



Terbit online pada laman web jurnal : <http://jurnal.sttp-yds.ac.id>

SAINSTEK (e-Journal)

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Perilaku Mekanik Balok Beton Bertulang Tanpa dan Dengan Sengkang Pascabakar

Dede Eldi Kurniawan^a, Reni Suryanita^b, Zulfikar Djauhari^c

^aJurusan Teknik Sipil Universitas Riau, Tampan, Pekanbaru 28292, Indonesia

^bJurusan Teknik Sipil Universitas Riau, Tampan, Pekanbaru 28292, Indonesia

^cJurusan Teknik Sipil Universitas Riau, Tampan, Pekanbaru 28292, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 02 Februari 19

Revisi Akhir: 29 Mei 19

Diterbitkan Online: 30 Juni 19

KATA KUNCI

Balok Beton Bertulang Pascabakar

Lendutan

LUSAS V17

Tanpa Sengkang

KORESPONDENSI

Telepon: "+62 812-7623-062"

E-mail: dede.eldikumawan@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Kebakaran menyebabkan kerusakan pada balok beton bertulang. Pada saat kebakaran terjadi perubahan kimiawi secara bertahap pada beton bertulang. Akibat perubahan kimia menyebabkan beton kehilangan kekuatannya. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis lendutan dan kerusakan dari balok beton bertulang tanpa dan dengan sengkang pascabakar. Ukuran benda uji pada penelitian ini 100 mm x 200 mm dengan panjang bentang 1250. Pada balok menggunakan tulangan tekan dengan diameter 8 mm dan tulangan tarik dengan diameter 10 mm masing-masing sebanyak 2 buah dan diameter sengkang 6 mm dengan jarak antar sengkang 53,3 mm. Pembakaran benda uji dilakukan pada tungku batu bata dengan durasi pembakaran benda uji selama 60 menit. Penelitian dilakukan berupa analisis lendutan menggunakan *finite element* LUSAS V17 dan secara teoritis. Berdasarkan hasil menggunakan *finite element* LUSAS terdapat perbedaan lendutan dan beban maksimum yang terjadi pada balok beton bertulang tanpa dan dengan sengkang setelah mengalami kebakaran. Pada balok tanpa sengkang pascabakar terjadi lendutan 39,91% lebih besar dibandingkan balok dengan sengkang pascabakar dan beban maksimum yang terjadi pada balok dengan sengkang pascabakar 1,62% lebih besar dibandingkan balok tanpa sengkang pascabakar, sedangkan analisis secara teoritis pada balok dengan sengkang pascabakar terjadi lendutan 16,67% lebih besar dibandingkan balok tanpa sengkang pascabakar dan beban maksimum yang terjadi pada balok dengan sengkang pascabakar 28,25% lebih besar dibandingkan balok beton bertulang tanpa sengkang pascabakar. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari analisis menggunakan *finite element* LUSAS dan secara teoritis dapat disimpulkan bahwa sengkang berpengaruh terhadap ikatan pada balok beton bertulang setelah mengalami kebakaran.

maksimum dan lendutan yang terjadi pada balok beton bertulang setelah mengalami kebakaran.

1. PENDAHULUAN

Beton bertulang adalah suatu kombinasi antara beton dan tulangan baja yang berfungsi sebagai menahan kuat tarik yang tidak dimiliki oleh beton sehingga dengan kombinasi tersebut dapat menutupi kelemahan dari beton tersebut yang hanya dapat menahan kuat tekan.

Pada struktur beton yang mengalami kebakaran, kekuatan beton akan dipengaruhi oleh perubahan temperatur, tingkat dan lama pemanasan, jenis dan ukuran agregat dan faktor air semen. Terjadinya perubahan temperatur yang tinggi seperti pada peristiwa kebakaran dapat berpengaruh terhadap elemen-elemen struktur dan menyebabkan kerusakan pada struktur beton. Pada kebakaran terjadi perubahan fase fisis dan kimiawi secara kompleks sehingga dapat mempengaruhi kualitas dan kekuatan pada struktur beton.

