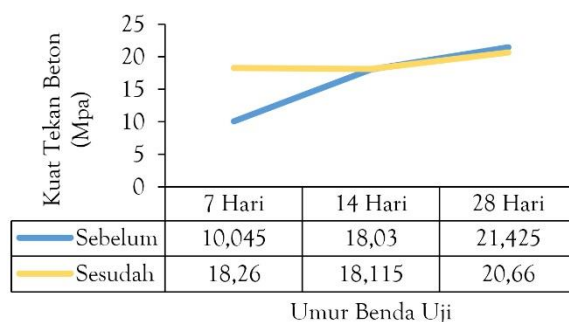
Umur Benda Uji (Hari)	No	PL (Kg/cm)	Sebelum Injeksi Epoxy (kN)	B D2 (cm)	Hasil Kuat tekan (Kg/cm ²)
28	7	96362,6	21	3375	28,55
	8	114717,4	25	3375	33,99

Tabel 8 Konversi Kuat Lentur sebelum Injeksi Epoxy

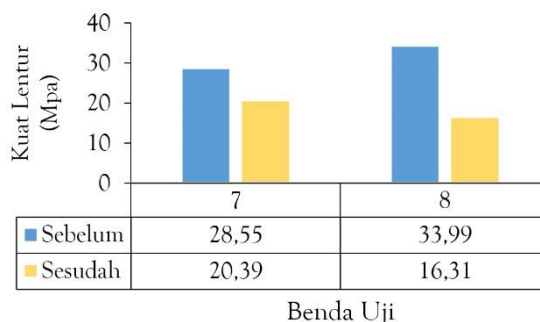
Umur Benda Uji (Hari)	No	PL (Kg/cm)	Sebelum Injeksi Epoxy (kN)	B D2 (cm)	Hasil Kuat tekan (Kg/cm ²)
28	7	68830,4	15	3375	20,39
	8	55064,3	12	3375	16,31



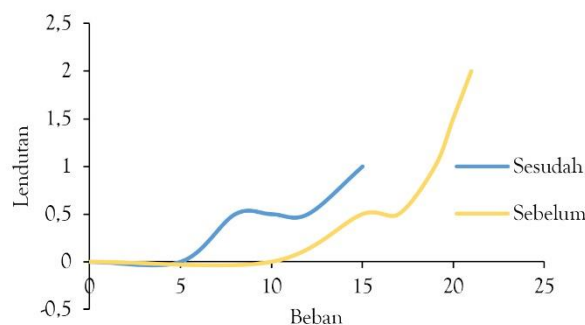
Gambar 10 Grafik Kuat Tekan Beton sebelum dan sesudah Injeksi Epoxy



Gambar 11 Grafik Kuat Tekan Beton sebelum dan sesudah Injeksi Epoxy



Gambar 12 Grafik Kuat Lentur Beton sebelum dan sesudah Injeksi Epoxy



Gambar 13 Grafik hubungan Beban dan Lendutan pada Balok

Sesuai dengan Tabel 7 dan Tabel 8, serta grafik pada Gambar 11 dan Gambar 13, dapat disimpulkan bahwa injeksi epoxy mampu untuk memperbaiki atau mengembalikan kondisi kekuatan benda uji silinder setelah retak. Pada umur beton 7 dan 14 hari injeksi epoxy mampu merubah banyak sehingga nilai kuat tekan melebihi nilai kuat aslinya dan untuk umur beton 28 hari bisa dikatakan hampir mengembalikan kuat tekan aslinya. Hasil penelitian sebelumnya, juga mendukung hasil pada penelitian ini (Karayannis et al., 1998; Marthong et al., 2013, 2016). Untuk balok beton umur 28 hari injeksi epoxy mampu mengembalikan kuat lentur melebihi setengah dari kuat lentur awal yaitu 62%, ini dikatakan bahwa pada pembebanan balok lentur selain epoxy mampu mengisi celah-celah pada beton epoxy mampu melekat dengan kuat dimana balok beton bisa diuji kembali dengan baik. Hasil ini didukung dengan hasil penelitian oleh peneliti sebelumnya, yang juga melakukan perbaikan perilaku lentur pada retak balok beton menggunakan resin epoxy (Bhikshma et al., 2010), yang hasil perbaikan

kapasitas lenturnya dapat kembali mencapai 90% beban awal.

