

SAMBUNGAN BALOK BETON BERTULANG PRACETAK DENGAN LAPISAN CFRP DAN PLAT BAJA

Gilberto De Carvalho Da Conceição dan Ade Lisantono

Program Studi Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jln. Babarsari 43 Yogyakarta

e-mail: gilbertocarvalho65@yahoo.com, ade.lisantono@uajy.ac.id

Abstract: Precast reinforced concrete beams are building structures without using on-site casting and can shorten construction time and reduce costs and labor. In this research a method was used to overcome the shortcomings of the precast method in terms of weight and size, by dividing the precast segment into a new connection between the beam to the beam where the connection was reinforced with Carbon Fiber Reinforced Concrete (CFRP) and Steel Plate. Where there are 2 beam joints namely Type II connection on the connection area, steel plate and bolt data are used as Type III washers and joints, CFRP is added to the joint area and 6 mm thick steel plate and 20 mm diameter bolt. The dimensions of the beams used are 150 x 250 x 3200 mm with 4P10 longitudinal reinforcement as pressure reinforcement and 2P10 as pressure reinforcement. While 2P8-200 as shear reinforcement in the field area, 2P8-150 for connection area and 2P8-100 for support area. Where the quality of reinforcing steel in this method is BjTP 24, with a yield stress of 323.533 MPa for P10 and 237,249 MPa for P8. According to the results of the study the beam joints with centralized loading, the type II joint beam obtained a load capacity of 2782,718 kg while the type III connection experienced a load increase of 3553,875 kg due to the addition of CFRP layers on the beam joints.

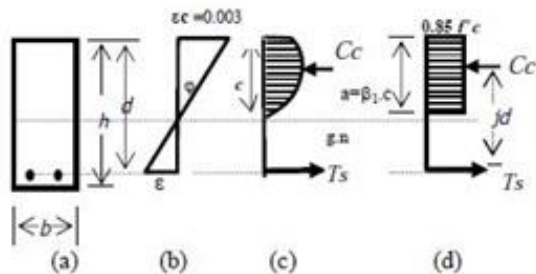
Keywords: precast concrete, beam joint, CFRP, flexural capacity

Abstrak: Sambungan balok beton bertulang atau *precast* merupakan pembuatan struktur bangunan tanpa menggunakan pengecoran di tempat dan dapat mempersingkat waktu pembangunan, serta menekan biaya dan tenaga kerja. Namun adapun kekurangan dari metode ini yang mana, ketepatan (presisi) pada pencetakan beton, kekuatan sistem sambungan beton *precast* itu sendiri. Selain juga karena segmennya yang besar, tidak mudah melakukan pengantaran (transportasi), pendirian (*erection*), dan pengangkatan (*lifting*). Pada penelitian ini dilakukan suatu metode agar bisa mengatasi kekurangan metode precast dalam hal berat dan ukurannya, dimana pada sambungan tersebut diperkuat dengan *Carbon Fiber Reinforced Concrete* (CFRP) dan plat baja. Terdapat 2 buah sambungan balok yakni sambungan Tipe II pada daerah sambungan diperkuat plat baja dan baut sebagai pengunci dan sambungan Tipe III ditambahkan CFRP pada daerah sambungan serta plat baja tebal 6 mm dan baut berdiameter 20 mm. Dimensi balok yang digunakan yakni 150 x 250 x 3200 mm dengan tulangan longitudinal 4P10 sebagai tulangan desak dan 2P10 sebagai tulangan desak. Sedangkan 2P8-200 sebagai tulangan geser pada daerah lapangan, 2P8-150 untuk daerah sambungan serta 2P8-100 untuk daerah tumpuan. Dimana mutu baja tulangan pada metode ini adalah BjTP 24, dengan tegangan luluh 323,533 MPa untuk P10 dan 237,249 MPa untuk P8. Sesuai hasil penelitian balok sambungan dengan pembebanan terpusat, pada balok sambungan tipe II memperoleh kapasitas beban sebesar 2782,718 kg sedangkan sambungan tipe III dapat menerima beban maksimum yang dapat didukung 3553,875 kg dikarenakan adanya penambahan lapisan CFRP pada sambungan balok.

