

# Analisis Pola Kegagalan Balok Sistem Rangka dengan Perkuatan di Daerah Tumpuan

Mardis Darwis\*<sup>1</sup>, Rudi Djamaluddin<sup>1</sup>, Rita Irmawaty<sup>1</sup>, Astiah Amir<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Jl. Poros Malino km. 6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

\*Email: mardisdarwis88@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052020.03

## Abstrak

Pada penelitian sebelumnya Balok Terbuka Sistem Rangka (BTR) mengalami penurunan kapasitas lentur yang disebabkan oleh retak yang terjadi di daerah tumpuan. Oleh karena itu diperlukan penambahan perkuatan tarik di daerah tumpuan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa menganalisis kapasitas momen ultimit pada balok terbuka sistem rangka serta menganalisis pengaruh perkuatan tulangan tarik pada daerah tumpuan terhadap pola retak balok. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental. Benda uji beton bertulang dengan sistem tulangan rangka berdimensi 15 cm x 20 cm x 330 cm diberi perkuatan tarik pada daerah tumpuan dengan 3 variasi panjang tulangan perkuatan, yaitu BTRP 40D, BTRP 50D dan BTRP 60D. Pengujian benda uji dengan menggunakan beban statis. Hasil dari pengujian menunjukkan benda uji 40D tidak mencapai beban ultimit karena masih mengalami kegagalan prematur di daerah tumpuan sebagaimana balok BTR sebelumnya sementara benda uji BTRP 50 dan BTRP 60D mengalami peningkatan kapasitas ultimit dan tidak mengalami kegagalan prematur di daerah tumpuan. Panjang perkuatan tarik 60D lebih efektif karena memiliki kapasitas beban ultimit terbesar dan mengalami lebih sedikit retak akibat geser dan lentur dibandingkan benda uji lain.

## Abstract

The previous research of using truss system reinforcement in the beam without concrete (BTR) in the tension zone causes a decrease in flexural capacity due to the failure in the area near the support. Therefore, it is necessary to add tensile reinforcement in the support zone. This study aims to analyze the ultimate capacity of the truss system concrete beam strengthened with tensile reinforcement and to analyze the effect of tensile reinforcement in support zone due to crack pattern. This study was conducted experimentally in the laboratory. The dimension of truss reinforced concrete specimens are 15 cm x 20 cm x 330 cm that added tensile reinforcement with three types of length, they are BTRP 40D, BTRP 50D, and BTRP 60D, where D (13 mm) is diameter of tensile reinforcement. The flexural test is carried out by monotonic static loading. The results showed that tensile reinforcement in BTRP 40D was not able to carry the ultimate capacity due to premature failure in the support zone. while BTRP 50D and BTRP 60D specimens can enhance the ultimate capacity without facing premature failure in the support zone. The tensile reinforcement of 60D has the highest ultimate capacity because it can carry the biggest loads and minimum crack pattern.

**Kata Kunci:** Kapasitas beban ultimit, kapasitas lentur, pola retak, tulangan sistem rangka

## 1. Pendahuluan

Dengan berkembangnya teknologi dan ilmu pengetahuan, berbagai inovasi telah diterapkan untuk meningkatkan kuat lentur balok bertulang, salah satunya adalah penggunaan tulangan sistem rangka balok beton bertulang dengan konfigurasi tulangan geser vertikal menjadi tulangan miring. Sistem rangka pada balok beton bertulang sebagai penguatan balok beton telah dipopulerkan di Italia. Balok tulangan sistem rangka dapat menahan beban yang lebih besar dan bentang yang miring dapat meningkatkan kuat geser dan lentur pada balok serta mengurangi besarnya lendutan. Hal ini

