

Pola Kegagalan Balok Beton Bertulang Spiral Tanpa Beton Pada Penampang Tarik

Astiah Amir^{1*}, Aulia Raman², Yulita Rahmi³, Andrisman Satria⁴, Dewi Purnamasari⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas Teuku Umar, Meulaboh 23615, Aceh Barat

³Jurusan sipil, Fakultas TEKNIK UTU, Meulaboh

e-mail: astiahamir@utu.ac.id

Abstract

The exploration of natural materials to produce concrete has an impact on environmental conditions and global warming that can cause natural disasters. Therefore, the use of concrete materials must be as efficient as possible. One solution to overcome this problem is to reduce the concrete in the tensile area and strengthen the beam using steel reinforcement in the support area. This study aims to determine the effect of tensile reinforcement on the behavior of beams without concrete in the tension area using a spiral system on crack patterns and beam patterns. The method used was an experimental method by making 2(two)specimens, a normal concrete beam (BN) as a control beam, and a spiral concrete beam without reinforcement in the tensile section with the addition of experimental reinforcement at the support section (BTRS 60D) where D is the diameter of the main reinforcement. The beams were designed as normal quality concrete beams with concrete quality of 45.07 MPa at the testing age of 28 days. The beam's dimension was 150 mm x 200 mm x 3100 mm. This study obtained the ultimate load on the BTRS specimen of 35.1 kN. While on the BN specimen, the ultimate load reached 47.65 kN. There was a decrease in BTRS service load by 27.57%. It is observed that the BN specimen experienced flexural cracks. The beam failure of the 2 test objects experienced beam failure that resembled under-reinforced where the reinforcing steel melted before the concrete was crushed.

Keywords: spiral reinforcement, failure pattern, crack pattern.

1. PENDAHULUAN

Saat ini struktur bangunan yang ramping dengan memanfaatkan sumber daya alam seefisien mungkin sedang digalakkan. Hal ini dilakukan untuk menerapkan konsep rendah karbon pada pembangunan infrastruktur. Salah satu alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan mengurangi pemakaian beton pada konstruksi, yang kita ketahui bahwa proses pembuatan semen menimbulkan emisi, disamping itu pengurangan pemakaian beton ini dapat mengurangi pemakaian kerikil, pasir sebagai sumber daya alam, yang tentunya tetap diharapkan menghasilkan bangunan yang kuat dan aman bagi penggunanya, sejalan dengan penelitian [1], [2],[3].

Konsep bangunan berkelanjutan juga sedang digalakkan pada industri konstruksi. Konsep ini bertujuan agar suatu konstruksi, sejak tahap mulai, desain, sampai pemeliharaan serta penghancuran, dapat menggunakan sumber daya dengan lebih hemat sehingga konstruksi ramping dapat tercapai. Bahan utama penyusun beton umumnya memanfaatkan material dari alam seperti pasir, kerikil, sehingga untuk pemenuhan kebutuhan bahan-bahan tersebut dapat menimbulkan kerusakan lingkungan akibat kegiatan galian C, sejalan dengan [4], [5] Seperti diketahui, beton kurang mampu untuk menahan tegangan tarik dan geser [6], struktur beton bertulang diupayakan untuk mempunyai kuat lentur dan geser tinggi. Masalah retak pada struktur beton akibat beban yang mengenainya, terjadi saat struktur beton tidak mampu menahannya sehingga diperlukan tulangan untuk membantu beton dalam menahan beban tarik. Salah satu alternatif yang dipakai

di antaranya adalah menggunakan tulangan perkuatan, menentukan spesifikasi teknis, dan menentukan metode yang dapat menjamin keamanan bagi pengguna bangunan.

