

KAPASITAS GESER BALOK TINGGI DENGAN CAMPURAN *FLY ASH* TANPA TULANGAN GESER

Merzy Mooy¹ (merzhymooy@yahoo.com)

ABSTRAK

Balok tinggi merupakan balok dengan komponen struktur *discontinue region (D-region)* yang tidak dapat dihitung menggunakan teori balok konvensional. Salah satu perilaku balok tinggi yaitu memiliki perbedaan signifikan dengan balok konvensional, sehingga memerlukan pertimbangan khusus dalam analisis, desain, dan perincian tulangan karena dikendalikan oleh geser. Keruntuhan geser dapat terjadi pada balok dengan perbandingan lengan geser a dan tinggi efektif d sebesar 1 sampai 2,5 untuk beban terpusat. *D-region* akan berada jauh pada tumpuan dan beban pada rasio a/d lebih dari 2,5 serta akan terjadi jika berada pada daerah beban dekat dengan tumpuan pada rasio a/d kurang dari 2,5. Kekuatan geser balok tinggi bahkan mencapai dua hingga tiga kali balok konvensional. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini dilakukan pengujian geser *three point bending* pada balok tinggi konvensional dan *supplementary beam* menggunakan *fly ash* tanpa tulangan geser. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas geser *supplementary beam* lebih tinggi dibandingkan balok konvensional.

Kata Kunci: Kapasitas Geser, Balok Tinggi, Supplementary Beam, Balok Tanpa Tulangan Geser

ABSTRACT

Deep beam is one of the structure component that has discontinue region (D-region) where conventional beam analyse could not be applied. Deep beam behavior is significantly difference with conventional beam, so that it has to be analysed with reinforcement details due to controlled by shear. Shear failure occur when shear span a and depth d ratio 1 to 2,5 for concentrate load. D-region beyond load and support occur when a/d ratio is more than 2,5 whereas nearby load and support when a/d ratio is less than 2,5. Shear capacity of deep beam is two to three more than conventional beam. Hence, this research used three point bending test of unreinforced conventional deep beam and supplementary deep beam using fly ash. The result shows that shear capacity of supplementary deep beam is higher than conventional deep beam.

Key Words: Shear Capacity, Deep Beam, Supplementary Beam, Unreinforced Shear Beam

PENDAHULUAN

Beberapa konsep mengenai geser pada balok beton bertulang yaitu kegagalan geser terjadi saat kapasitas geser pada penampang kritis telah melampaui batas. Selain itu pada saat terjadi retak, balok yang menggunakan sengkang akan berperilaku sebagai rangka batang (*truss*) dimana beton berperan sebagai batang tekan atau penunjang (*strut*), sedangkan sengkang sebagai batang tarik atau pengikat (*tie*). Sengkang sebagai tulangan geser disediakan untuk memikul gaya geser yang tidak dapat didukung oleh beton. Artinya, yang memiliki peran utama dalam memikul gaya geser balok adalah beton. Konsep ini disebut sebagai *interlock aggregate concept*. Namun konsep ini memiliki ketidaksesuaian dengan sifat dasar beton yang memiliki retakan dengan arah rambatan orthogonal ke arah tegangan tekan utama maksimum. Pada *interlock aggregate concept*, retakan seharusnya merambat ke seluruh area *interlock aggregate*. Pada konsep ini, visualisasi arah gaya tekan menuju tumpuan pada saat beton bertulang mencapai batas ultimit adalah dianggap linear. Perubahan arah gaya terjadi pada rasio bentang geser dan tinggi efektif balok (a/d) > 2 untuk balok dengan tumpuan sederhana dan (Ln/d) > 6 untuk beban terdistribusi merata (Kotsovos, 1988 dalam Kong 2002).

