

Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Yang Diperbaiki Dengan *Unsaturated Polyester Resin (UPR)*

¹⁾Annisa Rizki, ²⁾Aldilla Arifatunurrillah, ³⁾SA Kristiawan, ⁴⁾Agus Supriyadi,
^{1,2)}Mahasiswa Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta
^{3), 4)}Pengajar Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta
Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta, Jln Ir. Sutami 36A,
Surakarta 57126
Email : annisarizki1994@gmail.com

Abstract

Environmental factors may trigger corrosion of concrete reinforcement, thus causing damage to the concrete which started with the appearance of cracks leading to the loss of concrete cover (delamination). To restore the concrete strength which is reduced due to delamination, it is necessary to recover the delaminated concrete by patch repair method. This research investigates flexural behaviour of reinforced concrete beams that have been repaired with UPR-based patch repair mortar. The method used is an experimental method consisting a total specimen 3 pieces where 1 specimen represents a normal reinforced concrete beam (BN) and the other 2 specimens are those of reinforced concrete beams repaired with variation patching length i.e. 400 mm (BR1) and 2000 mm (BR2) on the tensile area. The results of this study indicate the influence of patching on the flexural behaviour of reinforced concrete beams.

Keywords: reinforced concrete beam, UPR-based patch repair mortar, flexural behavior, repairing method, spalling

Abstrak

Faktor lingkungan dapat memicu korosi pada tulangan beton, sehingga menyebabkan kerusakan pada beton berupa timbulnya retak hingga berakibat lepasnya permukaan selimut beton (delaminasi). Untuk mengembalikan kekuatan yang berkurang akibat delaminasi, perlu dilakukan perbaikan pada beton tersebut dengan metode penambalan. Pada makalah ini akan dikaji tentang perilaku lentur pada balok beton bertulang yang telah diperbaiki dengan UPR-based patch repair mortar. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental dengan 3 benda uji berbentuk balok dengan rincian 1 balok diberi perbaikan sepanjang 40 cm di bagian lentur, 1 balok diberi perbaikan di sepanjang bagian lentur dan 1 balok dengan keadaan normal. Hasil dari penelitian ini adalah perubahan perilaku lentur pada balok beton bertulang yang diperbaiki menggunakan UPR-based patch repair mortar terhadap balok beton bertulang normal.

Kata kunci : balok beton bertulang, UPR-based patch repair mortar, perilaku lentur, metode perbaikan, spalling

PENDAHULUAN

Perkembangan dunia konstruksi dan pembangunan infrastruktur di Indonesia menjadi salah satu faktor pendorong meningkatnya penggunaan beton sebagai material dalam konstruksi. Dewasa ini, beton adalah salah satu material yang paling digemari dalam dunia konstruksi. Hal tersebut berkaitan dengan beberapa kelebihan yang dimiliki oleh beton yakni memiliki kuat tekan (*compressive strength*) yang tinggi, bersifat monolit (tidak memerlukan sambungan seperti baja), mudah dibentuk, mudah didapat, merupakan bahan yang tahan api, serta memiliki ketahanan (*durability*) yang baik terhadap cuaca yang ekstrim dan lingkungan tanpa kehilangan kemampuan integritas strukturnya. Namun disamping itu beton juga memiliki kekurangan yakni berat sendiri beton yang besar sekitar 2400 kg/m³, nilai kuat tariknya rendah, adanya deformasi, dan bersifat getas (tidak daktil). Penambahan tulangan pada beton dilakukan untuk mengatasi minimnya nilai kuat tarik beton. Faktor lingkungan dapat memicu korosi pada tulangan beton yang kemudian dapat menyebabkan kerusakan pada beton berupa timbulnya retak hingga berakibat lepasnya sebagian permukaan selimut beton.

