

PERILAKU DEFLEKSI BALOK BETON TULANGAN SISTEM RANGKA DENGAN JARAK SPASI SEPEREMPAT TINGGI EFEKTIF BALOK

Pieter Lourens Frans<sup>1)</sup>, Josephus R. Matitaputty<sup>2)</sup>

<sup>1,2)</sup>Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ambon  
<sup>1)</sup>[pflourens@gmail.com](mailto:pflourens@gmail.com), <sup>2)</sup>[josematitaputty@gmail.com](mailto:josematitaputty@gmail.com)

ABSTRACT

Deflection investigations were carried out prior to the 1970s and the analysis provided a limitation for concrete stresses to be about 45% of its compressive strength and steel stresses of 50% of its yield strength in reinforced concrete beams. In general, reinforced concrete beams using stirrups are installed perpendicular to the beam axis to withstand the strength of the shear forces. Changes in the geometric of the frame system reinforcement can increase the shear strength and flexural strength and reduce the amount of deflection in the beam. According to the author's observations, how is the behavior of concrete beam deflection by changing the configuration of the vertical shear reinforcement to beveled reinforcement. This study aims to analyze the deflection behavior of the reinforcing concrete beam with a one-quarter spacing of the effective height of the beam. This research is a laboratory experimental study with the design of six specimens consisting of three normal beams (BN) as the control variable beam and three beams with a spacing of 0.25d (BTR25) as the independent variable. Data were analyzed using the strength method. The results showed that the deflection behavior of reinforced concrete beams with a space of a quarter of the effective height of the beam (BTR25) had better serviceability and increased the flexural capacity of Mu beams up to 10.23% and could reduce the amount of deflection of the BN beam.

ABSTRAK

Penyelidikan defleksi telah dilakukan sebelum tahun 1970-an dan analisisnya memberikan batasan tegangan beton sekitar 45% dari kekuatan tekannya dan tegangan baja 50% dari kekuatan lelehnya pada balok beton bertulang. Pada umumnya balok beton bertulang menggunakan tulangan sengkang dipasang secara tegak lurus terhadap sumbu balok guna menahan kekuatan gaya geser. Perubahan geometrik tulangan sistem rangka dapat meningkatkan kekuatan geser dan kekuatan lentur serta mengurangi besarnya defleksi pada balok. Oleh pengamatan penulis, bagaimana perilaku defleksi balok beton dengan mengubah konfigurasi tulangan geser vertikal menjadi tulangan miring. Pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku defleksi balok beton tulangan sistem rangka dengan jarak spasi seperempat dari tinggi efektif balok. Penelitian ini merupakan penelitian ekeperimental laboratorium dengan rancangan benda uji sebanyak enam benda uji yang terdiri dari tiga balok normal (BN) sebagai balok variabel kontrol dan tiga balok tulangan sistem rangka dengan jarak spasi 0,25d (BTR25) sebagai variabel bebas. Data dianalisis dengan menggunakan metode kekuatan (*strength design method*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perilaku defleksi balok beton tulangan sistem rangka dengan jarak spasi seperempat dari tinggi efektif balok (BTR25) mempunyai kemampuan layan (*serviceability*) lebih baik dan meningkatkan kapasitas lentur balok  $M_u$  hingga 10,23% serta dapat mengurangi besar lendutan dari balok BN.

**Kata kunci** : perilaku defleksi; balok tulangan sistem rangka

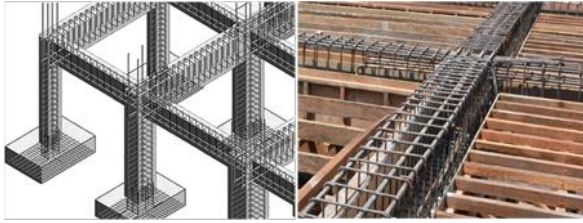
1. PENDAHULUAN

Kemampuan layan (*serviceability*) suatu struktur balok beton bertulang pada umumnya ditentukan oleh defleksi sesaat dan jangka panjang (*short-term and long-term deflection*). Penyelidikan defleksi telah dilakukan sebelum tahun 1970-an dan analisisnya memberikan batasan tegangan beton sekitar 45% dari kekuatan tekannya dan tegangan baja 50% dari kekuatan lelehnya pada balok beton bertulang. Pada umumnya balok beton bertulang menggunakan tulangan sengkang dipasang secara tegak lurus terhadap sumbu balok guna menahan kekuatan gaya geser. Sedangkan guna mengatasi defleksi akibat momen dipasang tulangan memanjang pada sisi bawah dan sisi atas penampang balok, seperti diperlihatkan pada **Gambar 1**.