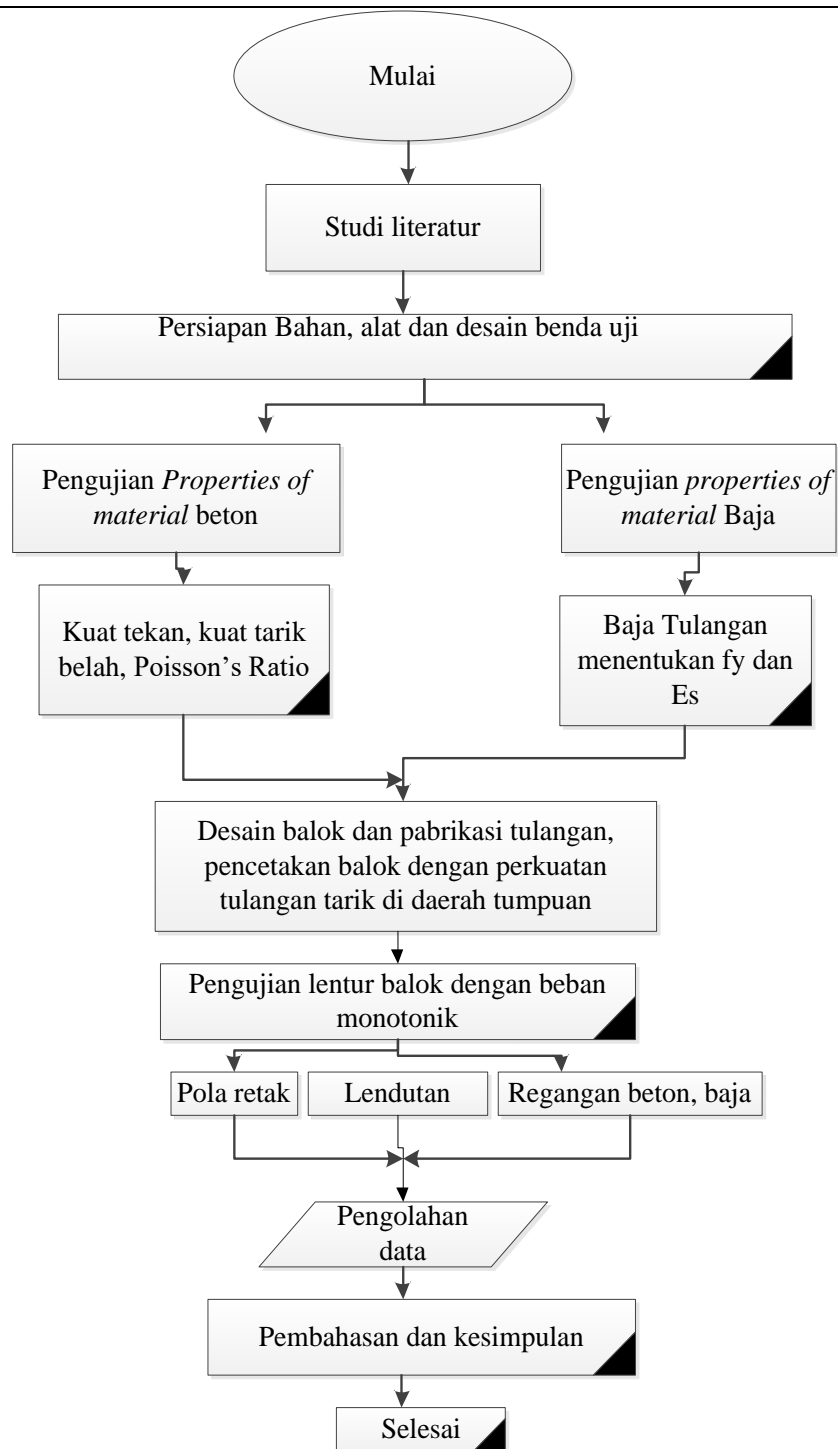
Alternatif perkuatan yang digunakan pada beton bertulang dapat berupa penulangan lentur dan penulangan geser (sengkang). Ada beberapa macam tulangan geser pada balok, yaitu tulangan sengkang vertikal, spiral, dan sengkang sistem rangka (*truss*). Tulangan lentur dipasang secara horizontal sejajar sumbu balok dan berfungsi menahan momen lentur, sedangkan tulangan geser atau begel dipasang secara tegak lurus terhadap sumbu balok beton dan berfungsi sebagai penahan gaya geser, kapasitas lentur balok tanpa beton pada bagian tarik (balok beton bertulang eksternal, ERCB) dan balok beton normal dengan menggunakan tulangan vertikal, menghasilkan penurunan kapasitas lentur ERCB menjadi 86%, dibandingkan dengan benda uji kontrol. Selain itu, kekakuan ERCB juga menurun menjadi 60% dibandingkan dengan balok normal [7].

Selanjutnya pengaruh tulangan sistem rangka (*truss*) terhadap kapasitas balok beton komposit dengan penggunaan *Stryofoam Concrete* (SFC) menunjukkan kesesuaian kinerja yang baik dibandingkan balok beton bertulang normal pada zona tarik balok beton [8]. Berdasarkan penelitian [9] bahwa, penambahan tulangan tarik pada zona tumpuan balok di zona tarik dengan perkuatan pada tumpuan (BTRP) hasilnya adalah dapat meningkatkan kapasitas lentur, daktilitas, dan penundaan awal retak. Dari pola retak, BTRP 40D tidak memadai untuk mencegah retak di zona tumpuan, sedangkan BTRP 60D menyebabkan tidak terjadi lagi retak pada daerah tumpuan, dan BTRP 80D mengakibatkan tidak terjadinya retak di zona tumpuan, dan memberikan defleksi yang lebih besar di tengah bentang, oleh karena itu balok lebih daktil

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka diteliti tentang pengaruh perkuatan tulangan tarik terhadap kapasitas balok beton bertulang spiral dengan penambahan perkuatan tulangan tarik pada zona tumpuan balok menggunakan panjang penyaluran 60D (BTRS 60D), maka diharapkan retak yang terjadi pada area tumpuan dapat diatasi dan kapasitas lentur meningkat. Hasil analisis pola retak balok BTRS (bertulang spiral) dibandingkan dengan balok BTRP 60D (bertulang sistem rangka).