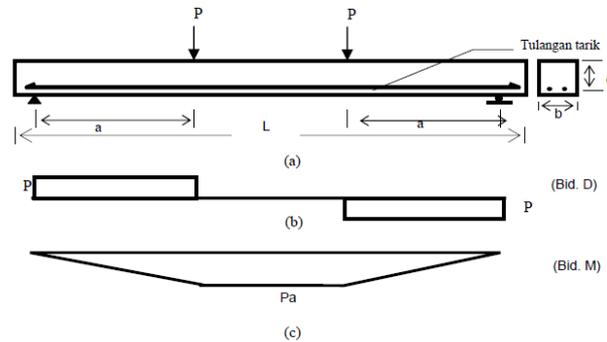
Untuk mengembalikan daya dukung konstruksi beton yang berkurang akibat kerusakan tersebut, perlu dilakukan perbaikan pada beton tersebut. Perbaikan dilakukan dengan metode penambalan dan material yang digunakan harus memenuhi kriteria sebagai bahan tambal. Pada beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji tentang kemampuan lentur balok beton bertulang yang diperbaiki dengan *UPR-Based Patch Repair Mortar* yang menunjukkan bahwa penggunaan UPR sebagai bahan perbaikan dapat meningkatkan kemampuan balok dalam menahan beban maksimum, meningkatkan daktilitas balok dan dapat mengubah pola retak yang terjadi di daerah lentur. Pada penelitian ini akan dikaji lebih lanjut mengenai pengaruh panjang penambalan terhadap perilaku lentur

balok beton bertulang yang diperbaiki dengan UPR-Mortar sehingga didapatkan perbedaan kapasitas yang terjadi pada balok perbaikan.

LANDASAN TEORI

Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang

Pengujian kapasitas lentur balok digunakan untuk mengetahui perilaku keretakan ataupun model keruntuhan yang terjadi dan mengetahui besarnya nilai tegangan lentur dari suatu benda uji balok. Dalam analisa lentur balok beton bertulang dikenal adanya momen retak, momen leleh pertama dan momen maksimum yang dapat dihitung berdasarkan pola pembebanan pada saat pengujian adalah seperti pada Gambar 1.



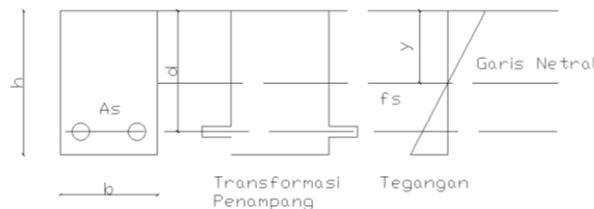
Gambar 1. Gaya Lintang dan Momen yang Terjadi Akibat Beban P

a) Momen Retak

Momen retak adalah momen yang terjadi pada saat terjadi retak pertama pada benda uji balok. Besarnya momen retak dapat dihitung dengan persamaan:

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_y}{y_b} \dots\dots\dots (1)$$

Untuk balok beton bertulang perhitungan dilakukan dengan transformasi luas baja tulangan ke dalam bentuk luasan beton seperti pada Gambar.



Gambar 2. Analisis Tampang Balok Komposit Beton Bertulang

Dengan mentransformasikan luas baja tulangan ke dalam luasan beton dengan faktor (n) diperoleh luas penampang transformasi (A_{tr}) yang digunakan untuk menghitung momen inersia utuh (I_g) sebagai berikut :

$$n = \frac{E_s}{E_c} \dots\dots\dots (2)$$

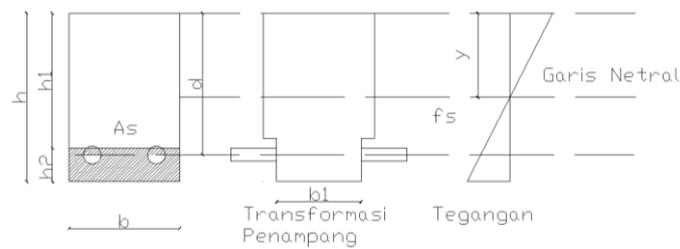
$$A_{tr} = b \cdot h + (n - 1) \cdot A_s \dots\dots\dots (3)$$

$$y_t = \frac{\frac{h}{2} \cdot b \cdot h + (n - 1) \cdot A_s \cdot d}{A_{tr}} \dots\dots\dots (4)$$

$$y_b = h - y_t \dots\dots\dots (5)$$

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 + b \cdot h \cdot (y_t - \frac{h}{2})^2 + (n - 1) \cdot A_s \cdot (d - y_t)^2 \dots\dots\dots (6)$$

Untuk balok beton bertulang dengan perbaikan, perhitungan dilakukan dengan transformasi luas baja tulangan dan luas material perbaikan ke dalam bentuk luasan beton seperti pada Gambar.