Seiring dengan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan, berbagai ide dikembangkan untuk meningkatkan kapasitas lentur balok beton bertulang,

salah satunya ialah penggunaan tulangan sistem rangka yang mengubah konfigurasi tulangan vertikal menjadi tulangan miring. Perubahan geometrik tulangan sistem rangka dapat meningkatkan kekuatan geser dan kekuatan lentur serta mengurangi besarnya defleksi pada balok, seperti diperlihatkan pada **Gambar 2**.

Banyak peneliti terdahulu merekomendasikan penggunaan tulangan sistem rangka pada balok beton bertulang menunjukkan kekuatan lentur dan kekuatan geser lebih tinggi dari penggunaan tulangan sistem penulangan vertikal (Saju, S. M et al., 2016), (Rudy Djamaluddin et al., 2014), (Trentadue, dkk, 2014), (Yasser, 2014). Oleh pengamatan penulis, bagaimana perilaku defleksi balok beton tulangan sistem rangka dengan mengubah konfigurasi tulangan Sengkang vertikal menjadi tulangan sengkang miring dengan jarak spasi seperempat dari tinggi efektif balok.



Sumber : Pieter Lourens Frans, 2019a.

**Gambar 1. Balok dengan tulangan sengkang vertikal**



Sumber : Trentadue, at al, 2014.

**Gambar 2. Struktur rangka penguatan balok beton.**

Pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku defleksi balok beton tulangan sistem rangka dengan jarak spasi seperempat dari tinggi efektif balok. Selama pengujian, beban yang diterapkan, regangan pada daerah tekan beton, baja tarik pada bentang pertengahan, dan defleksi pada bentang pertengahan diukur sampai dengan kegagalan. Respon balok diperiksa dan didiskusikan dalam bentuk defleksi, regangan, kapasitas beban, pola retak dan mode kegagalan.

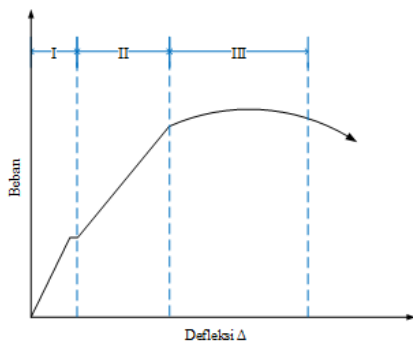
**2. TINJAUAN PUSTAKA**

**2.1. Perilaku Defleksi**

Komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi defleksi atau deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja. Hubungan beban-defleksi balok beton bertulang dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 3**.

Pada daerah I adalah taraf praretak, dimana batang-batang strukturalnya bebas retak. Berdasarkan SNI:2847:2013 pasal 9.5.3.2 memberikan persamaan :

$$M_{cr} = f_r \frac{I_g}{y_t} \dots\dots\dots(1)$$



Sumber : Edward G. Nawy, 2010.

**Gambar 3. Hubungan beban-defleksi pada balok**  
p-ISSN: 2302-9579/e-ISSN: 2581-2866

dimana :

- $M_{cr}$  = momen retak penampang balok
- $I_g$  = momen inersia bruto penampang balok
- $f_r$  = modulus hancur beton
- $y_t$  = jarak dari permukaan tekan penampang balok

Pada daerah II adalah taraf pascaretak, dimana batang-batang strukturalnya mengalami retak kontrol yang masih diterima, baik distribusinya maupun lebarnya. Kondisi ini dapat dihitung dengan persamaan :

$$M_y = \frac{f_s \cdot I_t}{n \cdot (d-c)} \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