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode ekperimental untuk mengetahui pola retak dan pola kegagalan pada balok bertulang spiral dengan perkuatan tulangan tarik pada daerah tumpuan. Penelitian ini terdiri atas kajian pustaka, persiapan, pengujian *propertis of materials*, pembuatan benda uji, perawatan benda uji dan pengujian kapasitas balok. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

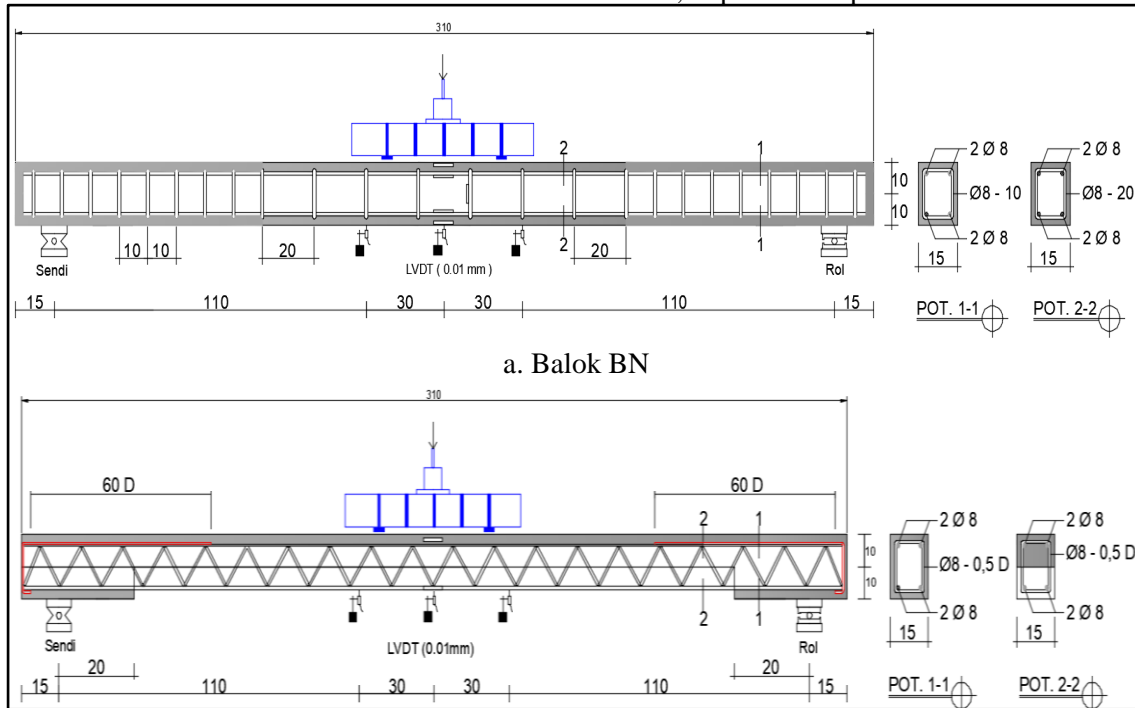
2.1 Eksperimental Program

Studi eksperimental dilakukan pada Laboratorium Konstruksi dan Bahan Bangunan (LKBB), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala. Metode yang digunakan dalam

penelitian ini berdasarkan peraturan ASTM (American Society for Testing of Materials) dan ACI (*American Concrete Institute*).

2.1.1 Spesimen dan Material

Ukuran balok adalah 3100 x 150 mm x 200 mm, dapat dilihat pada **Gambar 2**.



a. Balok BN
b. Balok BTRS
Gambar 2. (a) Balok BN dan (b) BTRS

a. Variasi Benda Uji

Variasi balok beton yang akan diteliti adalah dua spesimen masing-masing terdiri atas satu buah balok BN dengan tulangan normal dan satu buah balok beton bertulang spiral tanpa beton pada penampang tarik dengan kekuatan batang tulangan tarik 60D.

b. Material Properties

- Pengujian bahan beton

Desain campuran beton normal yang akan digunakan pada balok menggunakan [10], bahan beton yang digunakan adalah beton baru yang dipakai juga pada pengujian *slump* dan kuat tekan. Dimensi benda uji silinder berdiameter 100 mm dengan tinggi 200 mm. Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah umur 28 hari, sesuai dengan standar[11]

- Pengujian bahan baja

Bahan baja polos Ø8 mm jenis Bj.TP 24 dan baja ulir D13 dengan jenis Bj.TS 24. Di mana panjang awal L_0 benda uji adalah 300 mm, diukur sebelum benda uji baja diuji tarik. Gambar pengujian beton dan spesimen baja dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.