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandira – Kupang (penulis korespondensi)

Keruntuhan tekan geser (*shear compression*) dapat terjadi pada balok dengan rasio $1 \leq a/d < 2,5$ untuk beban terpusat. Hal ini dimulai dengan munculnya retak lentur halus di tengah bentang arah vertikal sebagai akibat hilangnya lekatan antara tulangan memanjang dengan beton di sekitar perletakan, selanjutnya diikuti dengan retak diagonal menuju sumbu netral beton. Kecepatan retak akan semakin berkurang sebagai akibat hancurnya daerah tepi tertekan pada beton serta adanya tegangan yang terdistribusi (Nawy, 1990). Menurut Lantsoght, 2014, jika konsep bentang geser lebih besar dari tinggi efektif, maka kapasitas geser akan semakin menurun, demikian juga sebaliknya. Selain itu, semakin besar rasio Ln/h , maka kapasitas geser balok akan semakin kecil. Hal ini disebabkan karena sudut tarik yang terbentuk untuk membawa beban sampai ke tumpuan akan semakin panjang sehingga akan menghasilkan lebih banyak retak lentur pada balok (Appiah, 2016).

Selain rasio panjang bentang geser dan tinggi efektif balok, ada tidaknya tulangan geser pada balok beton bertulang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kapasitas beban yang dihasilkan oleh balok (Don et al, 2020). Balok tanpa tulangan geser menghasilkan kapasitas beban yang jauh lebih rendah dibandingkan balok dengan tulangan geser. Balok tanpa tulangan geser juga akan mengalami keruntuhan secara tiba-tiba yang disertai dengan pembentukan retak tegangan arah diagonal maupun horizontal secara terpisah pada daerah beban maupun tumpuan (Tambusay et al, 2021).

Kostovos, 1979 dalam Kong, 2002 melakukan pengujian geser pada daerah kritis balok dengan perbedaan rasio $a/d = 1,5$ hingga $a/d > 2,5$ serta ada tidaknya sengkang pada bentang geser balok. Hasilnya menunjukkan bahwa balok dengan rasio bentang geser $a/d = 1,5$ dan sebagian besar $a/d = 2$ tidak dapat berperilaku sebagai rangka batang karena tanpa sengkang sebagai pengikat, maka balok akan menahan beban lebih besar dari yang diperkirakan. Hal ini membuktikan bahwa perilaku rangka batang (*truss*) tidak terjadi pada saat balok mencapai kapasitas lentur setelah kapasitas geser terlampaui. Penelitian juga membuktikan bahwa daerah balok di atas sumbu netral adalah kontributor utama ketahanan geser.

Mekanisme keruntuhan geser pada balok dengan biaya yang relatif murah dapat diamati menggunakan sarana *digital image correlation* (DIC) yakni dengan memanfaatkan kamera digital biasa, *smartphone* sebagai pengontrol perekaman gambar jarak jauh, serta *software* sebagai sarana korelasi retak yang terjadi. DIC dapat memantau inisiasi dan propagansi retak geser balok walaupun untuk lebar retak kurang dari 0,2 mm (Tambusay et al, 2018).

Pengujian beban ultimit secara sistematis terhadap balok tinggi (*deep beam*) dilakukan sejak tahun 1960-an (Kong, 2002). Kemudian pada akhir tahun 1960-an, Kong melakukan pengujian terhadap lebih dari 490 buah balok tinggi untuk memperoleh formula yang tepat mengenai desain terhadap balok tinggi. Hasil pengujian inilah yang mulai menjadi petunjuk mengenai prinsip dan rekomendasi dalam desain balok tinggi.

Construction Industry Research and Information Association (CIRIA) Guide 2 menyarankan perhitungan geser balok tinggi pada rasio panjang bentang efektif dan bentang geser (Ln/a) ≤ 4 untuk beban terdistribusi merata. *Eurocode and CEB-FIP Model Code* menetapkan balok tinggi sebagai balok dengan rasio panjang bentang efektif dan tinggi balok (Ln/h) < 2 untuk balok dengan tumpuan sederhana, dan (Ln/h) $< 2,5$ untuk balok menerus. Rasio bentang geser dan tinggi efektif balok (a/d) menurut *Canadian Code CAN3-A23.3-M84* adalah kurang dari 2. Sedangkan *American Concrete Institute 2008* mengklasifikasikan balok tinggi sebagai balok dengan rasio panjang bentang terhadap tinggi (Ln/h) ≤ 4 serta rasio panjang bentang geser dan tinggi (a/h) ≤ 2 . Selain itu, rasio panjang bentang geser dan tinggi efektif balok pada balok tinggi (a/d) $\leq 2,5$. Peraturan Beton Indonesia 1971 juga menetapkan balok tinggi sebagai balok dengan rasio panjang bentang dan tinggi balok (Ln/h) $> 2,5$ untuk balok menerus dan $> 4,5$ untuk balok di atas dua tumpuan.