Kata kunci: : beton *precast*, sambungan balok, CFRP, kapasitas lentur

PENDAHULUAN

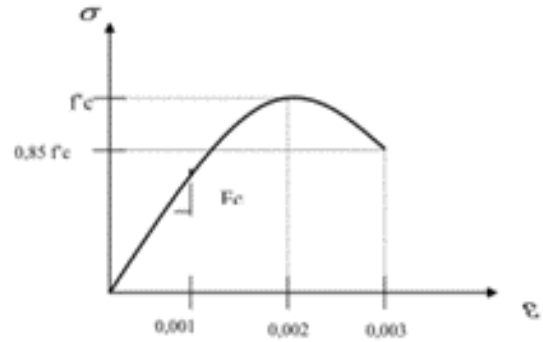
Sebagai salah satu cara agar proses pembangunan tetap berjalan dengan baik dan tidak menghambat akses masyarakat maka diperlukan suatu metode yang bisa menghemat waktu, tenaga kerja, serta tidak memberikan ruang yang besar untuk proses pembangunan Metode precast merupakan metode yang sangat simpel di mana beton terlebih dahulu dicetak secara persegmen dalam pabrik dan kemudian dipasang setelah beton mencapai umur maksimum. Pada umumnya sambungan antar segmen beton pracetak/precast digunakan cable tendon, sehingga pada penelitian ini melakukan suatu experiment dan analisis non linear dengan menggunakan finit element dengan program Abaqus 2016, pada sebuah inovasi sambungan balok beton bertulang pracetak dengan tiga (3) model diantaranya balok tipe I atau balok normal, balok tipe II balok dengan perkuatan plat baja sebagai bahan pengikata antara sambungan balok dan balok tipe III dimana pada sambungan balok ini ditambahkan CFRP dan plat sebagai bahan pengikat sambungan balok.



Gambar 1. Distribusi tegangan-regangan beton

Sifat material beton

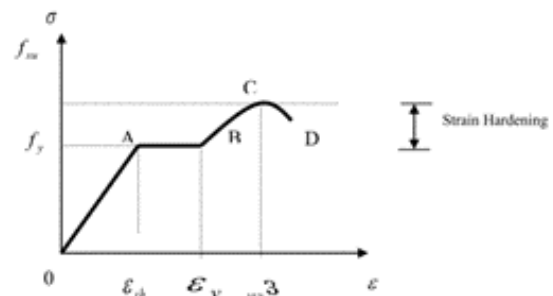
Beton terdiri dari partikel-partikel agregat yang dilekatkan oleh pasta yang terbuat dari semen portland dan air. Pasta itu mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel agregat. Beton tersebut akan mengeras sebagai akibat dari reaksi-reaksi kimia eksotermis antara semen dan air dan membentuk suatu bahan struktur yang padat dan dapat tahan lama. Bahan yang terbentuk ini mempunyai kekuatan tekan yang tinggi dan ketahanan terhadap tarik yang rendah atau kekuatan tariknya kira-kira 0,1 kali kekuatan terhadap tekan.



Gambar 2. Diagram tegangan-regangan beton

Sifat material baja

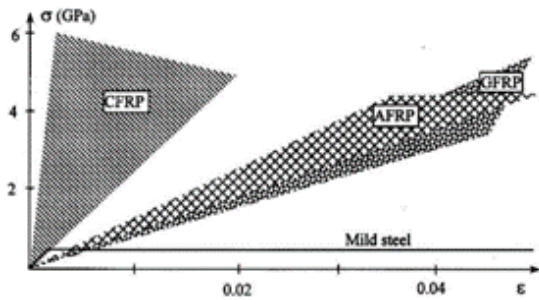
Sifat beton yang lemah terhadap tarik mengakibatkan perlunya penempatan baja tulangan pada suatu penampang beton. Baja tulangan tersebut berfungsi untuk menahan gaya tarik yang bekerja, dan sering kali digunakan untuk memperkuat daerah tekan pada penampang beton.



Gambar 3. Hubungan tegangan-regangan baja tulangan

Sifat material Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)

CFRP merupakan salah satu bahan komposit non logam dari serat carbon yang digunakan sebagai bahan perkuatan dalam bentuk roll 100 m dengan lebar 50 cm. Kuat tarik yang tinggi di mana *dry fiber density* 1.80 g/cm³, *thickness* 0.129 mm, *area density* 235 g/m², *tensile strength* 4900 N/mm² dan modulus sebesar 230000 N/mm².