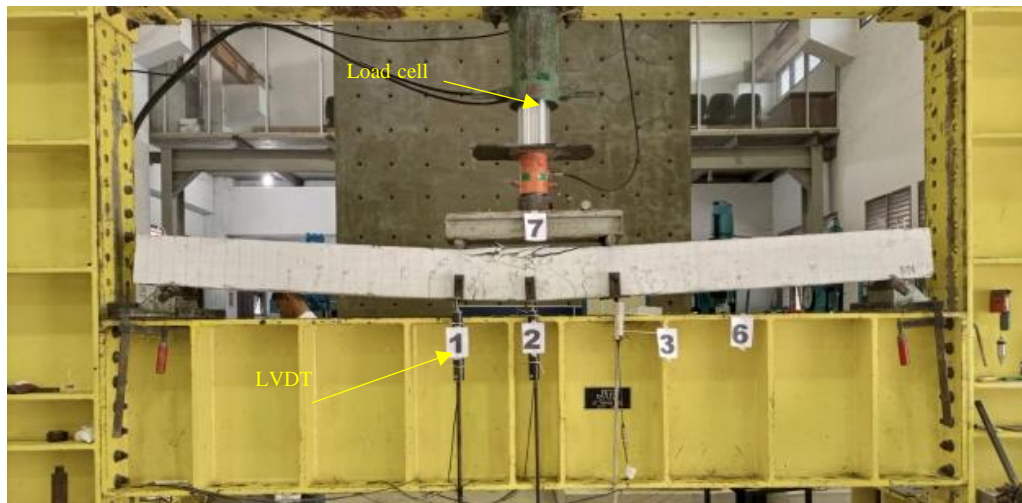
Gambar 3. Pengujian *properties* beton Gambar 4. Pengujian *properties* Baja
Hasil uji *properties* beton dan baja dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Properties* Beton dan Baja

Beton	
Kuat tekan (f'_c)	45.07 MPa
Kuat tarik (f_t)	3 MPa
Tegangan lentur (f_r)	3.64 MPa
Modulus elastisitas (E_c)	31.550×10^3
Baja	
Tegangan leleh (f_y)	365.14 MPa
Tegangan maksimum (f_{s_max})	469.24 MPa
Modulus elastisitas (E_s)	198890 MPa
Regangan leleh (ϵ_s)	0.00199

2.1.2 *Setup Test*

Pengujian balok dilakukan dengan dua poin pembebanan pada spesimen balok, dengan pembebanan yang bersifat monotonik, yang diberikan secara bertahap sampai balok mengalami keruntuhan. Menggunakan *data logger* untuk membaca data, diambil pada setiap pembacaan lendutan pada kondisi normal, dapat dilihat pada Gambar 5.

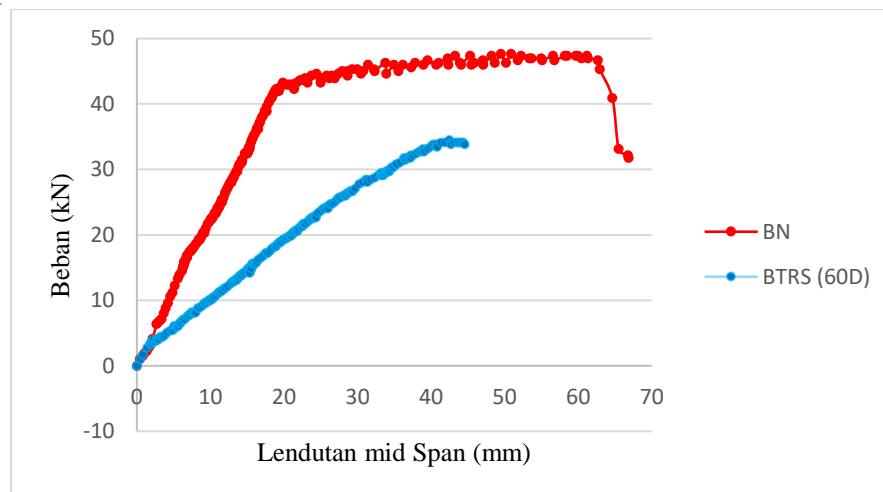


Gambar 5. *Setup* Spesimen Balok

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

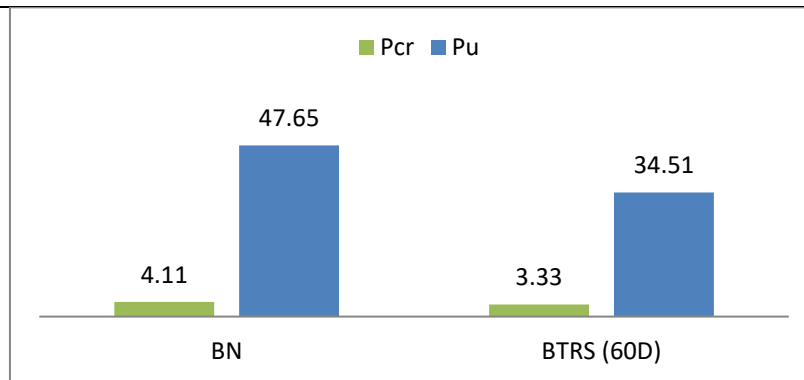
3.1 Hubungan Beban-Lendutan

Data pengukuran lendutan yang digunakan pada pengujian ini adalah hasil output dari LVDT yang dipasang di tengah bentang. Secara umum, setiap benda uji menunjukkan perilaku yang sama. Pada saat terjadi retak awal (P_{crak}), grafik beban – lendutan mengalami penurunan. Kemudian pada saat mencapai regangan leleh (P_{yield}), Kekauan beban-lendutan menurun drastis. Setelah itu, penambahan beban cenderung konstan sementara lendutan terus meningkat hingga mencapai beban maksimum, grafik hubungan beban –lendutan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hubungan Beban-Lendutan tengah bentang

Berikut histogram awal retak (P_{cr}), beban maksimum(P_u), dapat dilihat pada Gambar 7.