Gambar 3. Analisis Tampang Balok Komposit Beton Bertulang dengan Tambalan

Dengan mentransformasikan luas baja tulangan dan luas material perbaikan ke dalam luasan beton dengan faktor (n) diperoleh luas penampang transformasi (A_{tr}) yang digunakan untuk menghitung momen inersia utuh (I_g) sebagai berikut :

$$n_1 = \frac{E_s}{E_c} \dots\dots\dots (7)$$

$$n_2 = \frac{E_p}{E_c} \dots\dots\dots (8)$$

$$A_{tr} = b \cdot h_1 + (n_1 - 1) \cdot A_s + n_2 \cdot b \cdot h_2 \dots\dots\dots (9)$$

$$b_1 = \frac{(A_{tr} - (b \cdot d))}{h_2} \dots\dots\dots (10)$$

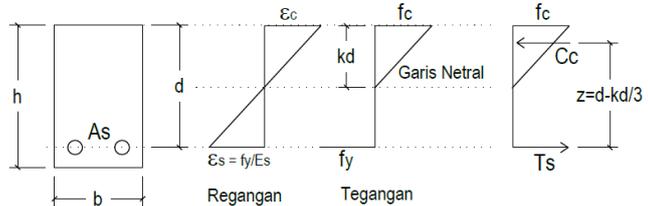
$$y_t = \frac{(b \cdot h_1 \cdot \frac{h_1}{2}) + (n_1 - 1) \cdot A_s \cdot d + [b_1 \cdot h_2 \cdot (\frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2})]}{A_{tr}} \dots\dots\dots (11)$$

$$y_b = h - y_t \dots\dots\dots (12)$$

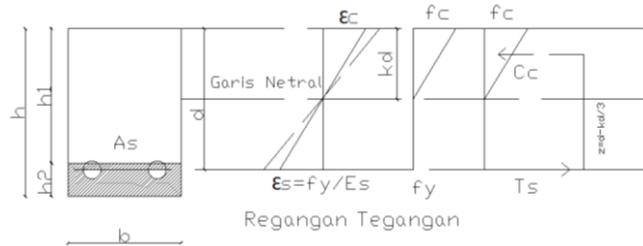
$$I_g = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h_1^3 + b \cdot h_1 \cdot (y_t - \frac{h_1}{2})^2 + (n_1 - 1) \cdot A_s \cdot (d - y_t)^2 + \frac{1}{12} \cdot b_1 \cdot h_2^3 + b_1 \cdot h_2 \cdot (y_b - \frac{h_2}{2})^2 \dots\dots\dots (13)$$

b) Momen Leleh Pertama

Momen leleh pertama adalah momen yang terjadi pada saat terjadi leleh pertama pada benda uji balok. Balok beton bertulang dan balok beton bertulang dengan perbaikan dapat digunakan perhitungan yang sama.



Gambar 4. Analisis Tampang Balok Komposit Komposit Pada Saat Leleh Pertama



Gambar 5. Analisis Tampang Balok *Repair* Pada Saat Leleh Pertama

Untuk menghitung momen pada saat terjadi leleh pertama diasumsikan beton berperilaku elastis, dapat ditulis dengan persamaan :

$$k = \sqrt{\rho^2 n^2 + 2\rho \cdot n - \rho \cdot n} \dots\dots\dots (14)$$

$$\epsilon_s = \frac{f_y}{E_s} \dots\dots\dots (15)$$

Dari diagram regangan diperoleh :

$$\epsilon_c = \epsilon_s \cdot \frac{k \cdot d}{d - k \cdot d} \dots\dots\dots (16)$$

$$f'_c = \epsilon_c \cdot E_c \dots\dots\dots (17)$$

Selanjutnya dapat diperoleh momen pada saat leleh pertama berdasarkan perbandingan diagram tegangan.

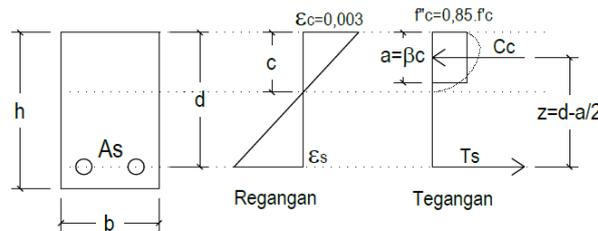
$$C_c = 0,5 \cdot f'_c \cdot b \cdot k \cdot d \dots\dots\dots (18)$$