- $M_y$  = momen leleh
- $f_s$  = tegangan tarik baja
- $I_t$  = inersia penampang transformasi
- $n$  = radius modulus
- $d$  = tinggi efektif balok
- $c$  = tinggi sumbu netral

Pada daerah III adalah taraf pasca-*serviceability*, dimana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya. Asumsi-asumsi dasar kondisi penampang seimbang, yang diberikan oleh *Whitney*, dengan gaya tekan C pada beton dan gaya tarik T pada tulangan :

$$C = T \dots\dots\dots(3)$$

$$M_n = T (d - \frac{1}{2} a) \dots\dots\dots(4)$$

dimana :

- $M_n$  = Momen nominal penampang
- $a$  = Tinggi blok tegangan

dan rumus empiris Momen Tulangan Sistem Rangka (Pieter Lourens Frans, 2019a).

$$MP_F = A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) + (f_{yd} A_d \cdot \sin \theta + f_y A_s) \frac{1}{16} \frac{h \cdot \tan \theta}{s \cdot \sin^2 \theta} (d-d')$$

dimana :

- $M_n$  = kuat lentur balok BN
- $MP_F$  = kuat lentur balok BTR25
- $f_y$  = kuat tarik baja
- $f_{yd}$  = kuat tarik baja sengkang
- $A_s$  = luas tulangan tarik
- $A_s'$  = luas tulangan tekan
- $A_d$  = luas tulangan Sengkang
- $h$  = tinggi balok
- $d$  = tinggi efekti balok
- $d'$  = tebal selimut beton
- $a$  = tinggi blok tegangan
- $s$  = spasi jarak sengkang diagonal

**2.2. Kontrol Defleksi**

Pada peneitian ini dipakai perhitungan lendutan sesaat yang dilakukan sesuai bentuk kombinasi beban pada balok beton bertulang dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{E_c I} \text{ dan } \Delta = \frac{1}{24} \frac{P \cdot a}{E_c I} (3L^2 - 4a^2) \dots\dots\dots(5)$$

dimana :

- $\Delta$  = besarnya lendutan yang terjadi
- $q$  = beban merata
- $P$  = beban terpusat
- $L$  = panjang bentang balok
- $E$  = Elasitas beton
- $I$  = Momen inersia penampang

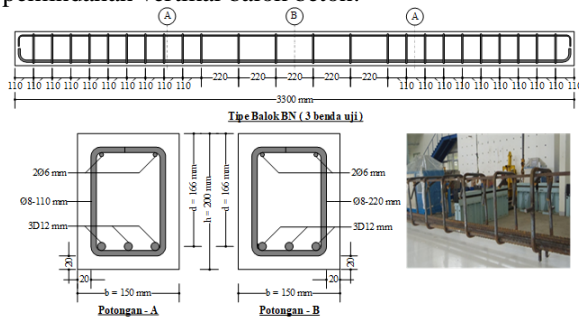
3. METODE PENELITIAN

3.1. Benda Uji

Gambar 4, menunjukkan tipe balok normal (BN) dengan sengkang vertikal sebanyak sebanyak benda uji tiga benda uji. Gambar 5, menunjukkan tipe balok beton tulangan sistem rangka dengan jarak spasi seperempat dari tinggi efektif balok (BTR25) atau jarak spasi 0,25d. Masing-masing benda uji berukuran penampang 150 x 200 mm dengan panjang balok 3300 mm. Menggunakan tulangan baja 2Ø6 mm sebagai tulangan longitudinal atas dan tulangan ulir 3D12 mm dipasang sebagai tulangan longitudinal bawah dan tulangan baja Ø8 mm untuk tulangan sengkang vertikal dan diagonal.