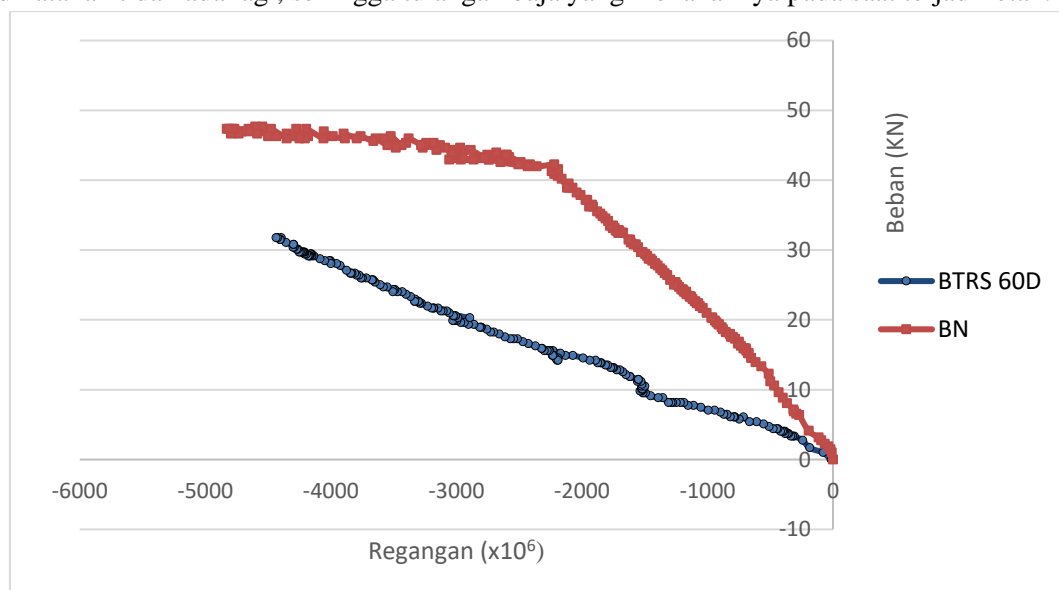


Gambar 7. Histogram retak awal(Pcr), dan beban maksimum (Pu) balok BN dan BTRS 60D

Berdasarkan Gambar 6, perilaku balok BN dapat diamati, grafik hubungan beban-lendutan BN lebih tegak dibandingkan dengan balok BTRS(60D), hal ini menunjukkan bahwa balok BN lebih kaku. BN lebih daktail, karena balok BN lebih lama waktu berdefomasinya dibandingkan dengan balok BTRS (60D), baru mengalami keruntuhan. Berdasarkan Gambar 7, dapat diketahui bahwa beban Pcr balok BTRS 60D lebih rendah 18,97%, sedangkan beban maksimum (Pu) jika dibandingkan antara BN dengan BTRS 60D juga mengalami penurunan sebesar 27,57%.