$$M_y = C_c \cdot (z) = T_s \cdot (z) \dots\dots\dots (19)$$

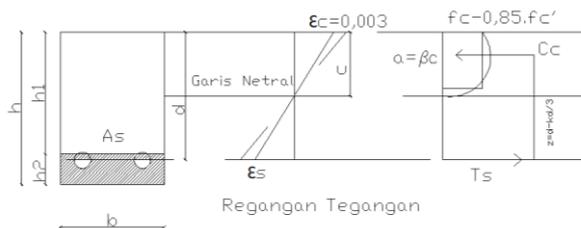
$$M_y = 0,5 \cdot f'_c \cdot b \cdot k \cdot d \cdot (z) = A_s \cdot f_y \cdot (z) \\ = 0,5 \cdot f'_c \cdot b \cdot k \cdot d \left(d - \frac{kd}{3} \right) = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{kd}{3} \right) \dots\dots\dots (20)$$

c) Momen Ultimit

Momen ultimit adalah momen maksimum yang terjadi pada pengujian benda uji balok. Besarnya momen ultimit diperoleh dari kesetimbangan gaya-gaya dalam C (resultante gaya tekan) dan T (resultante gaya tarik) yang membentuk suatu kopel momen tahanan dalam jarak $z=d-a/2$, dengan d adalah tinggi efektif.



Gambar 6. Analisis Tampang Balok Beton Bertulang Pada Saat Beban Maksimum



Gambar 7. Analisis Tampang Balok *Repair* Pada Saat Beban Maksimum

Untuk menganalisis kapasitas lentur balok beton bertulang, digunakan persamaan keseimbangan :

$$\Sigma F_x = 0, \text{ sehingga } C_c = T_s \\ 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (21)$$

Sehingga diperoleh nilai a

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \dots\dots\dots (22)$$

Dengan mendistribusikan nilai a, diperoleh :

$$M_n = C_c \cdot (z) = T_s \cdot (z) \dots\dots\dots (23)$$

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (24)$$

$$M_u = \phi \cdot M_n \dots\dots\dots (25)$$

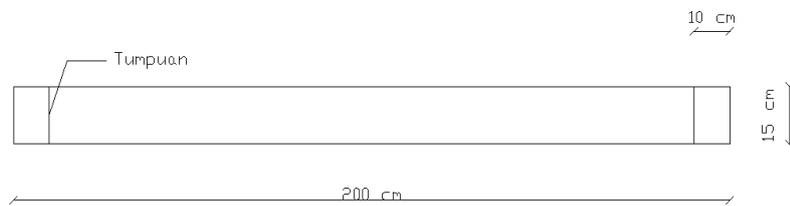
METODELOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental laboratorium dengan benda uji balok beton bertulang berukuran panjang 2000 mm, lebar 150 mm dan tinggi 250 mm, dengan tulangan lentur diameter 13 mm. Pengujian dilakukan pada umur beton 90 hari. Total benda uji sebanyak 3 buah dengan spesifikasi 1 buah berupa balok beton bertulang normal (BN) dan 2 buah berupa balok beton bertulang dengan variasi panjang penambalan 400 mm (BR1) dan 2000 mm (BR2) pada bagian tarik balok.

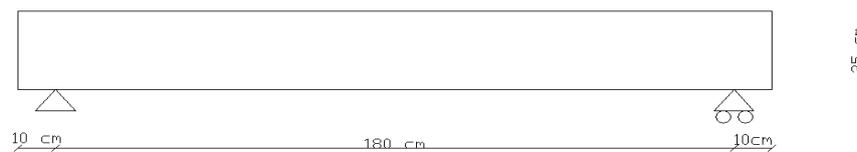
Tabel 1. Spesifikasi Benda Uji Balok Beton Bertulang

Kode Benda Uji	Ukuran (PxLxT) (mm)	Tulangan Lentur	Tulangan Sengkang	Variasi Penambalan (PxLxT) (mm)
BN	2000x150x250	2 D 13mm	Ø 6 mm – 100mm	-

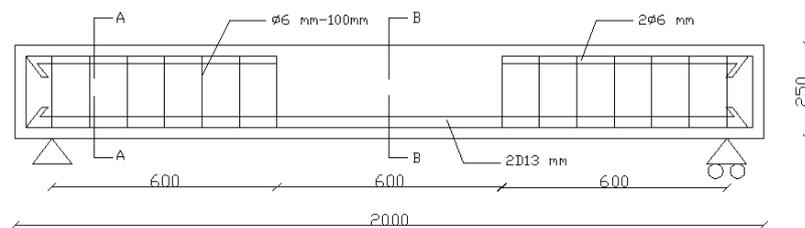
BR1	2000x150x250	2 D 13mm	Ø 6 mm – 100mm	400x150x70
BR2	2000x150x250	2 D 13mm	Ø 6 mm – 100mm	2000x150x70