Gambar 4. Digaram tegangan-regangan CFRP

METODE PENELITIAN

Pembuatan balok uji dengan eksperimen

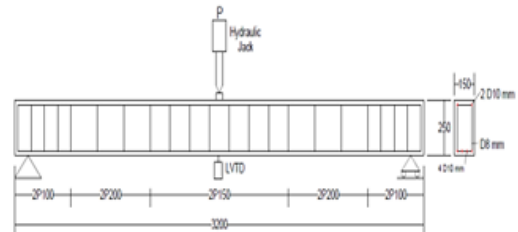
Pada tahap ini dibuat benda uji balok dengan tiga (3) model:

- Balok tipe I atau balok normal
- Balok tipe II, sambungan balok dengan perkuatan plat dan baut pada sisi atas dan bawa.
- Balok tipe III di mana balok ini lanjutan dari balok tipe II namun yang membedakan disini adalah adanya penambahan CFRP pada sambungan balok.

Kuat tekan beton yang direncanakan sebesar 25 MPa. Balok mempunyai penampang persegi dengan ukuran bentang 3200 mm, lebar 150 mm dan tinggi 250 mm dan yang diberikan pembebanan terpusat dan diletakkan di atas tumpuan jepit dan rol. Tulangan tarik dan tekan yang digunakan adalah tulangan polos berdiameter 10 mm (tekan 2 ϕ 10 dan tarik 4 ϕ 10) dengan kuat tarik f_y sebesar 323,533 MPa. Tulangan geser digunakan tulangan polos berdiameter 8 mm dengan tegangan luluh (f_y) sebesar 237,249 MPa. Dimensi plat baja tebal 6 mm, lebar 150 mm dan panjang 750 mm dengan tegangan leleh sebesar 220,943 MPa. CFRP yang digunakan berdasarkan Sika Indonesia dengan simtem pemasangan dikelilingi pada daerah sambungan balok dengan ukuran sebesar 750 mm sesuai dengan dimensi plat dan balok. Digunakan CFRP sebagai bahan perkuatan tambahan pada balok sehingga dapat membedakan kapasitas balok dengan CFRP atau tanpa menggunakan CFRP.

- Balok beton normal (tanpa sambungan dan CFRP)

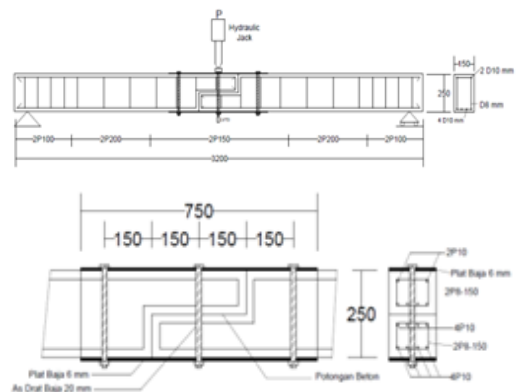
Balok diberi beban terpusat dan diletakkan diatas tumpuan sendi dan roll dengan tulangan tekan 2 ϕ 10 dan tarik 4 ϕ 10 dan tulangan sengkang tump ϕ 8 mm-100 mm, lap ϕ 8 mm-150 mm.



Gambar 5. Balok normal

- Balok sambungan dengan plat baja (tanpa CFRP)

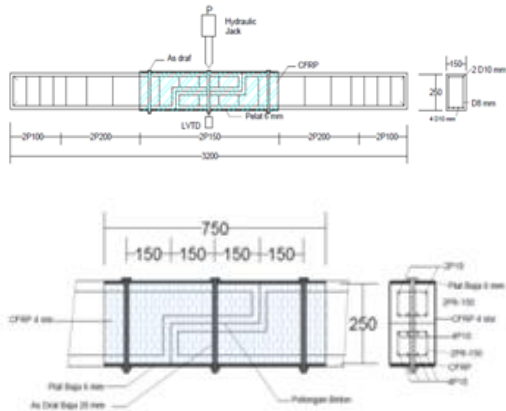
Balok beton dengan segmen atau *precast* yang diperkuat dengan plat baja tebal 6 mm, lebar 150 mm dan panjang 750 mm pada daerah sambungan dari sisi tekan dan sisi tarik dengan baut sebagai pengikat antara balok dan diberi beban terpusat.