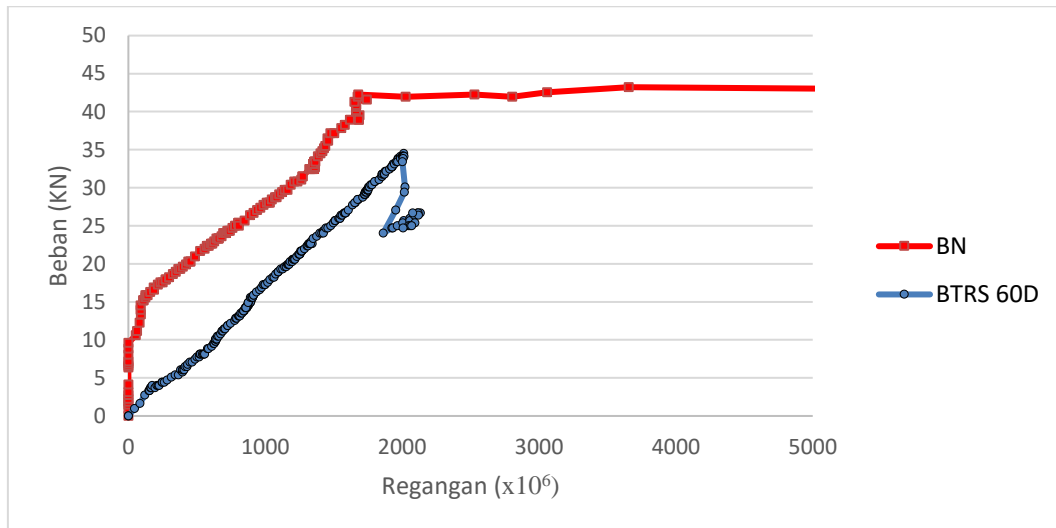
3.2 Hubungan Beban -Regangan Beton

Berdasarkan Gambar 8, dapat dijelaskan bahwa retak awal Pcr terjadi pada BN saat pembebanan 4.11kN, dengan regangan beton sebesar $\epsilon_c = 194.557 \mu$ dan pada balok BTRS (60D), terjadi pada saat diterapkan beban 3.33 kN dengan regangan beton sebesar 308.227μ , jika dibandingkan dengan balok kontrol (CB), terjadi penurunan beban Pcr sebesar 23,43%, dan terjadi peningkatan regangan beton sebesar 36,56%. Pada saat beban ditingkatkan sesuai taraf keretakannya maka terjadi retak lentur. Pada kondisi ini , kontribusi tarik beton dapat dikatakan tidak ada lagi, sehingga tulangan baja yang menahannya pada saat terjadi retak.



Gambar 8. Hubungan beban-regangan beton

3.3 Hubungan Beban –Regangan Baja



Gambar 9. Hubungan Beban-Tulangan Utama

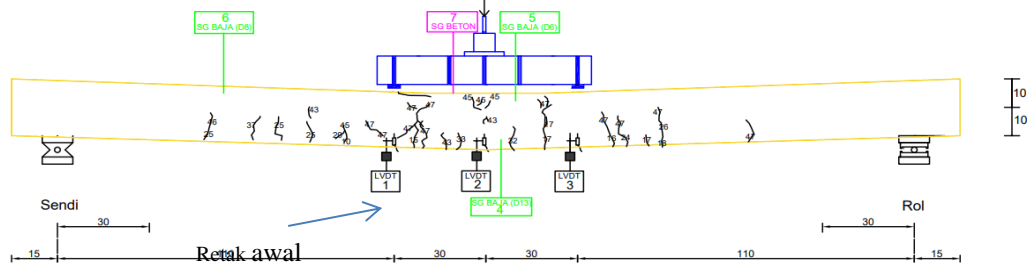
Berdasarkan Gambar 9, dapat diamati bahwa balok BN mengalami retak awal terjadi pada beban 4.11 kN dengan regangan tulangan utama sebesar 11.13 μ , dan beban maksimum tercapai pada 47.65 kN dengan regangan tulangan utama 3608 μ , sedangkan pada BTRS (60D), terjadi pada beban 3.33 kN dengan regangan baja 155.26 μ . Tulangan baja utama meleleh pada beban 33.82kN, dengan regangan 1999.69 μ dan mengalami beban maksimum sebesar 34.51 kN, dengan regangan 2043,72 μ . Jika diasumsikan bahwa tulangan baja meleleh pada regangan 2000 μ , maka kedua balok ini mengalami tulangan utama meleleh sebelum beton hancur, berarti terjadi kegagalan *under reinforced*.

3.4 Pola Retak

3.4.1 Spesimen BN

Berdasarkan Gambar 10, pengamatan retak dilakukan terhadap benda uji balok normal saat pembebanan diberikan. Retak awal terjadi pada daerah 1/3 tengah bentang tepat di bawah beban. Seiring pertambahan beban, retak awal yang sudah terjadi akan semakin lebar dan semakin panjang menuju sumbu netral penampang sehingga mengurangi kekauan dari balok. Retak awal terjadi pada beban 4.11 kN pada spesimen BN. Pada penampang tarik retak terus merambat sampai mencapai beban maksimum 47.65 kN, selanjutnya terjadi retak pada penampang tekan, dapat disimpulkan bahwa spesimen mengalami retak lentur, akibat balok gagal dalam menahan beban monotonik, sehingga terjadi retakan pada penampang tekan.