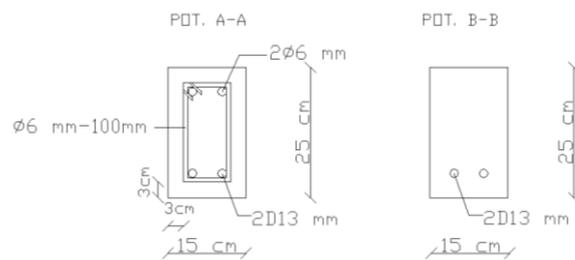
(a) Tampak Bawah



(b) Tampak Samping

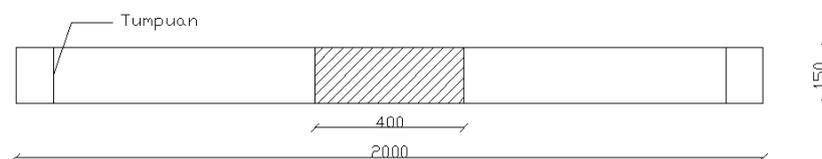


(c) Detail Penulangan Balok Beton Bertulang

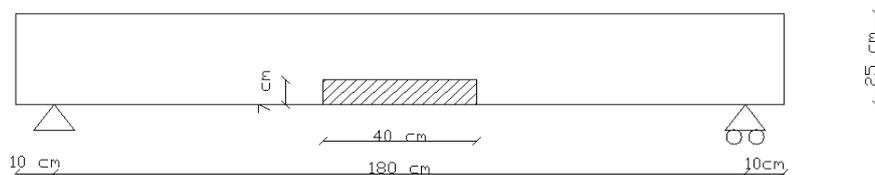


(d) Potongan Melintang Benda Uji Normal

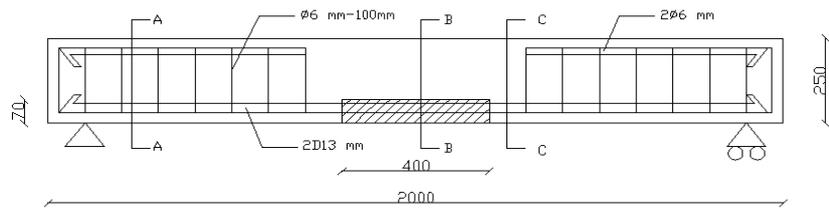
Gambar 8. Sketsa Benda Uji Balok Normal



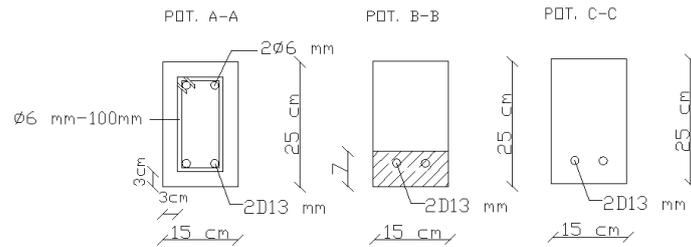
(a) Tampak Bawah



(b) Tampak Samping

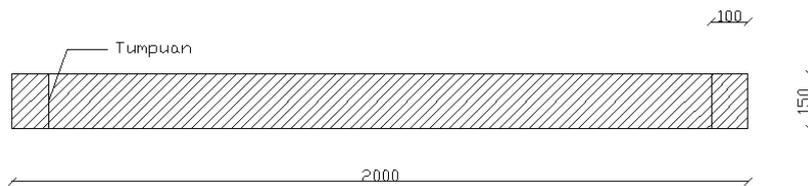


(c) Detail Penulangan Balok Beton Bertulang *Repaired* 40 cm

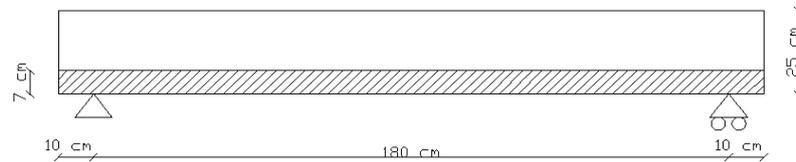


(d) Potongan Melintang Balok Beton Bertulang *Repaired* 40 cm

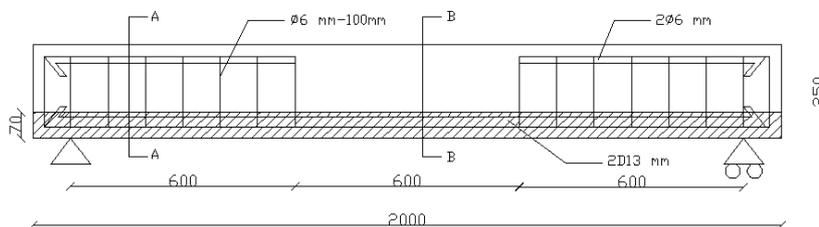
Gambar 9. Sketsa Benda Uji Balok Perbaikan 40 cm



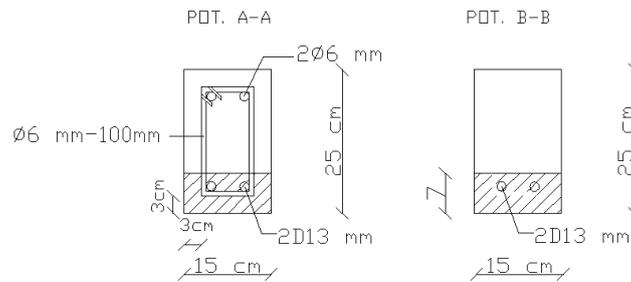
(a) Tampak Bawah



(b) Tampak Samping



(c) Detail Penulangan Balok Beton Bertulang *Repaired* 200 cm