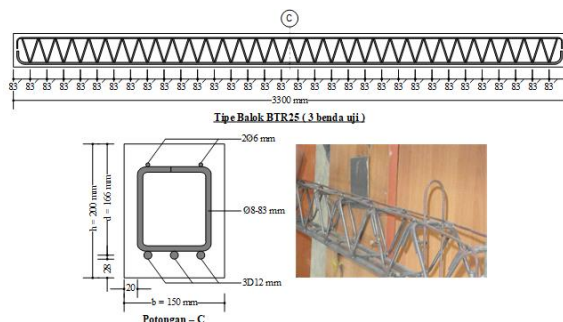
3.2. Alat dan Metode Pembebanan

Gambar 6, diperlihatkan setup benda uji dimana beban diaplikasikan pada jack hidrolik pada bingkai kontras baja yang terpasang. Jack dikontrol oleh unit kontrol hidrolik dengan laju 0,2 mm/detik. Sebuah sel beban dengan kapasitas 200 kN ditempatkan di antara jack dan balok distributor untuk mengukur kekuatan yang diterapkan secara tepat. Selama pembebanan dicatat melalui data logger. Transduser diferensial variabel linier (LVDT) digunakan untuk memantau pemindahan vertikal balok beton.



Sumber : Pieter Lourens Frans, 2020

Gambar 4. Tipe balok BN



Sumber : Pieter Lourens Frans, 2020

Gambar 5. Tipe balok (BTR25) 0,25d



Sumber : Pieter Lourens Frans, 2019

Gambar 6. Setup benda uji

3.3. Karakteristik Bahan

Bahan beton adalah beton segar siap pakai yang dicampur seluruhnya dalam mikser. Kuat tekan beton diperoleh setelah umur 28 hari dengan kuat tekan rata-rata  $f'_c = 18,50$  MPa. Modulus keruntuhan diperoleh besarnya kuat lentur  $f_r$  rata-rata sebesar 2,59 MPa. Kuat tarik baja diperoleh sesuai SNI 03-686.2-2002 untuk tulangan polos Ø8 kuat leleh  $f'_y = 382,81$  MPa dan tulangan ulir D12 dengan kuat leleh  $f'_y = 373,94$  MPa.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perilaku Defeksi Balok

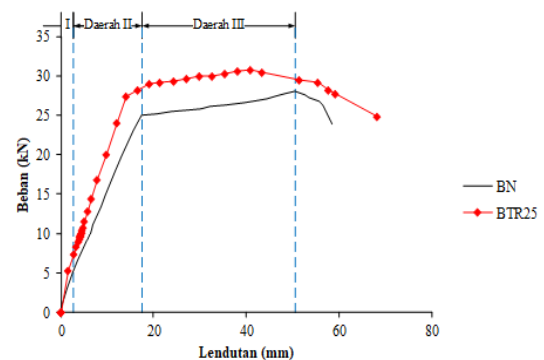
a. Lentutan dengan beban retak pertama  $P_{cr}$

Gambar 7, menunjukkan asumsi teoritis retak pertama terjadi pada taraf praretak untuk balok BN dan BTR25 adalah pada saat beban tekan mencapai  $P_{cr} = 2.96$  kN atau menunjukkan bahwa tegangan tarik di bagian bawah balok balok mencapai sama dengan besarnya modulus keruntuhan  $f_r = 2,59$  MPa. Hasil pengujian beban-lentutan pada balok BN diperoleh  $P_{cr} = 2.94$  kN atau, diasumsikan retak pertama terjadi sama dengan nilai  $f_r = 2,59$  MPa. Sedangkan pada balok BTR25 mengalami peningkatan beban tekan  $P_{cr}$  sebesar 51,52% dari balok BN. Pada diagram beban-lentutan untuk daerah I pada balok BTR25, terlihat bahwa garis beban tekan  $P_{cr}$  cenderung tegak lurus dari garis balok BN. Peningkatan beban tersebut disebabkan karena perubahan geometrik tulangan sengkang vertikal menjadi tulangan sengkang diagonal berdasarkan spasi 0,25d untuk balok BTR25. Pada aspek lain memberikan kekakuan tambahan pada beton yang mengalami tekan sehingga meningkatkan tegangan momen pada saat retak awal. Selanjutnya karena retak awal akan mulai timbul, maka asumsi momen pada saat retak awal dapat dihitung dengan menggunakan rumus lentur pada, Persamaan 1. Hasil analisis menunjukkan kapasitas momen  $M_{cr}$  pada balok BTR25 bertambah sebesar 35,29% dari balok BN, seperti dalam Tabel 1.