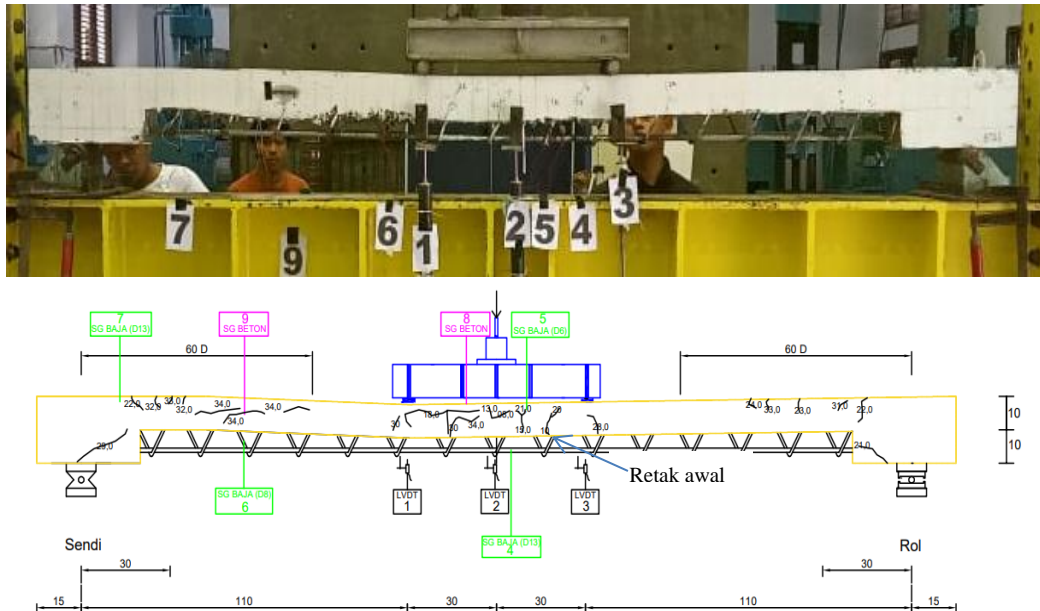




Gambar 10. Pola Retak BN

3.4.2 Benda uji BTRS

Mengamati Gambar 11 terlihat bahwa spesimen BTRS mengalami retak awal pada beban 3.33 kN. Seiring penambahan pembebanan, terjadi retakan pada sisi tekan merambat sampai ke daerah dekat tumpuan, pada beban ultimit 34.51 kN. Pada spesimen BTRS terjadi retak geser-lentur (*flexural shear crack*), akibat balok tak mampu menahan beban lentur, sehingga terjadi retakan pada daerah tengah bentang dan merambat ke zona tumpuan.

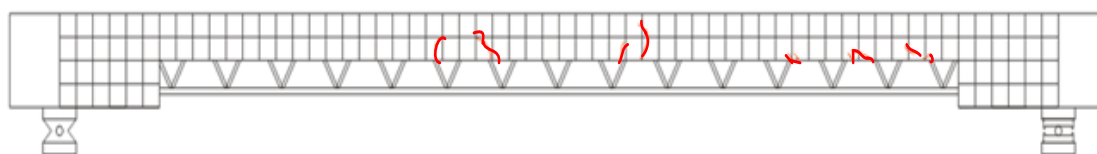


Gambar 11. Pola Retak BTRS

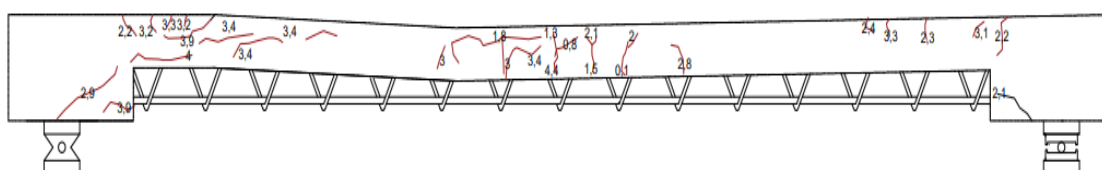
3.5 Pengaruh Perkuatan

Penelitian yang pernah dilakukan pada Balok Terbuka Sistem Rangka (BTR), di mana balok mengalami retak di daerah tumpuan yang menyebabkan penurunan kapasitas lentur sehingga terjadi kegagalan dini sebelum beban maksimum tercapai. Oleh karena itu diperlukan perkuatan berupa penambahan tulangan tarik di daerah tumpuan. Pada penelitian selanjutnya oleh [12], telah diberi penambahan tulangan tarik pada zona penyangga balok BTRP dapat meningkatkan lentur kapasitas, daktilitas dan penundaan awal retak dan pada balok BTRP 60D dan BTRP 80D tidak terjadi retak di zona tumpuan dan memberikan defleksi yang lebih besar di tengah bentang.

Penelitian lanjutan saat ini menggunakan balok BTRS dengan penambahan tulangan tarik pada daerah tumpuan 60 D terjadi keretakan pada daerah tumpuan yang mana jumlah retakan pada balok BTRS 60 D ini lebih banyak dibandingkan dengan balok BTRP 60 D, adapun beban maksimum yang dicapai kedua balok ini adalah hampir sama, yaitu pada BTRP 60 D sebesar 34.51 kN sedangkan beban maksimum pada BTRS 60 D sebesar 34.50 kN. Pola retak balok BTRS 60D dan BTRP 60D dapat dilihat pada Gambar 12.