didasari pada hasil ekperimental oleh beberapa peneliti sebelumnya. Salah satu penerapan sistem rangka pada penelitian sebelumnya, Analogi rangka, yang didasarkan pada bukti eksperimental yang relevan, cenderung mengasumsikan bahwa retak yang terbentuk pada balok beton bertulang mengakibatkan kegagalan. Tegangan blok-blok beton antara retak-retak yang berdekatan akan membawa gaya tekan miring dan ditahan pada tulangan lebih panjang dari balok bertulang biasa. Perubahan geometrik tulangan geser vertikal menjadi kompresi diagonal. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan seperti rangka



dapat dicapai melalui tulangan longitudinal menahan batang tarik dari rangka sementara beton merupakan batang tekan kedua sisi balok, kemudian tulangan geser diagonal untuk menahan gaya tarik vertikal kemudian bergabung dengan dengan tulangan longitudinal yang berdekatan [1]–[3]. Hermanto pada tahun 2015 [4] menyajikan hasil studi tentang kapasitas lentur balok beton bertulang dengan atau tanpa *styrofoam* sebagai beton pengisi (SFC) pada daerah tarik menunjukkan bahwa hubungan beban dan lendutan pada balok dengan SFC-30 menggunakan sistem rangka beton bertulang menunjukkan daktilitas lebih baik baik dari pada balok beton normal serta kapasitas lentur balok beton komposit menghasilkan lendutan lebih besar dibandingkan beton normal. Adrija, dkk. [5] pada tahun 2017 melakukan penelitian tentang pengaruh tulangan sistem rangka (BTR) terhadap kapasitas lentur balok tanpa beton pada penampang tarik melalui pengujian eksperimental dan analisis teoritis. Penelitian ini bertujuan untuk memahami pengaruh tulangan sistem rangka terhadap kapasitas lentur balok. Hasil pengujian dan analisis menunjukkan bahwa kapasitas lentur balok BTR memiliki kemampuan menahan beban ultimit yang lebih besar dibandingkan dengan balok beton normal. Namun, pada balok BTR tanpa beton pada penampang tarik terjadi retak pada daerah tumpuan. Untuk mengantisipasi hal tersebut, maka diperlukan perkuatan pada daerah tumpuan tersebut dengan menggunakan batang tarik. Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan maka akan

dilakukan penelitian dengan judul "Analisis Pola Kegagalan Balok Sistem Rangka Dengan Perkuatan Di Daerah Tumpuan".

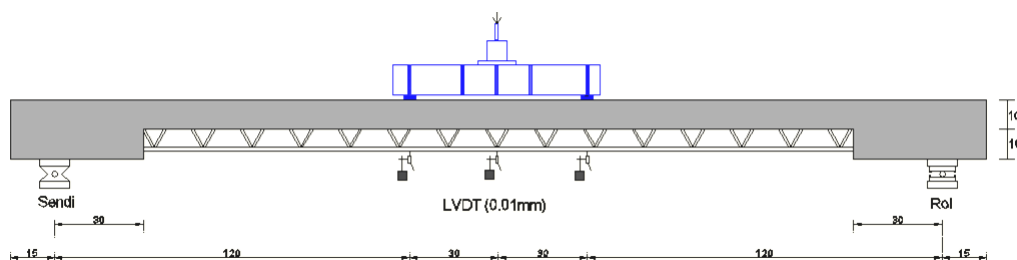
## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan waktu kurang lebih tiga bulan, dimulai dengan persiapan, pencampuran, pengujian karakteristik, perendaman, pengetesan, dan pengolahan data. Proses dan pelaksanaan pengujian akan dilaksanakan pada Laboratorium Bahan dan Struktur Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Gowa. Persiapan, pencampuran, pengujian karakteristik, perendaman, pengetesan, dan pengolahan data. Proses dan pelaksanaan pengujian akan dilaksanakan pada Laboratorium Bahan dan Struktur Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Gowa.