Tabel 1. Persentase momen retak  $M_{cr}$  hasil uji

Balok Uji	Hasil Uji		Persentase	
	$P_{cr}$ (kN)	$M_{cr}$ (kNm)	$P_{cr}$ (%)	$M_{cr}$ (%)
BN	2,94	2,57	-	-
BTR25	4,45	3,48	51,52	35,29

Sumber : Pieter Lourens Frans, 2020



Sumber : Pieter Lourens Frans, 2020

Gambar 7. Hubungan beban dengan lentutan

**Tabel 2. Persentase momen leleh  $M_y$  hasil uji**

Balok Uji	Hasil Uji		Persentase	
	$P_y$ (kN)	$M_y$ (kNm)	$P_y$ (%)	$M_y$ (%)
BN	25,18	15,92	-	-
BTR25	28,26	17,77	12,22	11,60

Sumber : Pieter Lourens Frans, 2020

**Tabel 3. Persentase momen penahan  $M_{P_f}$**

Balok Uji	Hasil Uji		Persentase	
	$P_u$ (kN)	$M_u$ (kNm)	$P_u$ (%)	$M_u$ (%)
BN	28,11	17,67	-	-
BTR25	31,12	19,48	10,72	10,23

Sumber : Pieter Lourens Frans, 2020

**b. Lendutan dengan beban leleh  $P_y$**

Pada saat beban ditingkatkan balok akan mengalami lendutan sesuai taraf keretakannya. Apabila sudah terjadi retak lentur, kontribusi tarik beton dapat dikatakan tidak ada lagi, maka tulangan tarik yang menahannya. Tulangan tarik diasumsikan mengganti suatu luas beton yang ekuivalen ( $nA_s$ ) atau luas transformasi. Penampang transformasi dihitung dengan metode balok homogen yang elastis. **Gambar 7**, pada daerah taraf pascaretak atau pada saat tulangan leleh terlihat bahwa garis beban tekan  $P_y$  balok BTR25 naik tegak lurus dari garis balok BN dan pada garis lendutan  $\Delta$  mengalami berkurang dari garis balok BN. Hal ini disebabkan karena adanya penguatan momen inersia penampang retak  $I_{cr}$  pada balok BTR25 yang bertambah sebesar 1,73%. **Tabel 2**, diperlihatkan kenaikan beban  $P_y$  sebesar 12,22 % dan kenaikan momen pada saat tulangan leleh  $M_y$  sebesar 11,60% dari balok BN. Selanjutnya perubahan geometrik tulangan sistem rangka pada sengkang miring memberikan kontribusi tarik pada beton dan mengurangi lendutan pada balok saat tulangan leleh.

**c. Lendutan dengan beban ultimit  $P_u$**

Ketika beban layan tambahan diterapkan hingga batas ultimit, maka balok akan mengalami lendutan seketika. **Gambar 7**, hasil pengujian beban-lendutan pada taraf pasca-*serviceability* menunjukkan bahwa garis beban tekan  $P_u$  balok BTR25 naik pada kelengkungan diatas garis balok BN dan pada garis lendutan  $\Delta$  mengalami berkurang dari garis balok BN. Hal ini disebabkan karena kekakuan inersia efektif  $I_e$  pada balok BTR25 bertambah sebesar 1,64% dari balok BN. **Tabel 3**, diperlihatkan kenaikan ultimit  $P_u$  sebesar 10,72 % dan kenaikan momen ultimit  $M_u$  sebesar 10,23% dari balok BN. Dengan demikian disimpulkan bahwa balok beton tulangan sistem rangka dengan jarak spasi seperempat dari tinggi efektif balok (BTR25) mempunyai kemampuan layan lebih baik dari balok BN dan meningkatkan kapasitas lentur pada saat beban mencapai ultimit.