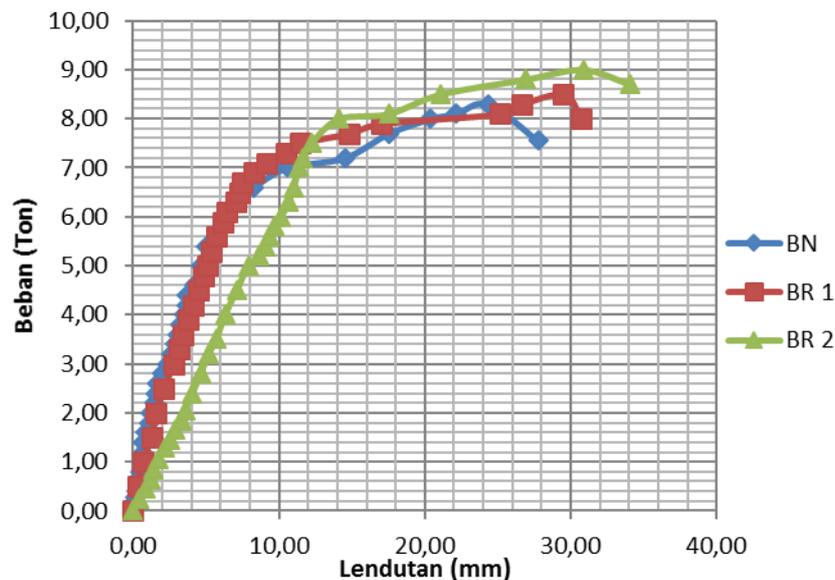
(d) Potongan Melintang Balok Beton Bertulang *Repaired* 200 cm

Gambar 10. Sketsa Benda Uji Balok Perbaikan 200 cm

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang

a) Data Hubungan antara Beban dan Lendutan



Gambar 11. Grafik Hubungan antara Beban dan Lendutan Benda Uji Balok

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa pada beban awal hingga beban leleh dapat dilihat bahwa defleksi pada balok normal dan balok perbaikan mengalami kenaikan yang hampir sama atau linear. Linear yang dimaksud disini adalah penambahan defleksi yang terjadi terhadap beban memiliki kenaikan yang proporsional. Namun setelah balok mengalami leleh, kenaikan defleksi yang terjadi terhadap beban tidak lagi proporsional dan bertambah besar sehingga balok perbaikan mengalami defleksi yang lebih besar dibandingkan dengan balok normal setelah balok mencapai leleh.