### 2.2. Pengujian Spesimen

Pembacaan *load cell* untuk pengujian balok dilaksanakan setiap pembebanan 1 kN. Untuk mencatat lendutan yang terjadi pada balok dipasang tiga buah LVDT (*Linear Variable Displacement Transducer*) yang ditempatkan pada bagian bawah sebanyak 2 buah dan pada bagian atas sebanyak 1 buah pada tengah bentang. Nilai regangan diukur dengan menggunakan alat *strain gauge*. Kemudian direkam melalui *data logger* TDS 1100.



Gambar 1. Setup benda uji

Namun pada balok BTRP 40D moda keruntuhan berupa retak yang hampir patah pada daerah tumpuan, bagian atas balok sementara beton belum hancur dan tulangan utama belum leleh. Perkuatan batang tulangan tekan didaerah tumpuan dapat meningkatkan kapasitas lentur pada balok. Panjang penyaluran balok yang

efektif adalah 60D dengan panjang = 78 cm, yaitu balok BTRP 60D dimana beban ultimitnya lebih besar diantara semua benda uji

### 2.3. Desain Benda Uji

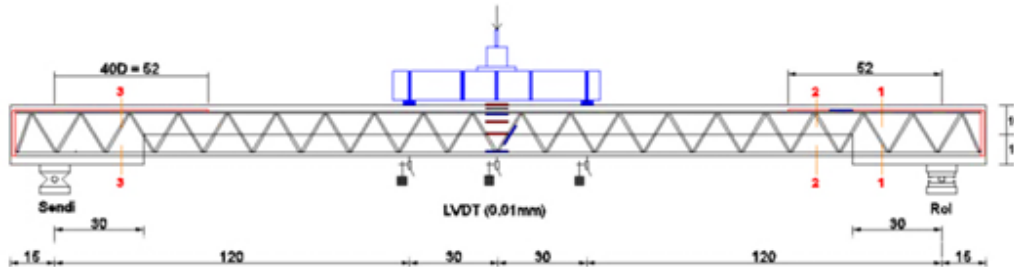
Variabel balok lentur (15 cm x 20 cm x 330 cm) yang akan diteliti pada penelitian ini terdiri



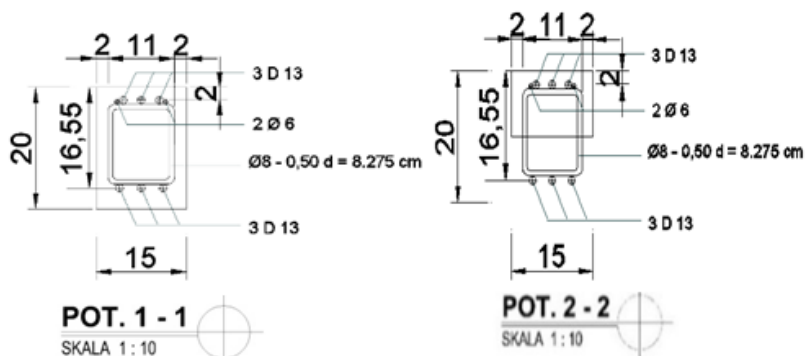
dari 6 jumlah sampel, di mana terdapat balok normal, dan balok perkuatan dengan variasi panjang pada daerah tumpuan. Variabel dan notasi benda uji dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Notasi dan jumlah sampel

No	Notasi benda uji	Jumlah Sampel	Panjang perkuatan	Ket.
1	BTRP 40D	2	520 mm	Perkuatan
2	BTRP 50D	2	650 mm	Perkuatan
3	BTRP 60D	2	780 mm	Perkuatan



Gambar 2. Tampak depan benda uji



Gambar 3. Potongan benda uji

### 3. Hasil Penelitian

#### 3.1. Karakteristik Material

Balok beton bertulang sistem rangka dengan perkuatan (BTRP) merujuk pada standar uji ASTM C39 [6] dan baja tulang pada standard uji ASTM E8-04 [7], Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Material properties