(a) Pola Retak BTRP 60D



(b) Pola Retak BTRS 60D

Gambar 10. Pola Retak BTRP dan BTRS

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data eksperimental dari kapasitas lentur balok beton bertulang spiral adalah sebagai berikut:

1. Retak yang terjadi pada balok BTRS adalah pola retak geser-lentur, sedangkan pada balok BN tidak terjadi retak lentur geser, melainkan hanya mengalami retak lentur di tengah bentang. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yaitu kapasitas balok BTRP 60D, terdapat kesamaan hasil, namun pada balok BTRS masih terjadi retak pada daerah tumpuan dan jumlah retakan yang terjadi lebih banyak.
2. Moda keruntuhan pada spesimen BTRS dimulai dengan retak awal pada beban 3.33 kN mengalami leleh pada beban 33.82kN, dengan regangan 1999.69 μ , terjadi retak lentur geser, beban maksimum pada beban 34.51 kN. Balok mengalami keruntuhan *under reinforced*. Tulangan baja meleleh terlebih dahulu, dan beton hancur sesaat setelah tercapai beban maksimum. Pada spesimen BN terjadi retak lentur dan juga mengalami kegagalan *under reinforced*.

5. SARAN

Adapun saran yang direkomendasikan sebagai berikut:

1. Keberlanjutan penelitian ini penting dilakukan, sebaiknya diteliti dan ditambahkan lagi variasi tentang jarak antar tulangan spiral, agar didapatkan jarak spasi tulangan yang memberikan hasil yang optimum.

-
2. Variasi perkuatan benda uji dengan bahan yang lain dan metode yang berbeda misalnya FRP yang dapat memberikan kontribusi dalam peningkatan kapasitas balok direkomendasikan untuk diteliti lebih lanjut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada seluruh member laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Syaiah Kuala, mahasiswa yang turut membantu, dalam penelitian ini yaitu Nanda Eko Abdillah, Reza Wanara, dan Rendy.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Shelly Novi Handarini, Amelia Agusni, “Mewujudkan Pembangunan IKN Rendah Karbon Melalui Penerapan Prinsip Bangunan Ramah Lingkungan & Pengadaan Barang dan Jasa Ramah Lingkungan,” *Standar : Better Standar Better Living*, vol. 1, no. 2, pp. 22–26, 2022, [Online]. Available: <http://majalah.bsilhk.menlhk.go.id/index.php/STANDAR/article/view/27/19>.
- [2] H. Ashad, S. Supardi, A. Mappiasse “Pemanfaatan Limbah Pembakaran Batu Bara Sebagai Bahan Substitusi Parsial Semen,” *J. Tek. Sipil* vol. 5, no. 3, pp. 251–258, 2020, [Online]. Available: <http://jurnal.ft.umi.ac.id/index.php/jtسم/article/view/202>.
- [3] E. Pawitasari, E. Mujahidin, and N. Fattah, “STUDI EKSPERIMENTAL KOMBINASI GELAS DAN TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT KASAR TERHADAP KUAT TEKAN BETON,” vol. 4, no. 1, pp. 1–21, 2015.
- [4] J. Brier and lia dwi jayanti, *Material Beton Rendah Emisi yang Berkelanjutan*, vol. 21, no. 1. Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia., 2020.
- [5] M. S. et al. S.Ahmad, I. Hanafie, *Pemanfaatan Material Alternatif (Sebagai Bahan Penyusun Kontruksi)*, no. September 2021. 2021.
- [6] B. Tumiwa, H. Manalip, and W. J. Tamboto, “PEMERIKSAAN TEGANGAN LEKAT ANTARA BAJA DAN BETON DENGAN KUAT TEKAN BETON 40 MPa,” *J. Sipil Statik*, vol. 4, no. 1, pp. 65–73, 2016.
- [7] R. Djamaluddin, Y. Bachtiar, R. Irmawati, A. M. Akkas, and R. U. Latief, “Effect of the Truss System to the Flexural Behavior of the External Reinforced Concrete Beams,” *Int. Sci. Index*, vol. 8, no. 6, pp. 938–942, 2014.
- [8] Yasser, H. Parung, M. W. Tjaronge, and R. Djamaluddin, “Flexural Characteristics of Reinforced Concrete Beam Using Styrofoam Filled Concrete (SFC) in Tension Zone,” *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–7, 2015, doi: 10.7763/ijet.2015.v7.755.
- [9] A. Amir, R. Djamaluddin, R. Irmawaty, A. A. Amiruddin, and Fakhruddin, “Failure mode of truss system concrete beams strengthened with tensile reinforcement,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 419, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1755-1315/419/1/012053.
- [10] J. R. Prestera Secretary Michael Boyle Chairman David A Crocker Chairman *et al.*, “ACI 211.2-98 supersedes ACI 211.2-91 and became effective,” pp. 1–18, 1998.
- [11] C. C. Test, T. Drilled, C. C. Test, and B. Statements, “ASTM C 39/C 39M – 01. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens,” pp. 3–9, 2014, doi: 10.1520/C0039.
- [12] A. Amir, R. Djamaluddin, R. Irmawaty, and A. A. Amiruddin, “Tensile Reinforcement Effectiveness in the Flexural Capacity Enhancement of Truss-System Reinforced Concrete Beam,” vol. 15, no. 7, pp. 1861–1867, 2020.