Analisis perilaku mekanik beton bertulang pascabakar dilakukan secara teoritis dan *finite element* LUSAS untuk menganalisis beban

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton Bertulang Pascabakar

Kebakaran menyebabkan terjadinya kerusakan pada balok beton bertulang dan dapat berpengaruh terhadap kekuatan beton dan pada baja tulangan. Berikut pengaruh suhu tinggi terhadap kekuatan baja tulangan dan beton bertulang.

2.1.1. Pengaruh Suhu Tinggi Terhadap Beton Bertulang

Pengaruh suhu tinggi seperti kebakaran pada struktur beton mengakibatkan turunnya kuat tekan beton. Kebakaran menyebabkan perbedaan muai antara agregat dan pasta semen sehingga lekatan antar agregat berkurang, sehingga terjadi kerusakan pada beton.

Pada suhu diatas 250°C beton tidak mampu menahan panas karena adanya perubahan komposisi kimia secara bertahap pada

pasta semen sehingga beton akan mengalami retak, terkelupas dan kehilangan kekuatannya [1]. Apabila suhu mencapai 1000°C terjadi penurunan rekatan antara batuan dan semen yang ditandai dengan retak-retak dan kerapuhan pada beton.

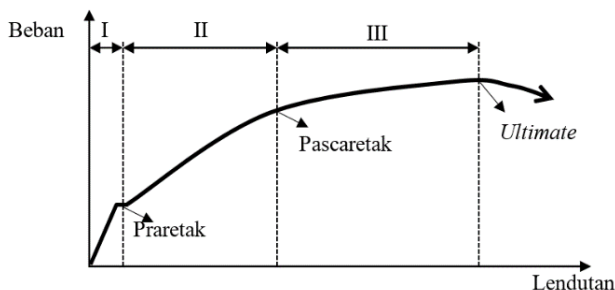
2.1.2. Pengaruh Suhu Tinggi Terhadap Kekuatan Baja Tulangan

Baja merupakan material yang dapat menghantarkan panas yang sangat baik. Tulangan baja pada beton bertulang, suhu yang diterima oleh baja tulangan akibat pemanasan tidak selamanya sama dengan suhu pemanasan yang diterima oleh permukaan beton. Hal ini dikarenakan baja tulangan terlindungi oleh selimut beton. Baja yang telah diselimuti beton akan menerima panas yang lebih sedikit dibandingkan baja yang langsung dibakar akibat pemanasan.

Seiring dengan peningkatan suhu dapat menyebabkan adanya perubahan ukuran butir pada baja tulangan. Hal ini menyebabkan bahwa semakin tinggi suhu kebakaran, maka fasa dan ukuran butir pada baja tulangan juga berbeda-beda. Kemungkinan perubahan ukuran butir tersebut menyebabkan terjadinya peningkatan nilai tegangan leleh dan ultimate pada baja tulangan [2].

2.2. Perilaku Lendutan Pada Beton Bertulang

Lendutan terjadi pada beton karena adanya gaya secara vertikal yang menyebabkan komponen pada bagian atas beton mengalami tekan dan pada bagian bawah beton mengalami tarik[3]. Hubungan beban-lendutan balok beton bertulang pada dasarnya dapat dilihat dalam bentuk grafik seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1



Gambar 1. Hubungan beban dan lendutan [3]

Daerah I :Tarf praretak, dimana batang-batang strukturalnya bebas retak. Segmen praretak dari grafik beban defleksi berupa garis lurus yang memperlihatkan perilaku elastis penuh. Tegangan tarik maksimum pada balok lebih kecil dari kekuatan tariknya akibat lentur atau lebih kecil dari modulus rupture (f_r) beton. Kekakuan lentur EI balok dapat diestimasi dengan menggunakan modulus Young E_c dari beton, dan momen inersia penampang balok tak retak.

Daerah II :Tarf pascaretak, dimana batang-batang struktural mengalami retak-retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik dalam distribusinya maupun lebarnya. Balok pada tumpuan sederhana retak akan terjadi semakin lebar pada daerah lapangan, sedangkan pada tumpuan hanya terjadi retak minor yang tidak lebar. Apabila sudah terjadi retak lentur maka kontribusi kekuatan tarik beton sudah dapat dikatakan tidak ada lagi. Ini berarti pula kekakuan lentur

penampangnya telah berkurang sehingga kurva beban –defleksi didaerah ini akan semakin landai dibanding pada taraf praretak. Momen Inersia retak disebut I_{cr} .