Hal ini dipengaruhi oleh penambahan UPR pada daerah lentur yang mempengaruhi pola retak yang terjadi. Retak pada balok beralih pada posisi yang tidak diberi perkuatan UPR. Akibat persebaran retak yang tidak merata maka kepadatan daerah beton pun tidak sama sehingga kekuatan dalam memikul beban berbeda. Adanya perbedaan konsentrasi dalam memikul beban menyebabkan daktilitas balok bertambah, sehingga defleksi balok perbaikan lebih besar.

b) Kapasitas Lentur

Momen Retak

Momen retak adalah momen yang terjadi pada saat retak pertama pada benda uji balok. Beban pada retak awal dari hasil pengujian digunakan untuk menentukan momen retak yang terjadi sehingga selanjutnya dapat membandingkan momen retak dari hasil pengujian dengan momen retak hasil analisis yang akan ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 2. Nilai Beban pada Retak Awal dan Momen Retak yang terjadi pada Balok Beton Bertulang

Benda Uji	Beban Retak Awal (Ton)		Momen Retak Awal Analisis (Ton.m)	Momen Retak Awal Uji (Ton.m)
	Beban Analisis	Beban Uji		
BN	2,22	2,40	0,665	0,720
BR1	4,54	3,00	1,362	0,900
BR2	4,54	3,20	1,362	0,960

Berdasarkan data diatas dapat dilihat bahwa nilai beban dan momen retak awal dari hasil pengujian lebih besar daripada hasil analisisnya untuk balok normal. Sedangkan pada balok perbaikan nilai beban dan momen retak awal dari hasil analisis lebih besar dari hasil pengujianya. Hal tersebut terjadi karena penambahan UPR dapat menimbulkan penyebaran gaya yang diterima balok sehingga retak awal pada balok perbaikan tidak selalu terjadi di tengah bentang. Sedangkan hasil analisis perhitungan balok perbaikan diasumsikan bahwa retak awal terjadi di tengah bentang.

Dari pengujian didapatkan bahwa momen retak yang terjadi pada balok perbaikan lebih besar daripada balok normal. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan UPR sebagai bahan perbaikan menyebabkan momen retak awal balok meningkat. Momen retak awal yang terjadi pada balok dengan perbaikan disepanjang daerah lentur lebih besar dari balok dengan perbaikan 40 cm, maka variasi panjang penambalan juga turut mempengaruhi peningkatan momen retak awal yang terjadi pada balok. Semakin besar panjang penambalan, maka momen yang terjadi juga semakin besar.

Momen Leleh

Momen leleh adalah momen yang terjadi pada saat terjadinya leleh pertama pada benda uji balok. Beban yang didapatkan dari hasil pengujian digunakan untuk menentukan momen leleh yang terjadi sehingga selanjutnya dapat membandingkan momen leleh dari hasil pengujian dengan momen leleh hasil analisis yang akan ditampilkan pada tabel dibawah.

Tabel 3. Nilai Beban saat Leleh dan Momen Leleh yang terjadi pada Balok Beton Bertulang

Benda Uji	Beban Leleh (Ton)		Momen Leleh Analisis (Ton.m)	Momen Leleh Uji (Ton.m)
	Beban Analisis	Beban Uji		
BN	6,64	6,60	1,991	1,980
BR1	6,64	7,10	1,991	2,130
BR2	6,64	7,50	1,991	2,250

Berdasarkan data pengujian diatas dapat dilihat bahwa momen leleh yang terjadi pada balok perbaikan lebih besar daripada momen leleh yang terjadi pada balok normal. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan UPR sebagai bahan perbaikan menyebabkan momen leleh balok meningkat. Variasi panjang penambalan juga turut mempengaruhi peningkatan momen leleh yang terjadi pada balok. Semakin panjang penambalan yang diberikan, momen leleh yang terjadi pun semakin meningkat.

Momen Ultimit

Momen ultimit adalah momen maksimum yang terjadi pada pengujian benda uji balok. Dari pengujian didapatkan beban maksimum yang terjadi sehingga dapat kita bandingkan momen maksimum yang terjadi antara balok beton bertulang normal dengan balok beton bertulang perbaikan. Perbandingan tersebut akan disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4. Nilai Beban Ultimit dan Momen Ultimit yang terjadi pada Balok Beton Bertulang

Benda Uji	Beban Ultimit (Ton)		Momen Ultimit Analisis (Ton.m)	Momen Ultimit Uji (Ton.m)
	Beban Analisis	Beban Uji		
BN	6,91	8,30	2,072	2,490
BR1	6,91	8,50	2,072	2,550
BR2	6,91	9,00	2,072	2,700