Balok tinggi dapat ditemukan pada elemen struktur penyalur beban seperti dinding fondasi, *pile cap*, struktur lepas pantai maupun *transfer girder*. Lendutan pada balok tinggi diakibatkan oleh besarnya tegangan geser sehingga tegangan lentur tidak terdistribusi secara linear.

Kekuatan geser pada balok tinggi dapat mencapai dua hingga tiga kali balok konvensional karena beban geser langsung ditransfer ke tumpuan arah diagonal (Patil & Baghban, 2018). Balok tinggi juga cenderung memiliki kekuatan geser yang jauh lebih tinggi dari hasil prediksi menggunakan persamaan geser pada balok konvensional. Hal inilah yang menjadikan balok tinggi memiliki perbedaan yang signifikan dengan balok konvensional sehingga memerlukan pertimbangan khusus dalam desain, analisis dan perincian tulangan. Desain dan analisis balok tinggi dapat menggunakan dua metode yaitu metode desain distribusi regangan nonlinier pada daerah diskontinu (*D-region*) serta metode desain *strut and tie*. Metode desain distribusi regangan nonlinier didasarkan pada konsep dimana perilaku distribusi regangan yang dihasilkan balok tinggi bersifat nonlinier sehingga blok tegangan juga menjadi nonlinier bahkan pada tahap elastis serta tidak berbentuk parabola seperti yang terjadi pada balok normal. Sedangkan pada metode *strut and tie*, desain dilakukan mengikuti konsep rangka batang (Nawy, 2009).

Penelitian dengan memanfaatkan abu terbang (*fly ash*) sebagai material pengganti semen dalam dunia konstruksi sudah dilakukan dalam beberapa dekade terakhir. Selain mengurangi jumlah limbah lingkungan, hal ini dimaksudkan juga untuk menciptakan infrastruktur yang lebih aman (Mooy et al, 2020). *Fly ash* dapat dikategorikan ke dalam tiga kelas yakni kelas C, F dan N berdasarkan senyawa yang terkandung di dalamnya (ASTM C618). Namun beberapa penelitian membuktikan bahwa *fly ash* kelas C dan F lebih efektif digunakan sebagai material pengganti semen pada beton dengan persentase masing-masing kelas C hingga lebih dari 40% dan kelas F 15-25% berat semen.

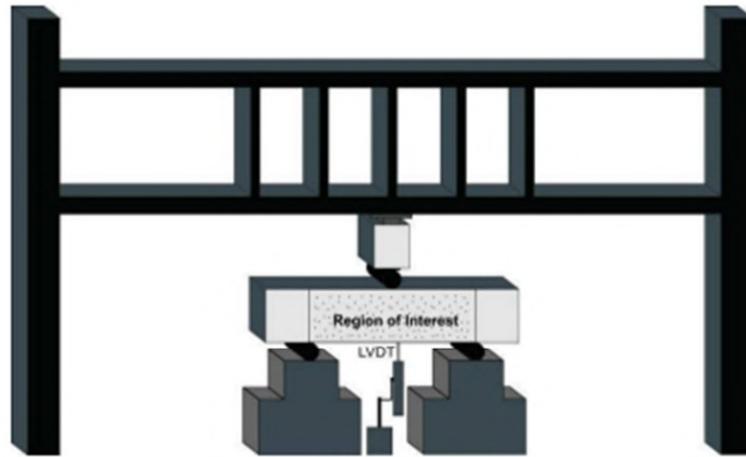
Penelitian terhadap balok beton konvensional dan balok beton campuran *fly ash* menggunakan metode pengujian *ohno shear beam* yang dilakukan oleh Mooy et al (2020) menunjukkan bahwa balok beton dengan campuran *fly ash* sebanyak 20% berat semen memiliki kapasitas geser 11,54% lebih tinggi serta lebar retak yang lebih kecil dibandingkan balok beton konvensional. Selain itu, Oktaviani et al (2020) dalam penelitiannya membuktikan bahwa balok dengan campuran *fly ash* sebanyak 20% berat semen memiliki kapasitas lentur 6,45% lebih tinggi dibandingkan balok konvensional.