Faktor-faktor yang mempengaruhi benda uji silinder bisa kembali seperti semula bahkan bisa melebihi kekuatan sebelum injeksi yaitu komposisi atau penggunaan *epoxy* itu sendiri, semakin banyak penggunaannya maka semakin tinggi pula nilai kuat yang didapat dan dapat disimpulkan bahwa metode injeksi *epoxy resin* mampu memperbaiki kerusakan atau mengembalikan nilai kuat beton yang mengalami kerusakan.

4 KESIMPULAN

Dari semua pengujian diatas bisa dinyatakan Injeksi *Epoxy Resin* mampu mengembalikan nilai mekanik pada beton yang mengalami *cracks*. Prosedur pencampuran *Epoxy* dengan kode sampel *Conbextra EP10TG Hardener* dan *Base Resin 1:5* sangat berpengaruh pada pengujian ini, karna suhu yang dihasilkan pada saat pencampuran aman. Dari metode injeksi *epoxy* ini dapat disimpulkan bahwa pengaruh kapasitas *epoxy* sendiri dapat berpengaruh terhadap pembebanan yang dimana takaran *epoxy* banyak dapat mempengaruhi kuat tekan.

5 UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sukabumi, Jawa Barat, Indonesia atas izin yang diberikan untuk melakukan penelitian ini.

6 DAFTAR PUSTAKA

Bhikshma, V., Reddy, M. K., & Sunitha, K. (2010). Experimental Study On Rehabilitation Of Rc Beams Using Epoxy Resins. In *Asian Journal Of Civil Engineering (Building And Housing)* (Vol. 11, Issue 4).
Herlambang, F. S., & Setyono, E. Y. (2019). Analisis Injeksi Epoxy Pada Perbaikan Retak Beton

Terhadap Beban Lentur. *Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*, 23(2), 47-55.
Indonesia, F. (2019). Spesifikasi Conbextra EP10TG. *PT. Fosroc Indonesia, Jakarta*.
Karayannis, C. G., Chalioris, C. E., & Sideris, K. K. (1998). Effectiveness Of Rc Beam-Column Connection Repair Using Epoxy Resin Injections. In *Journal of Earthquake Engineering* (Vol. 02, Issue 2). www.worldscientific.com
Marthong, C., Dutta, A., & Deb, S. K. (2013). Seismic rehabilitation of rc exterior beam-column connections using epoxy resin injection. *Journal of Earthquake Engineering*, 17(3), 378-398. <https://doi.org/10.1080/13632469.2012.738284>
Marthong, C., Dutta, A., & Deb, S. K. (2016). Study on size effect of RC and rehabilitated exterior beam-column connections under cyclic loading. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 20(5), 586-610. <https://doi.org/10.1080/19648189.2015.1056385>
Puspita, F. F., Aulia, T. B., & Afifuddin, M. (2018). Analisis Retak Lentur Pada Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi Yang Diperbaiki Dengan Injeksi Epoxy. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(4), 831-844.
Putri, C. R. E., Aulia, T. B., & Saidi, T. (2018). Perilaku Geser Pada Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi Setelah Retak Yang Diperbaiki Dengan Injeksi Epoxy. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(4), 799-810.
Qomariah, Q., & Lestari, A. D. (2022). Analisis Perambatan Retak Dan Hasil Sem Pada Beton Normal Dengan Substitusi Pasir Limbah Sunblasting. *Jurnal Teknik Ilmu & Aplikasi*, 3(2), 135-141.
SNI. (2014). Metode Uji Kekuatan Lekat Sistem Epoxy-Resin Pada Beton Dengan Cara Tekan dan Geser. *Badan Standarisasi Nasional (BSN)*, 8054.