Beton		Baja Tulangan	
Parameter		Parameter	
Kuat Tekan ( $f'c$ )	26.52 MPa	Tegangan leleh ( $f_y$ )	373.64 MPa
Kuat tarik ( $f_t$ )	3 MPa	Tegangan ultimit ( $F_{smax}$ )	469.24 MPa
Tegangan lentur ( $f_r$ )	3.64 MPa	Regangan leleh ( $\epsilon_s$ )	0,00199x $10^6$
Modulus elastisitas (E)	24.450x $10^3$	Modulus Elastisitas ( $E_s$ )	198870 MPa

#### 3.2. Hubungan Beban dan Lentutan

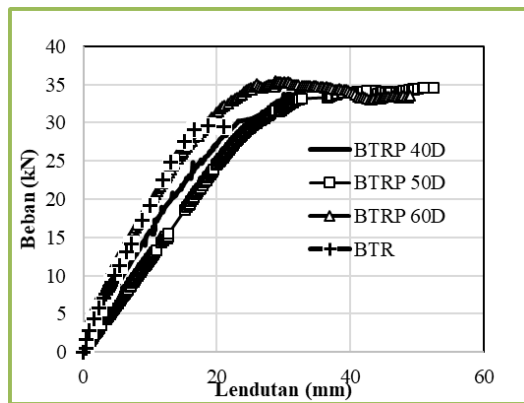
Pada Tabel 3 diuraikan rekapitulasi hasil pengujian pada kondisi retak awal, leleh dan ultimit yaitu beban awal retak ( $P_{cr}$ ), momen retak ( $M_{cr}$ ), beban leleh ( $P_y$ ), momen leleh ( $M_y$ ), beban ultimit ( $P_u$ ), momen ultimit ( $M_u$ ) dan lendutan maksimum.

Tabel 3. Rekapitulasi hasil pengujian balok

Uraian	Spesimen			
	BTR	BTRP 40D	BTRP 50D	BTRP 60D
$P_{cr}$ (kN)	4,34	4,70	4,8	5,66
$M_{cr}$ (kNm)	3,01	3,23	3,29	3,80
$P_y$ (kN)	-	-	30,40	30,72
$M_y$ (kNm)	-	-	17,00	18,84
$P_u$ (kN)	29,64	34,39	34,58	35,45
$M_u$ (kNm)	18,20	21,05	21,16	21,68
Lendutan(mm)	18,75	33,06	51,03	28,45

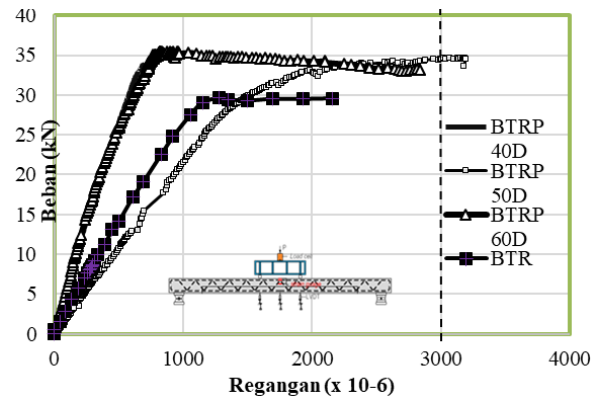


Pada Gambar 4, tulangan utama balok BTR tidak mengalami leleh sementara beton sudah mengalami retak lebar dan diikuti dengan kegagalan premature. Beban Retak awal dari BTR ( $P_{cr}$ ) sebesar 4.34 kN dan momen retak sebesar 3.01 kNm dengan lendutan maksimal sebesar 18,75 mm dan beban ultimit 29,64 kN. Pada balok BTRP 40D, beban ultimitnya meningkat 16,02 % dari balok BTR, balok BTRP 50D meningkat 16,66 % dan pada balok BTRP 60D sebesar 19,6 % dari balok BTR. Ini menunjukkan kapasitas lentur rendah pada balok BTR diakibatkan oleh kegagalan premature pada daerah tumpuan.