Gambar 6. Balok sambungan dengan perkuatan plat baja

- Balok sambungan dengan perkuatan CFRP dan plat baja

Balok tipe ini sama seperti pada balok sambungan (b) namun yang membedakan di sini adalah dengan adanya perkuatan CFRP pada daerah sambungan kemudian plat baja dari sisi tekan dan tarik balok.

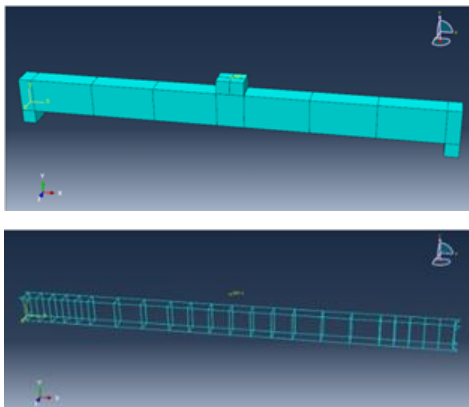


Gambar 7. Balok sambungan dengan perkuatan CFRP

Pembuatan balok uji dengan finite element (Abaqus 2016)

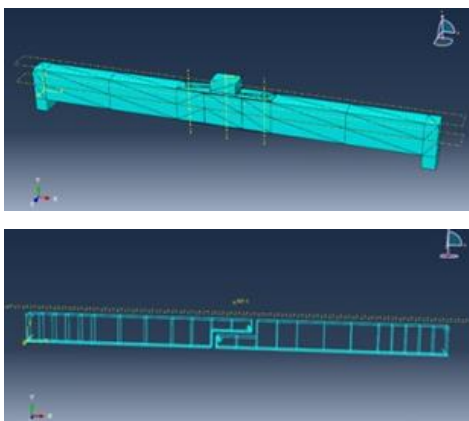
Tahapan ini sama seperti pada uji eksperimen di mana dibuat 3 model benda uji balok di mana:

- a. Balok normal



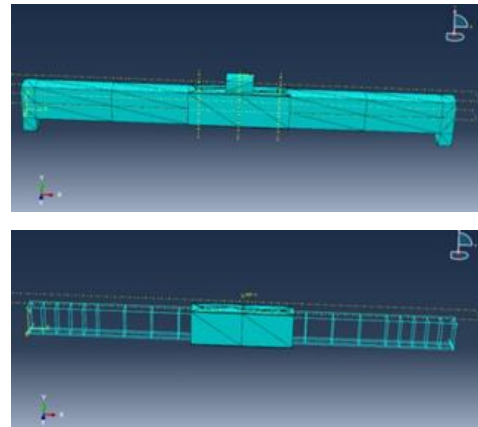
Gambar 8. Pemodelan balok tipe I

- b. Balok dengan perkuatan plat baja



Gambar 9. Pemodelan balok Tipe II

- c. Pemodelan balok dengan perkuatan CFRP dan plat baja



Gambar 10. Pemodelan balok tipe III

Pembuatan benda uji eksperimen

Pasir dan kerikil diambil dari sungai Progo Yogyakarta, semen yang digunakan semen Gresik 40 kg dan lakukan pengujian di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta dengan perencanaan campuran dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