Berdasarkan penelitian-penelitian di atas, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kapasitas geser pada balok tinggi tanpa sengkang dengan material balok normal dibandingkan balok dengan bahan tambahan *fly ash* kelas F sebanyak 20% dari berat semen. *Fly ash* telah dibuktikan sebagai bahan tambahan material pengganti semen yang dapat meningkatkan kekuatan beton serta ramah terhadap lingkungan.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini berupa alat uji material berdasarkan Standar Nasional Indonesia untuk pengujian material beton. Pada pengujian geser balok digunakan *universal testing machine* (UTM) yang dihubungkan dengan *load cell* sebagai alat penyalur beban yang telah dikalibrasi sebelumnya serta pengukuran terhadap lendutan dilakukan menggunakan alat *linear variable differential transformer* (LVDT). *Load cell* dan LVDT kemudian dihubungkan menggunakan kabel masing-masing ke *data logger* sebagai alat pembaca hasil beban maupun lendutan yang terjadi pada balok. Selain itu, pengambilan gambar pengujian dilakukan menggunakan kamera digital yang dihubungkan dengan *wireless local area network* (WLAN) pada *smartphone* berjarak kurang lebih 94 cm dari sisi depan balok yang diamati. Skema pengujian geser balok dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1a. Skema Pengujian Geser Balok

Sedangkan bahan-bahan material yang digunakan telah dilakukan pengujian berdasarkan *American Society for Testing and Materials* (ASTM) seperti pengujian terhadap material semen (ASTM C 188-89), pengujian terhadap agregat kasar (ASTM C 29-91; ASTM C 127-88; ASTM C 136-93), pengujian terhadap agregat halus (ASTM C 29-91; ASTM C 70-79; ASTM C 128-93; ASTM 142-78), pengujian terhadap material *fly ash* (ASTM C 618), serta perhitungan campuran beton berdasarkan ACI 211. Adapun rasio material beton normal dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan rasio material beton dengan bahan tambahan *fly ash* (*supplementary beam*) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Rasio Material Beton Normal

Material	Rasio Material
C	1,00
S/C	1,38
CA/C	3,66
W/C	0,44

Tabel 2. Rasio Material Beton Supplementary

Material	Rasio Material
C	1,00
S/C	1,41
CA/C	3,55
W/B	0,53
FA	20%.C

Keterangan:

C = cement

S = sand

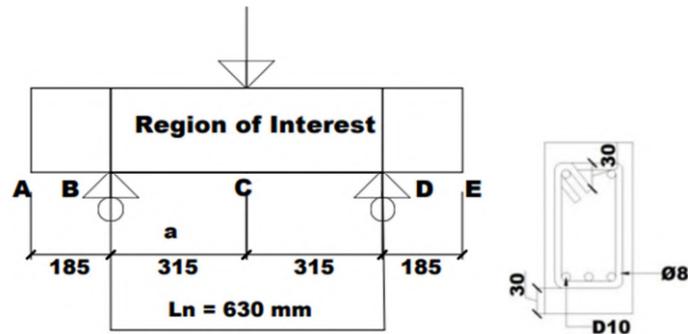
CA = coarse aggregate

W = water

B = binder (cement + fly ash)

FA = fly ash

Desain Kapasitas Geser dan Lebar Retak Menggunakan Metode Distribusi Regangan Nonlinear D-Region



Gambar 1b. Skema Dimensional Pengujian Geser Balok

$$\frac{L_n}{h} = \frac{630}{200} = 3,15 < 4(OK)$$

$$\frac{a}{h} = \frac{315}{200} = 1,575 < 2(OK)$$

Lebar balok = 100 mm

$f_c' = 50$ MPa

$f_y = 400$ MPa

$$S_v = \frac{d}{5} = \frac{165}{5} = 33mm$$

$$A_v = 0,0015bS_v = 4,95mm^2$$

$$S_{vh} = \frac{d}{3} = 55mm$$

$$A_{vh} = 0,0025bS_{vh} = 13,75mm^2$$

$$V_s = \left[\frac{A_v}{S_v} \left(\frac{1 + \frac{L_n}{d}}{12} \right) + \frac{A_{vh}}{S_{vh}} \left(\frac{11 - \frac{L_n}{d}}{12} \right) \right] f_y d$$