Daerah III :Tarf pasca-serviceability, di mana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya. Diagram beban defleksi daerah III jauh lebih datar dibanding daerah sebelumnya. Ini diakibatkan oleh hilangnya kekuatan penampang karena retak yang cukup banyak dan lebar sepanjang bentang. Jika beban terus ditambah, maka regangan ϵ_s pada tulangan sisi yang tertarik akan terus bertambah melebihi regangan lelehnya ϵ_y tanpa adanya tegangan tambahan. Balok yang tulangan tariknya telah leleh dikatakan telah runtuh secara struktural. Balok ini akan terus mengalami defleksi tanpa adanya penambahan beban dan retaknya semakin terbuka sehingga garis netral terus mendekati tepi yang tertekan. Pada akhirnya terjadi keruntuhan tekan skunder yang mengakibatkan kehancuran total pada beton daerah momen maksimum dan segera diikuti dengan terjadinya rupture.

2.3. Perangkat Lunak LUSAS V17

Perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisis balok beton bertulang adalah *London University Stress Analysis System (LUSAS)*. Perangkat lunak *LUSAS* dikembangkan oleh sekelompok peneliti di Universitas London yang dipimpin oleh Dr. Paul Lyons pada tahun 1982. *LUSAS* merupakan salah satu perangkat lunak yang dapat digunakan untuk menganalisis studi kasus maupun perilaku pada struktur. Salah satu kelebihan *software LUSAS* yaitu mampu menganalisis secara detail baik analisis struktur.

[4] menyatakan bahwa sistem analisa dalam program *LUSAS* terbagi menjadi tiga tahapan utama yaitu permodelan (*modelling*), menjalankan permodelan (*running the analysis*), dan melihat hasil analisis (*viewing the result*).

2.3.1. Permodelan (*modelling*)

Permodelan merupakan salah satu tahapan awal yang perlu dilakukan dalam menganalisis suatu studi kasus maupun perilaku struktur. Permodelan dalam *LUSAS* memperhitungkan unsur geometrik dari struktur maupun karakteristik perilaku meliputi sifat fisik seperti bahan material, pembebanan, dan tumpuan.

2.3.2. Menjalankan permodelan (*running the analysis*)

Menjalankan permodelan merupakan tahap setelah proses pemodelan selesai dengan sempurna. Model yang telah selesai dibuat kemudian dianalisis menggunakan *LUSAS Solver* dimana *LUSAS Solver* ini akan menganalisis model tersebut dan mengeluarkan hasil analisis pada tahap selanjutnya.

2.3.3. Melihat hasil analisa (*Viewing the result*)

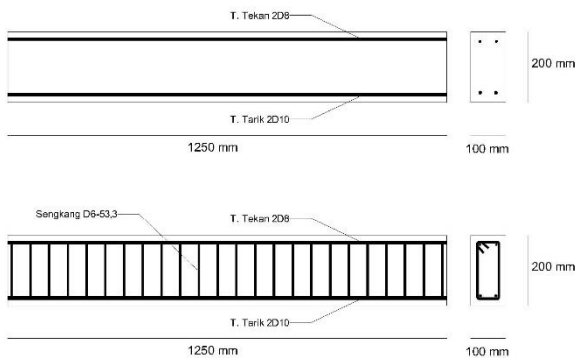
Setelah *LUSAS Solver* selesai menganalisa model, hasil analisa akan tersedia di *LUSAS Modeller*. Hasil yang tersedia dapat dilihat dan dapat dikombinasikan dengan beberapa atribut untuk membuat plot pada grafik.

