

# ANALISIS NUMERIK SISTEM BALOK BATATON SEMI PRACETAK DENGAN VARIASI JARAK DAN JUMLAH TULANGAN SENGGKANG

Prayogo Pratama<sup>1)</sup>, Ismeddiyanto<sup>2)</sup>, Zulfikar Djauhari<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya J. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : [prayogo.pratama@student.unri.ac.id](mailto:prayogo.pratama@student.unri.ac.id)

## Abstract

Semi precast concrete or *Hybridconcrete construction* (HCC) is a structure whose elements system is a combination of precast concrete and cast concrete in place or *cast in place* (CIP). Concrete type is in addition to flexural, stirrup reinforcement also need to develop strength. This study examines the behavior of bending and shear, load and deflection relationships, as well as variations in the amount of reinforcement stirrups. Based on the finite element-based numerical analysis, which examined Beams has dimensions of 290 x 140 mm with a length of 3000 mm. Quality precast used 5 MPa while *cast in place* 17.5 Mpa. Variations beam stirrups used without stirrups, stirrups spacing between 0.25 m and 0.15m. The beams are analyzed given the concentrated load at midspan. The analysis showed that the deflection of the beam without stirrups, beams with stirrups spacing between 0.25 m and 0.15 m respectively is 1.396 mm, 1.498 mm and 2.716 mm. Stiffness of the beam without stirrups, beams with stirrups spacing between 0.25 m and beams with stirrups spacing between 0.15 m respectively is 21.489 KN / mm, 21.36 KN / mm, 18.409 KN / mm. The bending moment beam without stirrups, beams with stirrups spacing between 0.25 m and beams with stirrups spacing between 0.5 m succession is 22.5KNm, 24KNm, 37.5 KNM and third curvature beam models were analyzed in a row was 1.241 / mm, 1.332 / mm , 2.415 / mm.

*Keywords: Beam, finite element analysis software, semi-precast, stirrups reinforced.*

## A. PENDAHULUAN

Pada era modern pada saat ini pembangunan dan infrastruktur tidak henti-hentinya dikembangkan di Indonesia. Masalah yang terus muncul dari para kontraktor dan konsultan pada saat pembangunan adalah masalah lahan yang semakin sempit dan semakin mahal. Karena alasan ini tersebutlah maka para perencana membangun inovasi gedung bertingkat atau vertical keatas. Biasanya pembangunan gedung menggunakan dua metode yaitu menggunakan beton pracetak dan sistem konvensional.

Penggunaan metode pracetak dalam pekerjaan struktur di bidang teknik sipil mempunyai beberapa banyak keunggulan dibandingkan dengan sistem konvensional. Sistem ini pada dasarnya melakukan pengecoran ditempat khusus dipermukaan

tanah (fabrikasi) di pabrik atau dilakukan di lokasi proyek (*groundfloor*) kemudian disusun menjadi satu kesatuan struktur yang utuh (ereksi). Adapun keunggulan dari sistem pracetak ini antara lain mutu yang terjamin, Produksi yang massal, dan pengiriman yang cepat, pembangunan konstruksi lebih cepat, pekerjaan lebih rapi, ramah lingkungan dengan produksi yang baik. (Nasrullah).

Balok merupakan elemen struktur yang menyalurkan beban-beban dari slab lantai ke kolom penyangga yang vertikal. Selain gravitasi balok dapat menahan beban angin dan gempa, hal ini menyebabkan terjadinya lentur dan deformasi pada balok. Lentur pada balok terjadi karenan adanya beban luar dan timbulnya regangan.

Salah satu sifat beton yaitu kuat terhadap tekan dan lemah terhadap tarik. Sehingga apabila elemen struktur yang terkena beban dan mengalami lentur, salah satu bagian mengalami tekan, dan bagian yang lain mengalami tarik, maka pada bagian yang mengalami tarik dipasang tulangan baja untuk menahan beban yang diakibatkan oleh tarik tersebut.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka beberapa permasalahan berikut dapat dirumuskan:

1. bagaimana perilaku dari geser dan lentur, hubungan beban dan lendutan balok akibat pengaruh jarak dan jumlah tulangan sengkang.
2. bagaimana perbandingan nilai grafik hubungan beban dan lendutan, pola retak atau ragam kegagalan dan hubungan beban maksimum akibat variasi jarak dan jumlah tulangan sengkang.

## B. TINJAUAN PUSTAKA

### B.1 Sistem Beton Semi Pracetak

Beton semi pracetak atau *hybrid concrete construction* (HCC) adalah sistem struktur yang elemennya merupakan perpaduan dari beton pracetak dan beton cetak di tempat atau *cast in place* (CIP). Beton pracetak (*precast concrete*) itu sendiri merupakan suatu metode komponen secara mekanisasi dalam pabrik dengan memberi waktu pengerasan dan mendapatkan kekuatan sebelum dipasang.