$$V_s = 15435,98N$$

$$M_u = 11990763,23N \cdot mm$$

$$V_u = \phi \left[\frac{1}{18} \left(10 + \frac{L_n}{d} \right) \sqrt{f_c'} bd \right] = 76131,83N$$

$$V_c = \left[3,5 - 2,5 \left(\frac{M_u}{V_u d} \right) \right] \left[1,9 \sqrt{f_c'} + 2500 \rho \frac{V_u d}{M_u} \right] bd$$

$$V_c = 1909944,79N$$

$$V_n = V_s + V_c = 206430,77N$$

Lebar retak balok dihitung berdasarkan persamaan:

$$w = 2 \frac{f_s}{E_s} \beta \sqrt{d_s^2 + \left(\frac{S}{2} \right)^2} = 0,459mm$$

Eksperimen

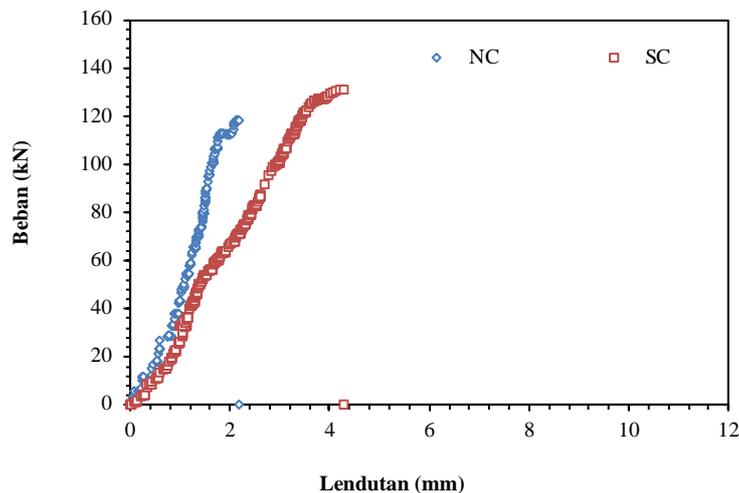
Sebelum dilakukan pengujian geser, terlebih dahulu digambarkan pola titik-titik menggunakan spidol permanen ukuran *fine* dan *medium* secara acak pada sisi panjang balok yang telah dilapisi cat putih. Sedangkan pada sisi sebelah balok yang diamati retak geser digambarkan pola kotak ukuran 5x5 cm. Penggambaran pola ini dimaksudkan untuk memudahkan pengamatan terhadap retak geser pada balok. Pengambilan gambar menggunakan kamera digital saat pengujian

dilakukan setiap kenaikan beban sebesar 50 Psi = $50 \times 0,703 \text{ kg.cm}^2 \times 102,60 \text{ cm}^2$ piston area = 3,61 kN \approx 4 kN.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kapasitas Geser Balok

Adapun grafik hubungan beban-lendutan balok normal dan balok *supplementary* dapat dilihat pada Gambar 2 dan hasil pengujian geser balok dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini



Gambar 2. Grafik Hubungan Beban-Lendutan Balok Normal dan Balok Supplementary

Tabel 3. Hasil Pengujian Geser Balok Normal dan Balok Supplementary

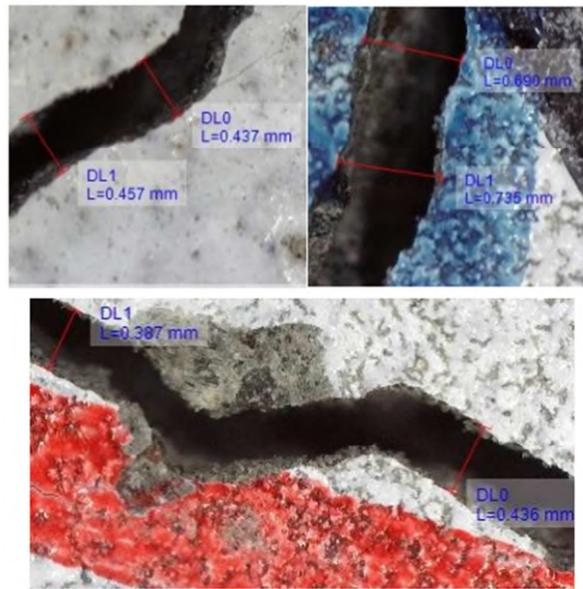
No.	Item	Benda uji	
		NC	SC
1	Retak pertama (kN)	3,53	4,37
2	Beban maksimum (kN)	118,44	131,04
3	Lendutan (mm)	2,18	4,28