3. METODOLOGI

3.1. Benda Uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa balok bertulang tanpa dan dengan sengkang. Ukuran balok yang digunakan memiliki bentang panjang 1250 mm. Spesifikasi balok yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Panjang Bentang (l) = 1250 mm
2. Lebar Balok (B) = 100 mm
3. Tinggi Balok (H) = 200 mm
4. Tulangan Tarik = 2 D10
5. Tulangan Tekan = 2 D8
6. Diameter Sengkang = D6 – 53,3
7. Selimut Beton (s) = 16,7 mm
8. Mutu Beton (f_c') = 20 MPa



Gambar 2. Model Balok Beton Bertulang Tanpa dan Dengan Sengkang

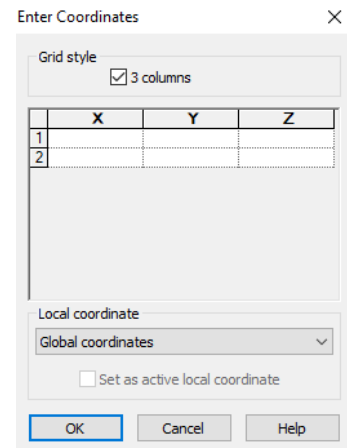
3.2. Permodelan Menggunakan Perangkat Lunak LUSAS V17

Dalam menganalisis permodelan dengan perangkat lunak LUSAS membutuhkan beberapa data yaitu geometri, material, pembebanan, dan tumpuan yang bekerja. Data geometri yang akan dianalisis dalam LUSAS berupa proyeksi tiga dimensi (3D). Material yang diinput meliputi modulus elastisitas beton, modulus elastisitas baja tulangan longitudinal, berat jenis beton dan baja, serta rasio poisson beton dan baja.

Pembebanan yang bekerja pada model balok beton bertulang berupa beban terpusat. Tumpuan yang bekerja pada elemen balok beton bertulang berupa tumpuan sendi dan tumpuan rol.

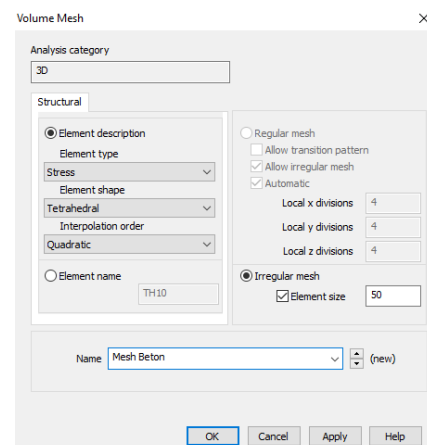
Adapun tahapan yang perlu dilakukan dalam menganalisis model elemen balok beton bertulang pada perangkat lunak LUSAS, yaitu:

1. Membuka program perangkat lunak LUSAS dan memilih fitur *Civil & Structural Plus*. Kemudian memilih fitur *New Model* untuk membuat file baru. Pada *Analysis type* kemudian memilih *Structural* dan *Analysis category* yang digunakan adalah 3D. Pada *Model units* digunakan N,mm,t,s,C dan *Timescale units* yang digunakan adalah *Hours*.
2. Memasukkan data koordinat sumbu X, setelah memasukkan data koordinat x kemudian dapat mentranslasikan ke arah sumbu y dan sumbu z dengan memilih fitur *sweep geometry*. Nilai dari sumbu tersebut merupakan titik dari letaknya perletakan, pembebanan dan sengkang yang membentuk menjadi garis-garis yang terhubung



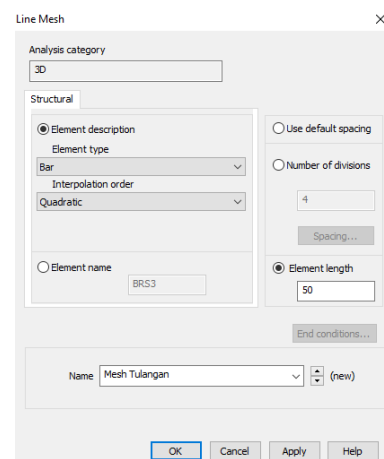
Gambar 3. Memasukkan Data Koordinat

3. Memasukkan data *mesh* (jaringan) untuk beton. Pada beton *mesh* yang digunakan yaitu *volume*. Pada beton, *element type* yang digunakan berupa *stress* karena dianggap memilih properti yang sama ke semua arah (*isotropic*). Pada *element shape* yang digunakan berupa *tetrahedral* serta *interpolation order* yang digunakan berupa *quadratic* karena hasil analisis yang ditampilkan mendekati perilaku balok.