Berdasarkan data diatas dapat dilihat bahwa nilai momen maksimum dari hasil pengujian lebih besar daripada hasil analisisnya untuk balok normal maupun balok perbaikan. Dapat dilihat pula dari hasil pengujian bahwa momen maksimum yang terjadi pada balok perbaikan lebih besar daripada momen maksimum yang terjadi pada balok normal. Kapasitas lentur balok beton yang ditambal dengan UPR-Mortar dalam menahan beban maksimum meningkat sebanding dengan penambahan panjang penambalan dibandingkan dengan balok beton bertulang normal. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan UPR sebagai bahan perbaikan juga menyebabkan beban maksimum yang dapat diterima balok meningkat sehingga momen ultimit yang terjadi juga meningkat. Variasi panjang penambalan juga turut mempengaruhi peningkatan momen ultimit yang terjadi pada balok, semakin besar panjang penambalan, momen ultimit yang terjadi juga semakin besar.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian serta analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Kapasitas lentur balok beton bertulang yang berupa momen retak, momen leleh dan momen ultimit pada balok perbaikan meningkat seiring dengan panjang penambalan yang diberikan. Kemudian penggunaan UPR-Mortar sebagai material penambalan juga mengubah regangan yang terjadi pada balok beton bertulang. Regangan yang terjadi pada balok perbaikan cenderung menerima beban tarik yang lebih besar di daerah bawah balok dibandingkan dengan balok normal.
- Penggunaan UPR-Mortar sebagai material penambalan dengan variasi panjang penambalan meningkatkan kemampuan benda uji balok dalam menahan beban maksimum dengan persentase kenaikan sebesar 2,409% untuk balok dengan panjang penambalan 40 cm (BR1), 8,433% untuk balok dengan panjang penambalan disepanjang daerah lentur (BR2) dibandingkan dengan benda uji balok beton bertulang normal.
- Dari pola retak yang terjadi, penggunaan variasi panjang penambalan ikut berperan mengubah pola retak yang terjadi. Semakin panjang penambalan, yang terjadi pada balok semakin sedikit. Adanya material UPR-Mortar sebagai bahan penambalan juga mengubah regangan yang terjadi di setiap penambahan beban yang diberikan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan. Terelesainya penyusunan penelitian ini berkat dukungan dan doa dari orang tua, untuk itu kami ucapkan terima kasih. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Prof. SA Kristiawan ST. M.Sc Ph.D dan Ir Agus Supriyadi MT., selaku pembimbing yang dengan penuh kesabaran telah memberi koreksi dan arahan sehingga menyempurnakan penyusunan. Rasa terima kasih penulis sampaikan khusus untuk Aldilla dan Desi selaku tim kerja yang pantang menyerah. Pada kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah berperan dalam mewujudkan penelitian ini secara langsung maupun tidak langsung khususnya mahasiswa sipil UNS 2012.

REFERENSI

- Anonim, 1918, *Concrete and Material Agregates (Including Manual of Agregates and Concrete Testing)*, ASTM, Philadelphia.
- Anonim, 1918, *Standard Spesification for Chemical Admixtures for Concrete*, (ASTM C494-99).
- Anonim, 2002, SNI03-2847:2013, *Departemen Pekerjaan Umum*, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Brian W., Hapsara, 2014, *Kapasitas Geser Balok Beton Bertulang yang Ditambal dengan UPR-Based Patch Mortar*, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Jack C. McCormac, 2003, *Desain Beton bertulang*, Erlangga, Jakarta.
- JSCE, 2007, *Standart Spesification for Concrete Structure-Maintenance*, Japan Society of Civil Engineering, Tokyo.
- Kardiyono Tjokrodinuljo. 1995, *Teknologi Beton*, Gajah Mada Press, Yogyakarta.
- KhamdanM., Matsna, 2015, *Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang yang Ditambal dengan UPR-Mortar: Studi Pengaruh Tebal Penambalan*, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Nugraha, P., Antoni, 2007, *Teknologi Beton*, Andi, Yogyakarta.
- Raditya B., Sandy, 2014, *Kompatibilitas Lentur Balok Beton Bertulang yang Diperbaiki Dengan UPR-Based Patch Repair Mortar*, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Santosa, Duwi, 2015, *Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang yang Ditambal dengan UPR-Mortar: Studi Pengaruh Panjang Penambalan*, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Wang, C.K., and Salmon, C.G., (terjemahan Binsar Hariandja), 1993, *Desain Beton Bertulang*, Erlangga, Jakarta.
- WC Vis, Kusuma Gideon, 1994, *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang Jilid I*, Erlangga, Jakarta.