Berdasarkan Gambar 2 dan Tabel 3, dapat disimpulkan bahwa balok *supplementary* memiliki kapasitas geser maksimum 19,22% lebih besar dibandingkan balok normal dan lendutan yang dihasilkan balok *supplementary* adalah 9,62% lebih besar dibandingkan balok normal. Selain itu, retak pertama balok *supplementary* juga terjadi pada saat balok menerima beban 0,84 kN lebih besar dari pada balok normal. Artinya, ikatan antara material pada balok *supplementary* lebih baik dibandingkan balok normal sehingga kemampuan dalam menahan beban juga lebih baik.

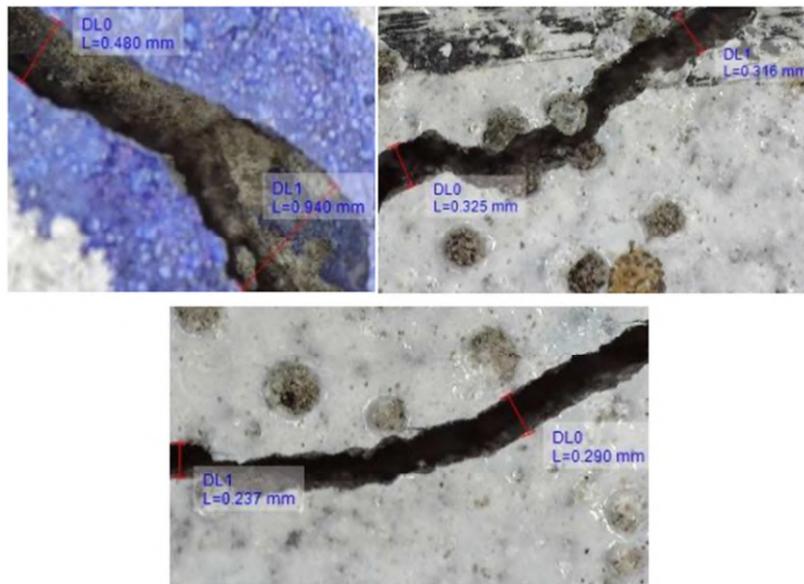
Perbedaan yang terdapat pada hasil pengujian dibandingkan dengan hasil desain adalah lebih dari 50% untuk kedua jenis balok.

Lebar Retak Balok

Hasil pengukuran lebar retak pada balok diperoleh dengan menggunakan *microscope digital*. Adapun hasil pengukuran lebar retak pada balok normal maupun balok *supplementary* dapat dilihat pada Gambar 3 dan Tabel 4 di bawah ini.



(a) Balok Normal



(b) Balok Supplementary

Gambar 3. Hasil Pengukuran Lebar Retak Balok Normal dan Balok Supplementary Menggunakan Microscope Digital