**4.2. Simulasi**

Simulasi lendutan balok yang terjadi di tengah bentang balok dengan menggunakan metode analisa

*Finite Element Method* (FEM). Dalam memodelkan benda uji ke dalam FEM ada beberapa model matematis yang dapat digunakan yaitu *isotropic*, *orthotropic* dan *anisotropic*, sebagai elemen garis 2D :

**a. Memodelkan geometri**

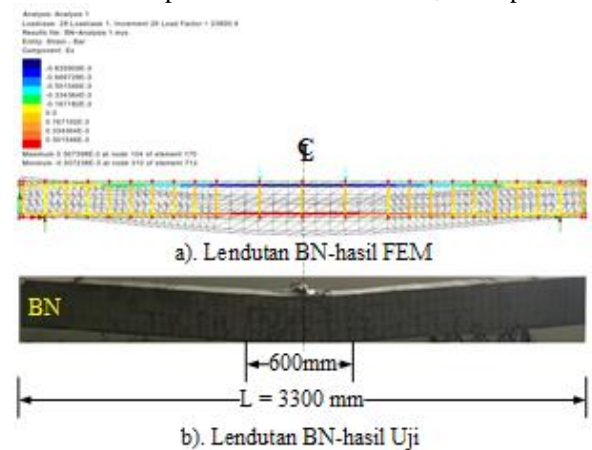
Menggambarkan atribut geometris pada beton dengan tinggi penampang beton 200 mm dan tinggi selimut beton 20 mm. Dengan tulangan tarik 3D12, tulangan tekan 2Ø6 dan tulangan sengkang Ø8 untuk vertikal dan diagonal sesuai variasi balok.

**b. Mendefinisikan Support atau Tumpuan**

Pemilihan tumpuan dalam pemodelan ini, digunakan jenis perletakan sendi dan rol berdasarkan pada pengujian eksperimental di laboratorium.

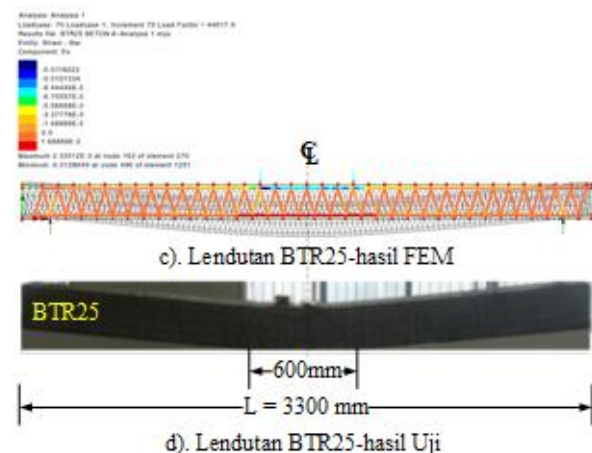
**c. Mendefinisikan properti material**

Modulus elastis beton 20.222,37 MPa dengan tegangan beton 18,50 MPa. Modulus elastis baja 200.000 MPa untuk sengkang 382,81 MPa dan untuk tulangan tarik 373,94 MPa. *Poisson ratio* untuk beton 0,20 dan baja 0,30. Dalam mendefinisikan material yang dipilih adalah model *isotropic*. Untuk beton dipilih *concrete* (model 94) dan baja *stress potential von misses*, seperti diperlihatkan pada **Gambar 8 dan 9**. Hasil simulasi menunjukkan kemiripan lendutan maksimum di tengah bentang untuk balok BN dan balok BTR25 pada saat beban ultimit  $P_u$  diterapkan.



Sumber : Pieter Lourens Frans, 2020

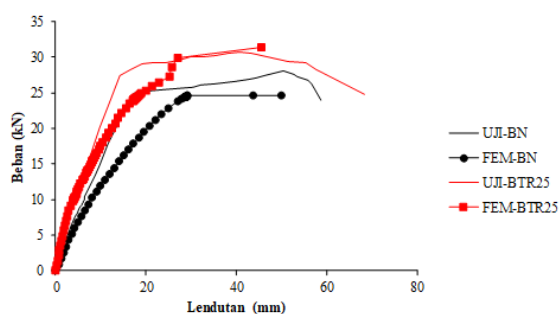
**Gambar 8. Simulasi lendutan balok BN**



Sumber : Pieter Lourens Frans, 2020

**Gambar 9. Simulasi lendutan balok BTR25**





Sumber : Pieter Lourens Frans, 2020

Gambar 10. Beban-lendutan hasil uji dan FEM

Tabel 4. Rasio beban-lendutan hasil uji dan FEM

Balok	Hasil Uji		Hasil FEM		Rasio	
	$P_u$ (kN)	$\Delta_u$ (mm)	$P_u$ (kN)	$\Delta_u$ (mm)	$P_u$ (%)	$\Delta_u$ (%)
BN	28,11	38,01	28,93	32,23	1,02	0,85
BTR25	31,12	42,55	33,58	38,51	1,07	0,91