Gambar 4. Grafik hubungan beban dan lendutan

### 3.3. Hubungan Beban dan Regangan Beton



Gambar 5. Grafik hubungan beban dan regangan beton

Berdasarkan Tabel 4, pada benda uji BTRP 50D, saat beban ultimit tercapai beton telah hancur, tetapi berbeda dengan balok BTRP 60D, pada saat beban ultimit, beton belum hancur akan tetapi tulangan utama sudah meleleh. Selanjutnya BTR dan BTRP 40D terjadi kegagalan dini sebelum tulangan utama leleh dan beton belum mencapai batas regangan hancur beton.

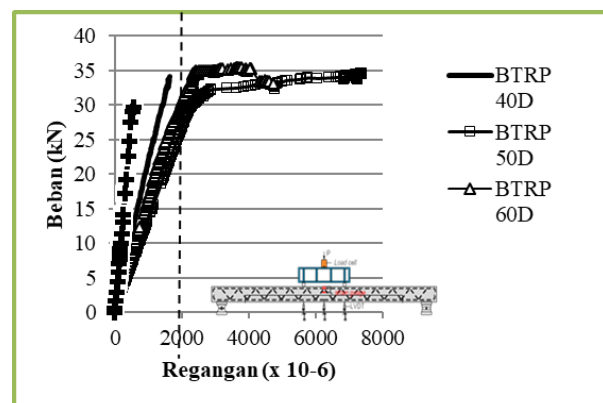
Tabel 4. Regangan beton pada beban  $P_{cr}$ ,  $P_y$  dan  $P$  ultimit

Benda Uji	Beban (kN)			Regangan ( $\mu$ )		
	$P_{cr}$	$P_{yield}$	$P_{ultimit}$	$\epsilon_{s\ crack}$	$\epsilon_{s\ yield}$	$\epsilon_{s\ ultimit}$
BTR	4,33	-	29,64	136	-	1277
BTRP 40D	4,70	-	34,39	84	-	738
BTRP 50D	4,80	26,74	34,58	223	1260	2372
BTRP 60D	5,66	30,72	35,45	96	631	831

### 3.4. Hubungan Beban dan Regangan Baja

#### 1) Hubungan Beban dan Regangan Tulangan Utama

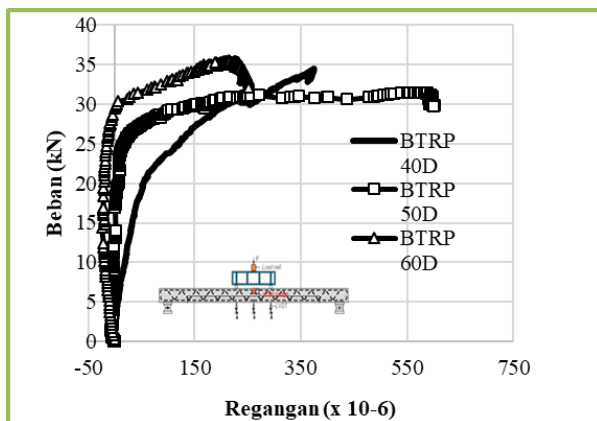
Peningkatan beban-regangan baja pada balok BTRP50 dan BTRP 60D terhadap balok BTR disebabkan oleh pengaruh perkuatan tulangan tarik pada daerah tumpuan yang menjadi solusi untuk mencegah terjadinya retak dimana kondisi tersebut menjadi penyebab turunnya kapasitas lentur balok. Namun pada balok BTR dan BTRP 40D masih terjadi retak pada daerah tumpuan yang menyebabkan terjadi kegagalan dini, balok patah sebelum tulangan utama meleleh.