Tabel 4. Hasil Pengukuran Lebar Retak Balok Normal dan Balok Supplementary

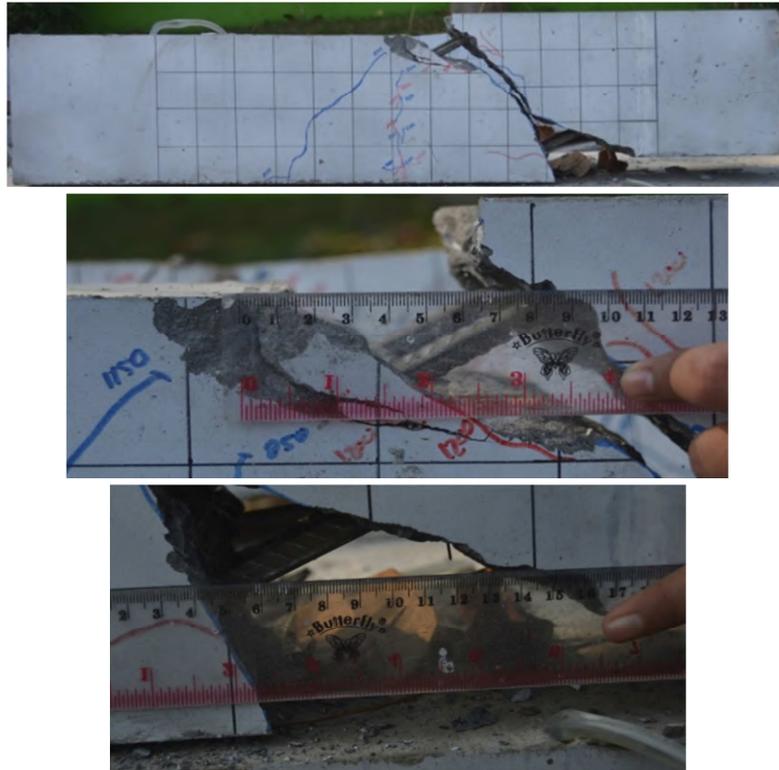
Pengukuran ke-	Lebar retak (mm)	
	NC	SC
I	0,387	0,325
II	0,436	0,316
III	0,690	0,237
IV	0,735	0,290
V	0,457	0,480
VI	0,437	0,940
Rata-rata lebar retak	0,524	0,431

Berdasarkan Gambar 3 dan Tabel 4, balok normal memiliki lebar retak lebih besar dari pada balok *supplementary*.

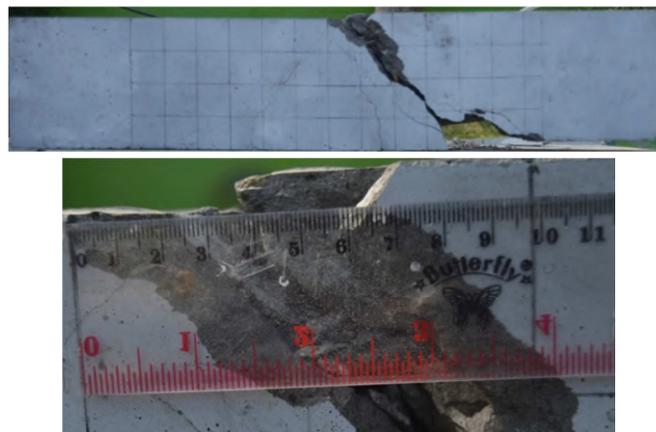
Error antara hasil perhitungan dengan hasil pengukuran adalah sebesar 14,16% untuk balok normal sedangkan untuk balok *supplementary* adalah sebesar 6,49%.

Pola Retak Balok

Pengambilan gambar pola retak pada balok normal maupun balok *supplementary* dilakukan dengan menggunakan kamera digital. Pola retak pada balok dapat dilihat pada Gambar 4.



(a) Balok Normal





(b) Balok Supplementary

Gambar 4. Pola Retak Balok Normal Dan Balok Supplementary

Dari hasil pola retak yang terjadi seperti pada Gambar 4, maka dapat disimpulkan bahwa balok mengalami perilaku kegagalan dengan patahan yang dimulai pada tumpuan hingga beban dengan jarak $< 2d$ yaitu 330 cm dan $> d = 165$ cm.

Selain itu terdapat daerah *crush* pada bagian beban 6,5 cm dan 6 cm maupun tumpuan 10 cm dan 9 cm pada masing-masing balok normal dan balok *supplementary*. Artinya, retak maupun daerah *crush* pada kedua jenis balok tidak menunjukkan perbedaan hasil yang signifikan. Meskipun demikian, balok *supplementary* dengan material tambahan *fly ash* menunjukkan hasil yang lebih baik dalam menahan beban dibandingkan balok normal.