Gambar 4. Memasukkan Mesh Untuk Beton

4. Memasukkan data *mesh* (jaringan) untuk tulangan. Pada tulangan *mesh* yang digunakan yaitu *line*. Pada tulangan, *element type* yang digunakan berupa *bar* karena properti yang dianalisis berupa tulangan dan *interpolation order* yang digunakan berupa *quadratic*.



Gambar 5. Memasukkan Mesh Untuk Tulangan

5. Memasukkan data material beton. Data yang dimasukkan berupa material elastis dan plastis beton. Pada material kemudian memilih *isotropic* karena mengasumsikan material yang digunakan memiliki sifat yang sama terhadap semua arah. Pada *isotropic*, mengisi data elastis sesuai dengan beton yang digunakan. Pada beton, material platis yang digunakan adalah *concrete* serta tipe yang digunakan adalah *multi crack (model 94)* dikarenakan model ini memperhitungkan perilaku nonlinear dan mampu memodelkan retak yang terjadi

Property	Value
Uniaxial compressive strength	20.0
Uniaxial tensile strength	2.0
Strain at peak uniaxial compression	2.2E-3
Fracture energy per unit area	0.1

Gambar 6. Memasukkan Data Material Beton pada Kondisi Elastis dan Plastis

6. Memasukkan data material tulangan, berupa tulangan sengkang, tulangan tekan dan tulangan tarik. Data yang dimasukkan untuk tulangan berupa material elastis dan plastis tulangan. Data platis pada tulangan yang digunakan berupa hasil pengujian tarik untuk setiap tulangan

Property	Value
Initial uniaxial yield stress	365.96

Gambar 7. Memasukkan Data Material Tulangan pada Kondisi Elastis dan Plastis

7. Memasukkan data tumpuan berupa translasi dan rotasi berdasarkan jenis tumpuan. Tumpuan yang digunakan berupa tumpuan sendi dan tumpuan rol

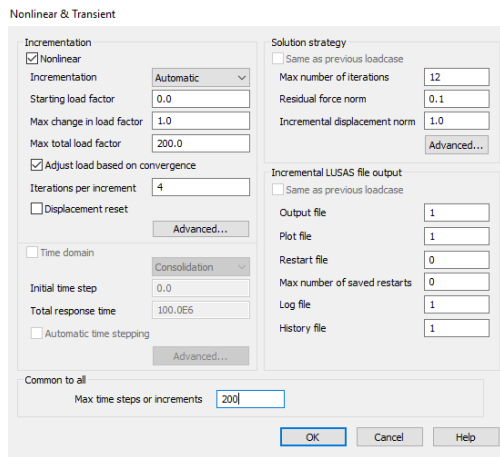
Gambar 8. Memasukkan Data Tumpuan

8. Memasukkan data pembebanan dengan menggunakan global distributed. Pada *global distributed*, mengisi data pembebanan berdasarkan arah beban dimana beban yang diinput yaitu beban terpusat

Component	Value
X Direction	0.0
Y Direction	0.0
Z Direction	-1.0

Gambar 9. Memasukkan Data Pembebanan

9. Menginput data *mesh* (jaringan), geometri, material, tumpuan, dan pembebanan ke dalam model balok beton bertulang. Menginput data dapat dilakukan dengan memblok balok beton bertulang kemudian mendrag data ke dalam model.
10. Mengatur analisis pada balok beton bertulang berupa analisis *nonlinear*. Analisis nonlinear diatur dengan *starting load factor* yaitu 1 dikarenakan asumsi pembebanan awal yaitu 1 kN. Pada *max change in load factor* diisi 1 yaitu dengan peningkatan beban yang terjadi yaitu sebesar 1 kN.
11. Menjalankan analisis balok beton bertulang dengan mengklik *solve now*. Mengeluarkan hasil *analisis* setelah running selesai. Hasil analisis kemudian dapat dilihat pada layers berupa kontur, vektor, perubahan bentuk, diagram, dan nilai.