Gambar 6. Hubungan beban dan regangan tulangan utama

## 2) Hubungan Beban dan Regangan Tulangan Perkuatan

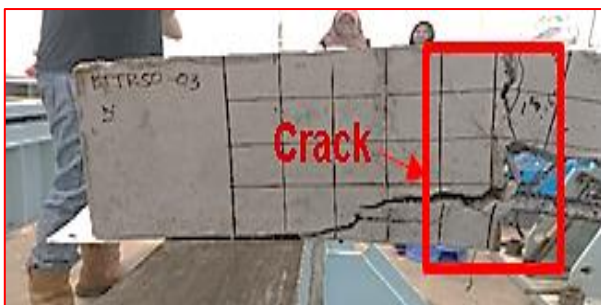
Tulangan perkuatan yang diletakkan pada sisi atas (tekan) balok dengan variasi panjang penulangan 40D, 50D, dan 60D, Secara natural tulangan ini berfungsi sebagai tulangan tekan sehingga pada awal pembebanan tulangan bersifat tekan yang ditunjukkan dengan nilai regangan negatif. Namun pada beban tertentu, perlakuannya berubah menjadi tarik sehingga regangan yang terukur adalah regangan yang bernilai positif. Hal ini menunjukkan bahwa sisi atas balok yang diatas tumpuan mengalami tarik. Tulangan tarik ini berfungsi meningkatkan kapasitas lentur balok saat balok mengalami lendutan akibat beban, dan tulangan perkuatan ini berfungsi menjadi tulangan tarik. Hubungan beban regangan tulangan perkuatan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hubungan beban dan regangan tulangan perkuatan

### 3.5. Pola Kegagalan

#### 1) Balok BTR



Gambar 8. Pola keruntuhan balok BTR

Pada Gambar 8. Menunjukkan retak lebar (*wide crack*) pada daerah tumpuan. Beton pada balok BTR mengalami keruntuhan sebelum

tulangan utama mengalami leleh, ini disebabkan menurunnya kekuatan penampang pada tulangan yang terekspos. Perubahan inersia merupakan salah satu penyebab terjadinya penurunan kuat penampang pada balok. Jika dilihat dari pola retak awal merupakan retak akibat geser kemudian diikuti dengan retak lentur diakhir.

#### 2) Balok BTRP 40D

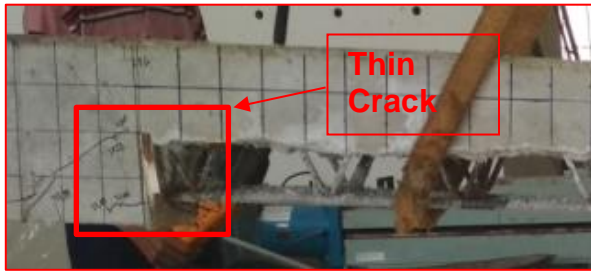
Pada Gambar 8 memperlihatkan benda uji BTR 40D mengalami retak awal saat beban sebesar 7.78 kN. Seiring pembebanan yang terus berlanjut, retakan pada sisi tarik terus merambat sampai pada beban ultimit 34.39 kN dengan sebaran retakan yang merambat melebihi 3/4 bentang balok. Pada benda uji BTR 40D mengalami kegagalan yang menyerupai perilaku *over-reinforced*, dimana balok gagal pada sisi tarik yang menunjukkan tulangan belum leleh tetapi beton sudah hancur. Perilaku berbeda pada balok BTRP 40 di daerah tumpuan, patahan yang semula tepat di daerah transisi perubahan penampang berpindah kearah tengah balok. Perubahan ini disebabkan oleh perkuatan tarik 40D di daerah tumpuan dimana perkuatan tarik menambah kekuatan penampang balok akibat pengurangan beton pada sisi tarik.