KESIMPULAN

1. Penambahan material *fly ash* sebanyak 20% pada balok dapat meningkatkan kapasitas geser balok sebesar 19,22%. Hal ini disebabkan oleh ukuran *micro* partikel *fly ash* yang dapat mengisi pori-pori beton sehingga menghasilkan ikatan yang lebih kuat pada beton. Meskipun demikian, lebar retak maupun lebar daerah *crush* yang dihasilkan antara kedua jenis balok tidak menunjukkan hasil yang signifikan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis ditujukan kepada Laboratorium Beton Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya dan PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk sebagai tempat penelitian dilakukan. Ucapan terima kasih juga ditujukan bagi Prof. Ir. Priyo Suprobo, M.Sc., Ph.D; Ir. Faimun M.Sc., Ph.D; Dr. Asdam Tambusay, S.T; Dr. Wahyuniarsih Sutrisno, S.T., M.T dan Indra Komara, S.T., M.T atas dukungannya sehingga penelitian ini dapat selesai dengan baik.

Daftar Pustaka

- ACI Committee 211. 1-91. Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.
- American Concrete Institute (revised 1986) Building Code Requirements for Reinforced Concrete. ACI 318-83, American Concrete Institute, Detroit.
- Appiah, K. A., & Asamoah, M. A. (2016). Characterization and Shear Strength Prediction of Reinforced Concrete Deep Beams-A Review. IJSR 5(3):1789-1798.
- ASTM C 127-88 (1993). Standard Method of Test for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregates.
- ASTM C 128-93. Specification Gravity and Absorption of Fine Aggregate.
- ASTM C 136-93. Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregate.
- ASTM C 142-78. Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates.
- ASTM C 188-89, 2003. Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement. United States: Association of Standard Testing Materials.

- ASTM C 29-91a. Standard Test Method for Bulk Density and Voids Aggregates.
- ASTM C 618-94a. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete.
- ASTM C 70-79. Standard Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregates.
- Canadian Standards Association. (1984). Design of Concrete Structures for Buildings. CAN3A23.3-M84, Canadian Standards Association, Toronto, Canada.
- Comité Européen de Béton-Fédération Internationale de la Précontrainte. (1978). Model Code for Concrete Structures. English Edition, Cement and Concrete Association, London.
- Construction Industry Research and Information Association. (1977). The Design of Deep Beams in Reinforced Concrete. CIRIA Guide 2. Ove Arup & Partners and CIRIA, London.
- Don, W. (2020). Influence of Link Spacing on Concrete Shear Capacity: Experimental Investigations and Finite Element Studies. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 930. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/930/1/012052>
- DPU, 1971. Peraturan Beton Bertulang Indonesia, N.1-2 1971, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Kong, F. K. (2002). *Reinforced concrete deep beams*. New York: Taylor & Francis e-Library.
- Kotsovos, M.D. (1988). Design of reinforced concrete deep beams. Struct. Engr. 66, 2: 28.
- Lantsoght, E. (2014). Determination of Distribution Width for Shear Stresses at Support in Reinforced Concrete Slab Bridges. <https://doi.org/10.1201/b16645-104>
- Mooy, M. (2020). Evaluation of Shear-Critical Reinforced Concrete Beam Blended with Fly Ash. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 506. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/506/1/012041>
- Mooy, M. (2020). Studi Eksperimental Pengaruh Pre-Crack Pada Kapasitas Geser Balok Engineered Cementitious Composite Yang Terkorosi, MT Thesis, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Nawy, E. G. (1990). *Reinforced concrete: a fundamental approach, 6/E*. New Jersey: Prentice Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics.
- Nawy, E. G. (2009). *Reinforced concrete*. New Jersey: Prentice Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics.
- Oktaviani, W. N. (2020). *Flexural Behaviour of a Reinforced Concrete Beam Blended with Fly Ash as Supplementary Material*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 506. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/506/1/012042>
- Patil, S. S., & Baghban, O. R. (2018). *Comparison of experimental strength of RC deep beams design by various country codes with respect to deep beam with different percentage of web steel*. (May), 122-126.
- Tambusay, A. (2018). Visualization of Shear Cracks in a Reinforced Concrete Beam Using The Digital Image Correlation. International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology., Vol. 8. ISSN: 2088-5334
- Tambusay, A. (2021). Application of Nonlinear Finite Element Analysis on Shear-Critical Reinforced Concrete Beams. J. Eng. Technol. Sci., Vol. 53, No. 4, 2021. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2021.53.4.8>