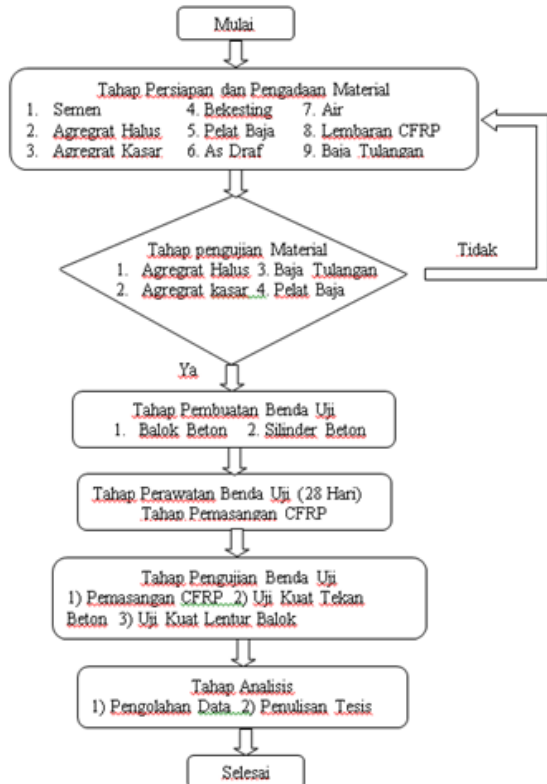
Tabel 1. Campuran adukan beton/m³

Air	=	205	kg
Semen	=	476.744	kg
Pasir	=	578.031	kg
Kerikil	=	1050.225	kg

Pengujian balok dengan menggunakan loading frame setelah benda uji berumur 28 hari.



Gambar 11. Set up benda uji



Gambar 12. Metodologi penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian bahan campuran beton

a. Pengujian agregat halus
 Pengujian ini dilakukan agar mendapatkan persentase kadar lumpur, kandungan zat organik, analisis saringan, berat jenis dan penyerapan yang dikandung oleh agregrat halus dengan pengujian tersebut dapat dikat-egorikan agregrat halus dapat digunakan sesuai dengan standar, utuk lebih jelas dapat dilihat pada tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil pengujian agregat halus

Jenis Pengujian	Hasil	Standar	Kesimpulan
Kandungan lumpur	3,03%	<5%	Terpenuhi
Kandungan zat organik	Gradduer Standard Color No.11	Orange	Kurang dipergunakan
Modulus halus butir	2,962	1.5-3.8	Terpenuhi
Penyerapan	2,67%	0%	Terpenuhi

b. Pengujian agregat kasar
 Pada pengujian ini dilakukan beberapa tahap diantaranya pengujian analisis saringan, berat jenis dan penyerapan. Agregrat kasar yang digunakan dalam penelitian ini

berasal dari Sungai Progo dengan butiran maksimum 20 mm.

Tabel 3. Hasil pengujian agregat kasar

Jenis Pengujian	Hasil	Standar	Kesimpulan
Keausan dengan mesin Los Angels	17%	27%	Terpenuhi
Modulus butiran halus	6,884	5 - 8	Terpenuhi
Penyerapan	1,377%	< 5%	Terpenuhi

c. Kebutuhan bahan adukan beton
 Sesuai dengan data pengujian di atas agregrat halus dan agregrat kasar dapat digunakan sebagai parameter untuk merencanakan Mix Design berdasarkan SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal, sehingga didapat hasil perhitungan untuk rencana campuran adukan beton per m³ tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perencanaan mix design per m³

Air	205	kg
Semen	476,744	kg
Pasir	578,031	kg
Kerikil	1050,225	kg
Berat total campuran beton	2310	kg

Pengujian Sifat Mekanik

a. Pengujian modulus elastisitas beton
 Dalam pengujian ini dilakukan pada saat beton sudah mencapai umur 28 hari sesuai perencanaan awal sehingga dapat menghasilkan nilai modulus elastisitas beton yang baik yang mana dilakukan dengan menggunakan mesin UTM merek Shimadzu dan mendapatkan hasil yang bebrbeda dari tiga buah silinder pengujian.

Tabel 5. Hasil pengujian modulus elastisitas

Model	Modulus Elastisitas MPa	Rata-rata MPa
Tipe I	183576	207834.7
Tipe II	213582	
Tipe III	226346	

b. Pengujian kuat tekan beton
 Untuk mengetahui kuat tekan maksimum yang mampu ditahan oleh beton pada umur 28 hari maka dilakukan pengujian modulus

elastisitas beton dengan menggunakan silinder yang direndam dalam air selama 28 hari dimana pada pengujian ini didapat 3 buah benda uji silinder sesuai dengan tipe balok masing-masing diantaranya tipe I satu buah, tipe II satu buah, dan tipe III satu buah yang mana dapat dilihat hasil pada Tabel 6.