Sumber : Pieter Lourens Frans, 2020

Tabel 5. Rasio  $M_u$  hasil uji dengan FEM

Balok Uji	Hasil FEM	Hasil Uji	Rasio
	$M_u$ (kNm)	$M_u$ (kNm)	
Balok BN	18,17	17,67	1,02
Balok BTR25	20,96	19,48	1,07

Sumber : Pieter Lourens Frans, 2020

Gambar 10, diperlihatkan diagram hubungan beban-lendutan hasil analisis FEM dan hasil pengujian eksperimental di laboratorium yang diidealisasikan menjadi bentuk trilinear yang menghasilkan kemiripan hubungan beban-defleksi pada kedua metode tersebut. Pada analisis FEM terlihat garis beban tekan  $P_{cr}$  pada daerah taraf praretak dan beban tekan  $P_y$  pada daerah taraf pascaretak atau pada saat tulangan leleh untuk balok BTR25 naik tegak lurus dari garis balok BN. Sedangkan pada taraf pasca-*serviceability* menunjukkan bahwa garis beban tekan  $P_u$  balok BTR25 naik pada kelengkungan diatas garis balok BN dan pada garis lendutan  $\Delta$  mengalami berkurang dari garis balok BN. Tabel 4, diperlihatkan beban-lendutan maksimum pada keadaan sesaat oleh FEM dibandingkan dengan analisis hasil pengujian di laboratorium untuk kapasitas beban  $P_u$  dengan besarnya lendutan  $\Delta_u$  diperoleh rasio antara 0,85 sampai 1,07 dimana oleh rumusan umum untuk skala rasio 0,90 – 1,0 dikategori sangat baik. Tabel 5, hasil analisis momen ultimit  $M_u$  dengan menggunakan FEM dibandingkan dengan analisis berdasarkan pengujian di laboratorium untuk kapasitas lentur balok diperoleh rasio antara 1,02 sampai 1,07. Rasio ini oleh rumusan umum dengan skala rasio 0,90 – 1,0 dikategori sangat baik. Berdasarkan simulasi hasil analisis FEM dibandingkan dengan analisis hasil pengujian eksperimental di laboratorium dapat disimpulkan bahwa balok beton tulangan sistem rangka dengan jarak spasi seperempat dari tinggi efektif balok atau 0,25d (BTR25) mempunyai kemampuan layan lebih baik dari balok BN. Pada saat beban mencapai ultimit  $P_u$  terjadi peningkatan kapasitas balok dengan momen lentur  $M_u$  sebesar 10,23% dan mengurangi lendutan.

## 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Perilaku defleksi balok beton tulangan sistem rangka dengan jarak spasi seperempat dari tinggi efektif balok (BTR25) mempunyai kemampuan layan (*serviceability*) lebih baik dan meningkatkan kapasitas lentur balok  $M_u$  hingga 10,23% serta dapat mengurangi besar lendutan dari balok BN.

### 5.2 Saran

Perlu penelitian lanjutan terkait perubahan spasi dan geometris tulangan sistem rangka terhadap keruntuhan tekan geser dan pada struktur bangunan yang mempunyai bentuk yang sulit.