Gambar 10. Memasukkan Data Analisis *Nonlinear*

3.3. Pengujian *Hammer Test* dan Kuat Tarik Baja

Pengujian *hammer test* dan kuat tarik baja dilakukan pada balok beton bertulang tanpa dan dengan sengkang yang telah mengalami kebakaran selama 1 jam. Pengujian *hammer test* pada balok pascabakar bertujuan untuk mendapatkan kekuatan sisa balok pascabakar. Pengujian *hammer test* berdasarkan SNI 03-4430-1997. Pengujian tarik tulangan baja dilakukan untuk mendapatkan tegangan leleh dan tegangan *ultimate* pada tulangan beton pascabakar. Pengujian tarik baja berdasarkan SNI 07-2529-1991. Hasil dari pengujian *hammer test* dan kuat tarik baja tersebut dimasukkan kedalam *finite element LUSAS v17* sebagai data material.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian *Hammer Test* dan Uji Tarik Baja

Pengujian *hammer test* dilakukan pada balok tanpa sengkang dan dengan sengkang kondisi pascabakar dan prabakar. Pengujian *hammer test* dilakukan untuk mendapatkan data mutu beton setelah mengalami kebakaran yang digunakan sebagai input data material pada analisis *finite element LUSAS* dan sebagai data perhitungan secara teoritis. Hasil pengujian uji *hammer test* didapatkan hasil untuk mutu beton tanpa sengkang pascabakar sebesar 2,08 MPa dan untuk mutu beton dengan sengkang pascabakar 4,80 MPa. Hasil pengujian *hammer test* tanpa dan dengan sengkang pascabakar dan prabakar dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Hammer Test* Balok Pascabakar

Balok Uji	Nilai Kuat Tekan (Mpa)
Balok Tanpa Sengkang Pascabakar	2,08
Balok Dengan Sengkang Pascabakar	4,80

Pengujian uji tarik baja tulangan beton bertulang tanpa sengkang dilakukan pada kondisi pascabakar. Pengujian uji tarik baja dilakukan untuk mendapatkan data mutu material tulangan baja pada kondisi pascabakar untuk digunakan sebagai input data material pada analisis menggunakan perangkat lunak *LUSAS V17*. Pengujian dilakukan pada tulangan berdiameter 8 dan tulangan berdiameter 10 untuk kondisi pascabakar. Hasil pengujian uji tarik baja didapatkan

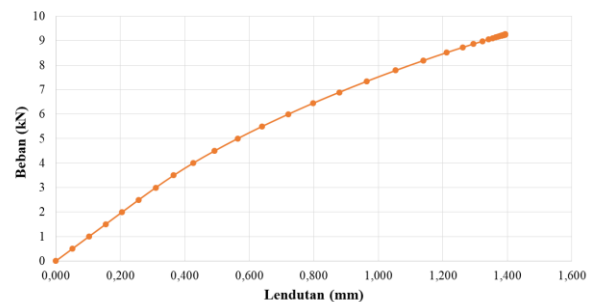
untuk tulangan berdiameter 8 mm tegangan leleh 431,24 MPa dan tegangan ultimate 531,02 MPa, sementara untuk tulangan berdiameter 10 mm hasil tegangan leleh 441,65 MPa dan tegangan ultimate 658,61 MPa. Hasil Pengujian tarik baja dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Pengujian Uji Tarik Baja Pada Balok Pascabakar

Diameter mm	Tegangan Leleh MPa	Tegangan Ultimate MPa
8	431,24	531,02
10	441,65	658,61

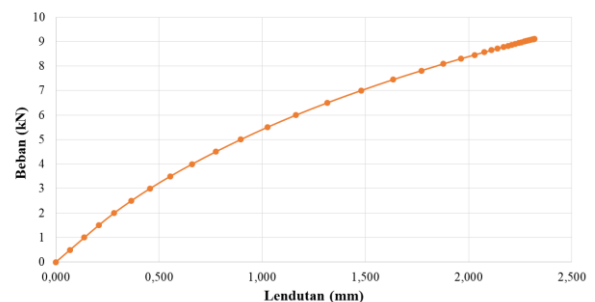
4.2. Hasil Analisis *LUSAS*

Analisis perilaku lentur balok dilakukan untuk mengetahui hasil lendutan pada balok beton bertulang prabakar dan pascabakar berdasarkan beban yang diberikan pada balok dengan analisis *finite element LUSAS*. Hasil analisis *LUSAS* untuk balok dengan sengkang pada kondisi pascabakar terjadi beban maksimum sebesar 9,26 kN dan lendutan yang terjadi pada beban maksimum sebesar 1,39 mm. Gambar 3 menunjukkan hasil analisis perilaku lentur balok dengan sengkang pascabakar.