Tabel 6. Pengujian Kuat Tekan Beton

Silinder	Diameter (mm)	Luas Permukaan (mm ²)	Beban (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
Tipe I	151	17899	490	27,376	28,975
Tipe II	150,5	17780	485	27,277	
Tipe III	150	17663	570	32,272	

Tabel 8. Pengujian berat jenis

Silinder	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	Volume (mm ³)	Berat Jenis (Kg/mm ³)	Rata-rata (Kg/mm ³)
Tipe I	300	12,76	5369636	2324,52	2313,00
Tipe II	300,5	12,34	5343024	2313,00	
Tipe III	301	12,56	5316413	2301,48	

c. Pengujian kuat tarik baja tulangan

Dengan melakukan pengujian kuat tarik baja tulangan sehingga dapat mengetahui tegangan-leleh (f_y) dan tegangan ultimate (f_u) di mana pada pengujian ini menggunakan 3 buah benda uji baja tulangan polos berdiameter 10 mm dan 3 buah baja tulangan polos berdiameter 8 mm. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 9 sebagai berikut.

Tabel 9. Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan

Item	Tegangan Luluh (f_y) (MPa)	Rata-rata (MPa)	Tegangan Ultimit (f_u) (MPa)	Rata-rata (MPa)
P10-A	366,857	323,533	475,722	474,124
P10-B	296,364		476,705	
P10-C	307,377		469,945	
P8-A	233,505	237,249	382,279	376,074
P8-B	243,213		369,086	
P8-C	235,0299		376,8582	

Tabel 10. Pengujian kuat tarik pelat baja

Benda Uji	Tegangan Luluh (f_y) (MPa)	Rata-rata	Tegangan Ultimit (f_u) (MPa)	Rata-rata (MPa)
A	223,668	220,943	292,665	298,987
B	221,379		298,224	
C	217,782		306,072	

Pengujian balok beton bertulang eksperimen dan finite element Abaqus 2016

a. Pengujian kapasitas balok eksperimen
Kapasitas pada balok dilakukan dengan memberikan beban terpusat pada balok sesuai kemampuan balok sendiri sehingga balok mengalami keruntuhan. Pada pengujian ini dilakukan menggunakan hydraulic jack dengan pembacaan beban dengan data logger. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil *experiment* pengujian kapasitas balok

Jenis Balok	Experiment
	Kapasitas Beban (Kg)
Balok Normal	4277.14
Balok Sambungan Tipe II	2781.72
Balok Sambungan Tipe III	3553.88

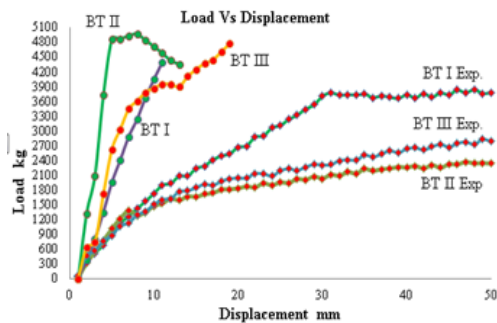
b. Pengujian kapasitas balok Abaqus 2016
Pada pemodelan sambungan dengan abaqus terdapat hasil lendutan yang berbeda juga dari 3 benda uji balok beton bertulang dengan bahan perkuatan CFRP dan plat baja untuk lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil analisis Abaqus 2016

Jenis Balok	Abaqus
	Kapasitas Beban (Kg)
Balok Normal	4960.00
Balok Sambungan Tipe II	4392.91
Balok Sambungan Tipe III	4766.31

Dari Tabel 12 dilihat kapasitas balok tipe III lebih besar dengan balok tipe I dan II Dengan demikian kapasitas CFRP dalam penelitian ini sangat mempengaruhi kapasitas balok terhadap lendutan balok.

c. Grafik perbandingan hasil analisis Abaqus dengan *experiment*



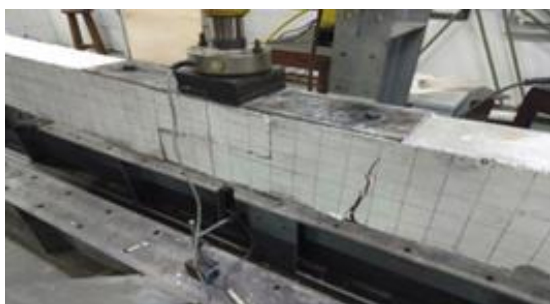
Gambar 13. Perbandingan hasil Abaqus dan *experiment*