## DAFTAR PUSTAKA

- Campinone, G., Colajanni, P. and Monaco, A. (2016). *Analytical evaluation of steel-concrete composite trussed beam shear capacity*, Materials and Structures, Vol. 49, pp. 3154-3176.
- Edward G. Nawy, 2010. *Beton Bertulang (Suatu Pendekatan Dasar)*, Penerbit PT. REFIKA ADITAMA, Bandung.
- Leopoldo Tesser, Roberto Scotta 2013. *Flexural and shear capacity of composite steel truss and concrete beams with inferior precast concrete base*. Journal Engineering Structures, 49 (2013), Elsevier 25 December 2012, 135-145.
- Magda I. Mousa 2015. *Effect of bond loss of tension reinforcement on the flexural behaviour of reinforced concrete beams*. HBRC Journal Production and hosting by Elsevier 8 January 2015, 1687-4048.
- Piero Colajanni, Lidia La Mendola, Giuseppe Mancini, Antonino Recupero, Nino Spinella 2014. *Shear capacity in concrete beams reinforced by stirrups with two different inclinations*. Journal Engineering Structures, 81 (2014), Elsevier 28 October 2014, 444-453.
- Pieter Lourens Frans, Hendrie Tahya 2020, *Behavior Of Concrete Beam Deflection Framework System*, Abstracts Proceeding Book of International Conference of Science Management Art Research Technology (IC-SMART), 14 October 2020.
- Pieter Lourens Frans, 2019, *Analisis Momen Tulangan Sistem Rangka Terhadap Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang*, Jurnal SIMETRIK, volume 9, nomor 2, 14 November 2019, p-ISSN : 2302-9579, e-ISSN : 2581-2866.
- Pieter Lourens Frans, 2019, *Flexural Moment Capacity Of Beam Concrete Frame System*, Proceedings International Conference on Science Thecnologi and Argiculture Reseach (ICON STAR), November 30<sup>th</sup> 2019, Makassar, Indonesia.
- Pieter Lourens Frans, Herman Parung, Rudy Djamaluddin, Rita Irmawaty, 2019, *The Effect Of Space Bar In The Truss Reinforcing System To The Flexural Capacity Of Reinforced Concrete Beams*, International Journal of Civil Engineering

- and Technology (IJCIET), Volume 10, Issue 04, April 2019, pp. 754-762 Article ID: IJCIET\_10\_04\_080, ISSN : 0976-6308, Scopus.
- Pieter Lourens Frans, Herman Parung, Rudy Djamaluddin, Rita Irmawaty, 2017, *Effects of Truss System Reinforcements on Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams*, Proceedings Annual Conference on Engineering and Applied Science (ACEAT) Fukuoka, Japan ISBN: 978-986-90827-7-8.
- Pieter Lourens Frans, Herman Parung, Rudy Djamaluddin, Rita Irmawaty, 2017, *Perilaku Lentur Balok Beton Bertulangan Rangka*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2017, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, ISSN: 2459-9727.
- Pieter Lourens Frans, Herman Parung, Rudy Djamaluddin, Rita Irmawaty, 2017, *Pengaruh Spasi Tulangan Sistem Rangka Terhadap Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang*, Publikasi Ilmiah Hasil Penelitian S3 Teknik Sipil Unhas, Maret 2019, Volume XLVIII , Program Doktor Universitas Hasanuddin Makassar, ISSN:2087-7986.
- Rudy Djamaluddin 2013. *Flexural Behaviour of External Reinforced Concrete Beams*. Procedia Engineering 54 ( 2013 ) Elsevier 23 March 2013, 252 – 260.
- Rudy Djamaluddin, Yasser Bachtiar, Rita Irmawati, Abd. Madjid Akkas, Rusdi Usman Latief 2014. *Effect of the Truss System to the Flexural Behavior of the External Reinforced Concrete Beams*. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Civil, Structural Construction and Architectural Engineering Vol:8, No:6, 2014.
- SNI 2847:2013 *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung* berdasarkan BSN 2013 - ICS 91.080.40., Jakarta.
- Saju, S. M., and Usha, S. (2016). *Study on flexural strength of truss reinforced concrete beams*, International Research Journal of Engineering and Technology, pp. 1541-1545.
- Trentadue, F., Mastromarino, E., Quaranta, G., Petrone, F., Monti, G., and Marano, G. C. (2014), *Bending stiffness of truss-reinforced steel-concrete composite beam*, Open Journal of Civil Engineering, Vol. 4, pp. 285-300.
- Yasser, Herman Parung, Muhammad W. Tjaronge, and Rudy Djamaluddin 2015. *Flexural Characteristics of Reinforced Concrete Beam Using Styrofoam Filled Concrete (SFC) in Tension Zone*. IACSIT International Journal of Engineering and Technology, Vol. 7, No. 1, February 2015.