Gambar 3. Hasil Analisis Perilaku Lentur Balok Dengan Sengkang Pascabakar.

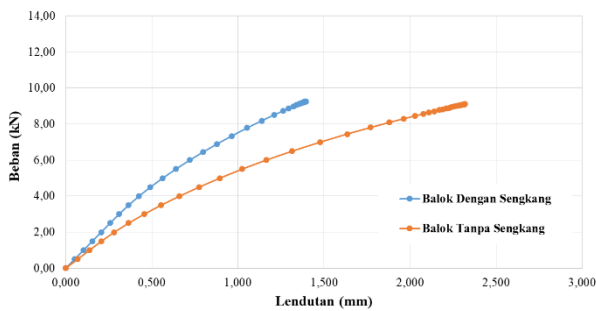
Hasil analisis *LUSAS* pada balok tanpa sengkang kondisi pascabakar terjadi beban maksimum sebesar 9,11 kN dan lendutan yang terjadi pada beban maksimum sebesar 2,32 mm. Gambar 4 menunjukkan hasil analisis perilaku lentur balok tanpa sengkang pascabakar.



Gambar 4. Hasil Analisis Perilaku Lentur Balok Tanpa Pascabakar

Pada balok tanpa sengkang pascabakar terjadi lendutan 40,09% lebih besar dibandingkan balok dengan sengkang pascabakar. Sedangkan beban maksimum yang terjadi pada balok dengan sengkang pascabakar 1,6% lebih besar dibandingkan balok tanpa sengkang pascabakar. Perbandingan hasil analisis *LUSAS* balok

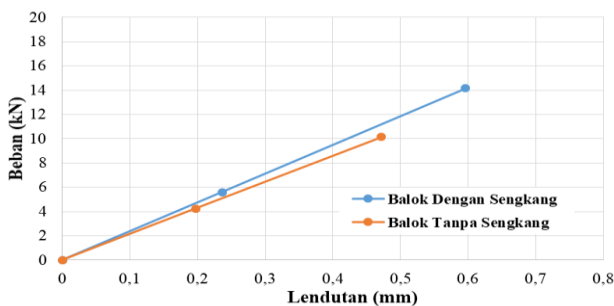
dengan dan tanpa sengkang pascabakar dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan Hasil Analisis LUSAS Balok Dengan dan Tanpa Sengkang Pascabakar

4.3. Hasil Analisis Secara Teoritis

Perhitungan lendutan berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan mengacu pada buku Park & Paulay. Hasil analisis secara teoritis pada balok dengan sengkang pascabakar diperoleh beban pada saat retak sebesar 5,61 kN dengan lendutan sebesar 0,24 mm, sedangkan beban pada saat retak untuk balok tanpa sengkang pascabakar sebesar 4,24 kN dengan lendutan sebesar 0,20 mm. Pada balok dengan sengkang pascabakar diperoleh beban *ultimate* sebesar 14,16 kN dengan lendutan sebesar 0,60 mm, sedangkan pada balok tanpa sengkang pascabakar diperoleh beban *ultimate* sebesar 10,16 dengan lendutan sebesar 0,47 mm. Terjadi penurunan beban pada saat retak dan beban *ultimate* serta lendutan pada balok beton bertulang tanpa sengkang pada kondisi setelah kebakaran.