Gambar 1 Balok batuan pracetak

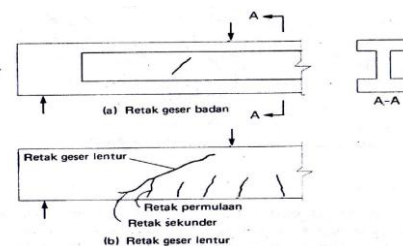
Beton merupakan material yang bersifat getas, nilai kuat tarik tariknya hanya berkisar 9 % - 15% dari kuat tekannya (Neville, 1987).

### B.2 Kuat Geser

Perilaku balok beton bertulang pada saat runtuh geser sangat berbeda akibat runtuh dari lentur. Balok yang mengalami geser lebih berbahaya karena akan mengalami runtuh secara tiba-tiba tanpa adanya peringatan.

Pada balok yang mengalami tulangan lemah maka (*underreinforced*) keruntuhan lentur didahului oleh leleh yang berangsur-angsur pada tulangan tarik, disertai retak pada beton dan defleksi yang besar, sebagai tanda peringatan untuk penyelamatan diri. Karena itulah balok beton bertulang umumnya diberi tulangan geser.

Retak miring terjadi karena adanya tegangan geser yang tinggi. Hal ini terjadi untuk balok yang memiliki tulangan memanjang, yaitu tulangan yang direncanakan untuk memikul gaya lentur tarik dan tekan yang ditimbulkan akibat dari momen lentur. Tipe keruntuhan geser ada 2 : yaitu retak geser badan (*web shear crack*) dan retak geser lentur (*flexure shear crack*). Retak geser badan merupakan retak miring didalam badan (*web*) dari balok beton bertulang yang dapat terjadi tanpa adanya retak lentur didaerah sekitar atau sebagai kelanjutan dari retak lentur yang terjadi sebelumnya, sedangkan retak geser lentur ialah retak miring yang dimulai sebagai kelanjutan dari retak lentur yang telah ada sebelumnya. (Hariawan, 2013)



Gambar 2 Jenis-jenis retak miring  
Sumber: Wang & Salmon, 1986

Retak geser badan sering dijumpai pada beton pratekan, yaitu di dalam balok berbentuk I yang berbadan tipis dan flens yang lebar. Retak geser badan dapat terjadi di sekitar titik balik lendutan (*inflection point*) atau tempat pemutusan tulangan di

dalam balok menerus yang dibebani gaya aksial.

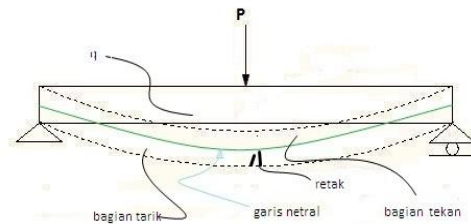
Retak geser lentur adalah jenis retak yang umum dijumpai di dalam beton bertulang dan beton prategang. Retak lentur, yang biasanya cenderung merambat hampir vertikal ke dalam balok, tidak menimbulkan pengurangan tegangan sampai timbulnya suatu kombinasi yang kritis dari tegangan lentur dan geser di dekat daerah dalam dari salah satu retak. Retak geser menyebabkan terbelahnya balok menjadi dua bagian yang dipisahkan oleh garis keretakan geser tersebut. (Basuki N. H., 2006)

### B.3 Kuat Lentur

Menurut Nawy (1990) lentur pada balok diakibatkan oleh regangan yang timbul karena adanya beban luar. Apabila beban bertambah maka balok akan terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan retak lentur disepanjang bentang balok. Bila beban semakin bertambah, pada akhirnya terjadi keruntuhan elemen struktur. Taraf pembebanan yang demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur

Anggapan yang digunakan dalam menganalisis beton bertulang yang diberi beban lentur adalah :

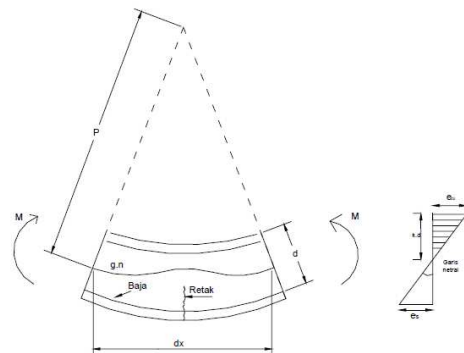
1. Beton tidak dapat menerima gaya tarik karena beton tidak mempunyai kekuatan tarik
2. Perubahan bentuk berupa perubahan panjang dan perpendekan (regangan tarik dan tekan) pada serat-serat penampang, berbanding lurus dengan jarak tiap serat ke sumbu netral. Ini yang kita kenal yaitu penampang bidang datar akan tetap tetap berupa bidang datar.
3. Hubungan antara tegangan dan regangan baja ( $\sigma$  dan  $\epsilon$ ) dapat dinyatakan secara skematis
4. Hubungan antara tegangan dan regangan beton ( $\sigma$  dan  $\epsilon$ ) dapat dinyatakan secara skematis (Wikana, 2007)



Gambar 3 Lendutan balok

### B.4 Momen dan Kelengkungan

Park & Paulay, (1975) mengemukakan, kelengkungan balok didapat dengan mengambil sebuah elemen lurus dari sebuah balok beton bertulang dengan momen-momen ujung dan gaya aksial. Jari-jari kelengkungan ( $R$ ) diukur dari garis netral. Retak-retak pada beton akibat penambahan tegangan akan merubah jari-jari kelengkungan ( $R$ ), tinggi netral ( $k.d$ ), regangan beton ( $\epsilon_c$ ) dan regangan tarik baja ( $\epsilon_s$ ).