Gambar 9. Pola retak balok BTRP 40D

#### 3) Balok BTRP 50D

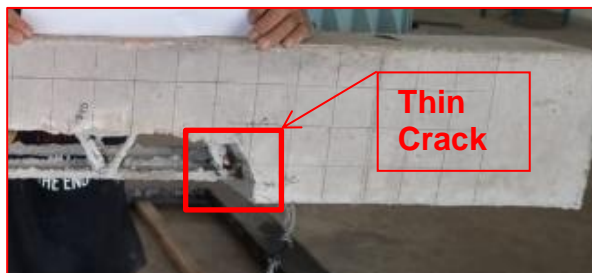
Pada Gambar 10 Menunjukkan benda uji BTRP 50D mengalami retak awal saat beban sebesar 4,8 kN. Seiring pembebanan yang terus berlanjut, retakan pada sisi tarik terus merambat sampai pada beban ultimit 34,58 kN dengan sebaran retakan yang merambat melebihi 3/4 bentang balok. Pada benda uji BTR 50D mengalami kegagalan yang menyerupai perilaku *under-reinforced*, dimana balok gagal pada sisi tarik yang menunjukkan tulangan sudah leleh sebelum beton hancur.



Gambar 10. Pola retak balok BTRP 50D

#### 5.4. Balok BTRP 60D

Berdasarkan pengamatan pada Gambar 10 memperlihatkan benda uji BTRP 60D mengalami retak awal saat beban sebesar 3.07 kN. Seiring pembebanan yang terus berlanjut, retakan pada sisi tarik terus merambat sampai pada beban ultimit 33.45 kN dengan sebaran retakan yang merambat melebihi 3/4 bentang balok. Pada benda uji BTRP 60D mengalami kegagalan yang menyerupai perilaku *under-reinforced*, dimana balok gagal pada sisi tarik yang menunjukkan tulangan sudah leleh sebelum beton hancur.



Gambar 11. Pola retak balok BTRP 60D

#### 4. Kesimpulan

Balok BTRP 50D-60D mengalami retak lentur (*flexural crack*) dan mengalami kegagalan *under-reinforced*, dimana balok gagal pada sisi tarik yang menunjukkan tulangan sudah leleh

sebelum beton hancur. Jumlah retak yang terjadi pada tengah bentang relatif lebih sedikit dibandingkan dengan balok BTR. Namun pada balok BTRP 40D moda keruntuhan berupa retak yang hampir patah pada daerah tumpuan, bagian atas balok sementara beton belum hancur dan tulangan utama belum leleh. Perkuatan batang tulangan tekan didaerah tumpuan dapat meningkatkan kapasitas lentur pada balok. Panjang penyaluran balok yang efektif adalah 60D dengan panjang = 78 cm, yaitu balok BTRP 60D dimana beban ultimitnya lebih besar diantara semua benda uji.

#### Referensi

- [1] R. Djamaluddin, "Flexural Behavior External Reinforced Concrete Beams," *Procedia Eng.* 54 Elsevier, pp. 252–260, 2013.
- [2] G. Campione and P. Colajanni, "Analytical Evaluation of Steel–concrete Composite Trussed Beam Shear Capacity," *Mater. Eng.*, 2016.
- [3] P. Colajanni, *Experimental Investigation of the Shear Response of Precast Steel–Concrete Trussed beams 10.1061/(ASCE) ST.1943-41X.0001642*. American Society of Civil Engineers, 2016.
- [4] J. Hermanto, "Pemodelan Balok Bertulangan Luar Dengan Sistem Rangka Berbasis Metode Elemen Hingga," Universitas Hasanuddin, 2015.
- [5] D. Adrija, I. Geevar, D. Menon, and A. M. Prasad, "Assessment of Strut-and-Tie Methods to Estimate Ultimate Strength of RC Deep Beams," in *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS 2017)*, 2017.
- [6] ASTM C39-94, "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylinders Specimens, Section 4," in *Annual Book of ASTM Standard*, 1996, pp. 17–21.
- [7] ASTM C469-94, "Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson Concrete in Compression Section 4," in *Annual Book Standards, US and Canada*, 1996, pp. 237–240.