Gambar 4. Perbandingan Hasil Analisis Secara Teoritis Balok Dengan dan Tanpa Sengkang Pascabakar

Pada balok dengan sengkang pascabakar terjadi beban maksimum 28,25% lebih besar dibandingkan balok tanpa sengkang pascabakar dan beban pada saat retak yang terjadi pada balok dengan sengkang pascabakar 24,48% lebih besar dibandingkan balok tanpa sengkang pascabakar.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Analisis Secara Teoritis dan *finite element LUSAS*

Benda Uji	Teoritis				LUSAS			
	Saat Retak		Ultimate		Saat Retak		Ultimate	
	Pcr	Δ	Pu	Δ	Pcr	Δ	Pu	Δ
	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)
Balok Dengan Sengkang Pascabakar	5,61	0,24	14,16	0,60	8,37	1,14	9,26	1,39
Balok Tanpa Sengkang Pascabakar	4,24	0,20	10,16	0,47	8,45	2,03	9,11	2,32

Pada hasil analisis perhitungan secara teoritis dan *analisis finite element LUSAS* diperoleh beban pada saat retak (Pcr), beban *ultimate* dan lendutan pada balok dengan dan tanpa sengkang pada kondisi pascabakar. Terdapat perbedaan hasil yang cukup jauh antara perhitungan secara teoritis dengan analisis *finite element LUSAS*, sedangkan untuk beban *ultimate* perhitungan secara teoritis mendekati hasil dari analisis *finite element LUSAS* dan hasil untuk lendutan menggunakan *finite element LUSAS* pada balok beton bertulang terdapat perbedaan yang jauh dibandingkan dengan analisis secara teoritis.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis *finite element LUSAS* dan secara teoritis adalah sebagai berikut:

- Hasil analisis *finite element LUSAS* balok beton bertulang dengan sengkang pascabakar terjadi beban maksimum sebesar 9,26 kN dengan lendutan sebesar 1,39 mm, sedangkan balok beton bertulang dengan sengkang pascabakar terjadi beban maksimum sebesar 9,11 kN dengan lendutan sebesar 2,32 mm.
- Hasil analisis secara teoritis balok beton bertulang dengan sengkang pascabakar terjadi beban maksimum sebesar 14,16 kN dengan lendutan sebesar 0,60 mm, sedangkan pada balok beton bertulang tanpa sengkang pascabakar terjadi beban maksimum sebesar 10,16 kN dengan lendutan maksimum 0,47 mm.
- Hasil Pengujian hammer test pada balok beton bertulang tanpa sengkang pascabakar didapatkan mutu beton sebesar 2,08 MPa dan untuk balok beton bertulang dengan sengkang pascabakar didapatkan mutu beton sebesar 4,80 MPa.

Saran dari penelitian ini adalah

- Dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perkuatan balok tanpa sengkang
- Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya suhu dan waktu pembakaran pada balok beton bertulang lebih diperhitungkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada penelitian ini, kami ingin mengucapkan terima kasih kepada Kemenristekdikti atas pendanaan penelitian melalui Skema Penelitian Berbasis Kompetensi 2019. Semoga hasil penelitian yang didapatkan dapat memberikan kontribusi bagi riset dan teknologi Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tjokrodinuljo, "Teknologi Beton." KMTS FT UGM,

Yogyakarta, p. 358, 2007.

- [2] R. Rahman, “Perilaku Kekuatan Baja Tulangan Beton Akibat Kebakaran,” *Jom FTEKNIK Vol. 3 No. 2 Oktober 2016 Pada*, 2016.
- [3] E. Nawy, *Reinforced concrete: A fundamental approach*. 2005.
- [4] W. R. O. Intansari, “Pemanfaatan Program Bantu Analisa Struktur LUSAS Untuk Mengevaluasi Ketahanan Api Elemen Struktur Beton Bertulang Pada Contoh Kasus ACI 216R-89,” pp. 1–26, 2012.
- [5] R. Park and T. Paulay, *Reinforced Concrete Structures*. John Wiley & Sons, 1975.
- [6] R. Andriano, “Permodelan Elemen Balok Beton Menggunakan Metode Similitude,” in *Andalas Civil Engineering (ACE) Conference 2017*, 2018.
- [7] Dr. Paul Lyons, “London University Stress Analysis System (LUSAS).” Universitas London, 1982.

NOMENKLATUR

Δ	Lendutan
Pu	Beban <i>Ultimate</i>
Pcr	Beban <i>First Crack</i>