Pola retak balok

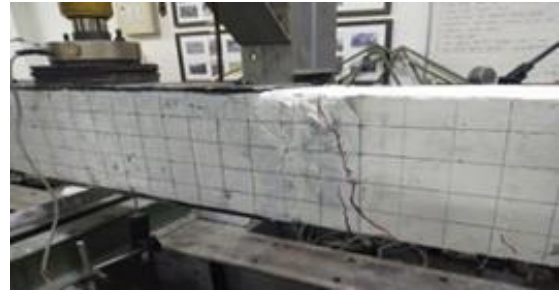
Dari hasil pengujian kapasitas balok yang diberikan beban terjadi lendutan pada balok sehingga balok mengalami pola retak yang tidak beraturan sesuai definisi retak yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 14-16.



Gambar 14. Pola retak balok tipe I



Gambar 15. Pola retak balok tipe II



Gambar 16. Pola retak balok tipe III

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Kemampuan sambungan balok Tipe I dapat menahan beban sebesar 4277,137 kg Sedangkan sambungan balok Tipe II sebesar 2782,718 kg serta sambungan balok Tipe III sebesar 3553,875 kg.
2. Kapasitas sambungan balok dengan simulasi abaqus mendapatkan hasil lebih besar dari hasil *experiment*.
3. Kemampuan sambungan balok Tipe II lebih besar dari sambungan balok Tipe III dikarenakan dengan adanya penambahan bahan perkuatan CFRP pada daerah sambungan balok Tipe III.

Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas penulis dapat memberikan beberapa saran yang akan menjadi bahan penelitian selanjutnya di antaranya:

1. Kegagalan yang terjadi pada penelitian ini adalah keruntuhan beton akibat beban terpusat dimana terjadi pada tengah bentang pada balok normal Tipe I.
2. Sambungan balok Tipe II dan III terdapat kegagalan lentur yang tidak terjadi ditengah bentang atau sambungan balok namun terjadi diluar sambungan balok maka perlu dilakukan analisa ulang agar mendapatkan dimensi yang maksimal.
3. Diharapkan teliti dalam melakukan pengujian material beton, perencanaan mix design, dan pada waktu pengujian balok.

4. Diharapkan dilakukan pemodelan abaqus terlebih dahulu sehingga dapat menjadi acuan pada pengujian balok experiment.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 440.2R-08 (2008). *Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures*. ACI committee 440.
- Agaton, A., & Tarigan, J. (2017). (n.d.). "Analisis dan Eksperimental Penggunaan CFRP Tipe Wrap pada Perkuatan Lentur Balok Beton", (5).
- Asngali, B. (2016). "Kekuatan Sambungan AL / CFRP Menggunakan Adhesif Epoksi / Serbuk-AL dengan Variasi Pressure Level", 1(1), 65–70.
- Barros, J. A. O., Dias, S. J. E., & Lima, J. L. T. (2007). "E FFI kemampuan teknik berbasis CFRP untuk fleksural dan penguatan geser balok beton", 29, 203–217.
- Broughton, J. G., Beevers, A., & Hutchinson, A. R. (1997). "Carbon-fibre-reinforced plastic (CFRP) strengthening of aluminium extrusions". *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 17(3), 269–278. [https://doi.org/10.1016/S0143-7496\(97\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0143-7496(97)00020-1)
- Carolin, A. (2003). *Carbon Fibre Reinforced Polymers for Strengthening Of Structural Elements*.
- Chaallal, O., Nollet, M., & Perraton, D. (1999). "Penguatan balok beton bertulang dengan piring-diperkuat plastik fiber terikat secara eksternal: pedoman desain untuk geser dan lentur". 704(1998), 692–704.
- Dai, J., Gao, W., Teng, J. G., & Asce, M. (2015). "Elemen Hingga Pemodelan Insulated FRP-Diperkuat RC Balok Terkena Api". 04014046(15), 1–15.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2002). *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*. Standar Nasional Indonesia.
- Feldman, D., dan Hartomo, A. J., 1995, *Bahan Polimer Konstruksi Bangunan*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 117 pp.
- Hioe, H. (n.d.). *Perkuatan Struktur Dengan Carbon Fiber Reinforced Polymer*.
- Jacobs, J.A., dan Kilduff, T.F., 1997, *Engineering Materials Technology Structures, Processing, Properties & Selections*, by Prentice-Hall Inc. Simon & Schuster/ A. Viacom Company Upper Saddle River, New Jersey.
- Johannes Tarigan, F. M. P. and T. S. (2017). "Technical and Economic Assessment of the Implementation of Measures for Reducing Energy Losses in Distribution Systems". *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 73(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/>
- Khalifa, A., Gold, W. J., Nanni, A., & M.I., A. A. (1998). "Contribution of Externally Bonded FRP to Shear Capacity of RC Flexural Members". *Journal of Composites for Construction*, 2(4), 195–202. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0268\(1998\)2:4\(195\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0268(1998)2:4(195))
- Kuriger, R. J., Alam, M. K., Anderson, D. P., & Jacobsen, R. L. (2002). "Processing and characterization of aligned vapor grown carbon fiber reinforced polypropylene". *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 33(1), 53–62. [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(01\)00070-7](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(01)00070-7)
- Munaf D.R., Suraatmadja D., and Shana N., (2002). "The investigation of beam to beam connection of precast concrete element under monotonic and cyclic loading".
- Nawy, E.G., 1990, *Beton bertulang suatu pendekatan dasar*, Eresco, Bandung, 763 pp.
- Ovitigala, T., Ibrahim, M. A., & Issa, M. A. (2016). "Serviceability and ultimate load behavior of concrete beams reinforced with basalt fiber-reinforced

- polymer bars". *ACI Structural Journal*, 113(4), 757–768. <https://doi.org/10.14359/51688752>
- Pangestuti, E. K. (2009). "Penggunaan carbon fiber reinforced plate sebagai bahan komposit eksternal pada struktur balok beton bertulang". *The Use of Carbon Fiber Reinforced Plate as Externally Bonded Composite Material of Reinforced Concrete Beam Structure*, 9, 180–188.
- Pangestuti, E. K., & Handayani, F. S. (2009). "Penggunaan Carbon Fiber Reinforced Plate", IX, 105–114.
- Petrico G, I. (2014). "Perbandingan Kekuatan Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Perkuatan CFRP Dan GFRP". *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, 1, 250–258.
- Putu, I., Masc, D., Teknik, F., & Udayana, U. (2016). "Menggunakan lapis glass fiber reinforced polymer (gfrp)".
- Respati, S. W., & Achmad, K. (2017). "Pengaruh Arah Serat Carbon Fiber Reinforced Polymer Terhadap Kuat Tekan Beton Normal Menggunakan Material Lokal Pasir Samboja di Wilayah Kalimantan Timur Selain sehingga dibutuhkan perkuatan terhadap konstruksi yang ada". 5(1).
- Sebastian, H. (2017). "Perilaku sambungan balok beton bertulang pracetak dengan pembebanan monotonik". Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Sebuah, D. K., & Mccurry, D. D. (2000). "Perilaku skala penuh beton bertulang balok retrotted untuk geser dan exural dengan laminasi FRP". 31, 445–452.
- Shahawy, M. A., Arockiasamy, M., Beitelman, T., & Sowrirajan, R. (1996). "Reinforced concrete rectangular beams strengthened with CFRP laminates". *Composites Part B: Engineering*, 27(3–4), 225–233. [https://doi.org/10.1016/1359-8368\(95\)00044-5](https://doi.org/10.1016/1359-8368(95)00044-5)
- SNI 03-2834-2000 (2000). *SNI perencanaan campuran beton*, (2), 151–169.
- SNI (2002). *Spesifikasi agregat halus untuk pekerjaan adukan dan plesteran dengan bahan dasar semen*.
- Tjokrodinuljo, K. (2015). *Hubungan Perawatan Beton dengan Kuat Tekan*.
- Vemmy, Y. (2017). "Perkuatan Gedung Dengan Menggunakan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Studi Kasus Menggunakan Layout Gedung Laboratorium C-Dast dan Ruang Kuliah Bersama Universitas Jember". Retrieved from <http://repository.its.ac.id/275>