Gambar 4 Kelengkungan balok

Sumber : R. Park dan T. Paulay, 1974

$$\frac{dx}{R} = \frac{\epsilon_c \cdot dx}{k \cdot d} = \frac{\epsilon_s \cdot dx}{d(1-k)}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{\epsilon_c}{k \cdot d} = \frac{\epsilon_s}{d(1-k)}$$

Dengan  $\frac{1}{R} = \phi$

Jika regangan dijumlahkan

$$\phi = \frac{\epsilon_c \cdot dx}{k \cdot d} = \frac{\epsilon_s \cdot dx}{d(1-k)} = \frac{\epsilon_c + \epsilon_s}{d}$$

## B.5 Metode Elemen Hingga

Abaqus adalah paket program simulasi rekayasa yang kuat, didasarkan pada metode elemen hingga, yang dapat memecahkan masalah mulai dari analisis linier relatif sederhana sampai simulasi nonlinier yang paling rumit.

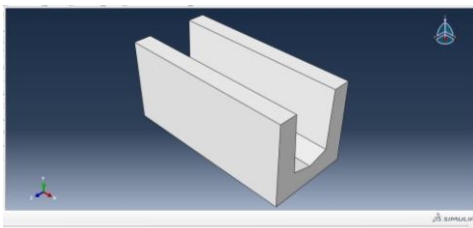
## C. METODOLOGI PENELITIAN

### C.1 Pembuatan geometri balok bataton

Balok bataton pracetak pada penelitian ini digunakan spesifikasi sebagai berikut :

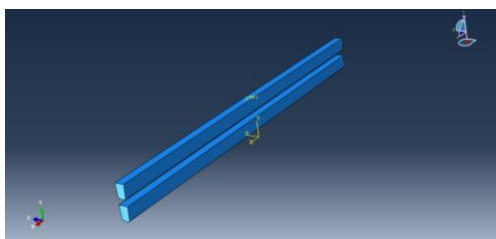
Tabel 1 Spesifikasi balok bataton

Spesifikasi	Ukuran
Dimensi <i>Support Beam</i> (mm)	290 x 140
Panjang (mm)	3000
Mutu beton (MPa)	5



Gambar 5 Balok bataton

Bagian balok *cast in place* pada penelitian ini digunakan spesifikasi sebagai berikut :



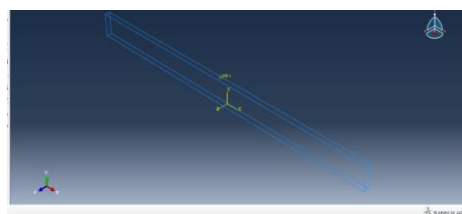
Gambar 6 Model *cast in place*

Tabel 2 Spesifikasi beton *cast in place*

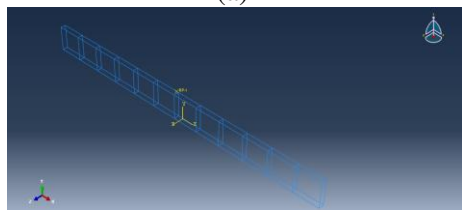
Spesifikasi	Ukuran
Dimensi (mm)	140x 140
Panjang (mm)	3000
Mutu beton (MPa)	17,5

Tabel 3 Spesifikasi tulangan

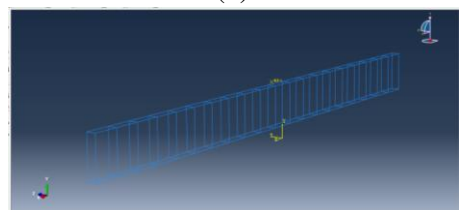
Spesifikasi	Ukuran
Diameter Tulangan Longitudinal (mm)	12
Jumlah Tulangan Longitudinal	4
Diameter Tulangan Sengkang (mm)	6
Spasi Tulangan Sengkang (mm)	150
Dimensi Tulangan Sengkang (mm)	50 x 220
Jumlah Tulangan Sengkang	21



(a)



(b)



(c)

Gambar 7 (a) Tanpa sengkang (b)sengkang dengan jarak 0.25 m (c) sengkang dengan jarak 0.15 m

### C.2 Input data property

*Input data property* dilakukan dengan memasukkan data berupa sifat-sifat mekanik material. Material beton pada penelitian ini dimodelkan dengan tipe *solid, homogeneous* sedangkan tulangan dimodelkan dengan tipe *truss*.

Material baja yang digunakan adalah sebagai berikut :

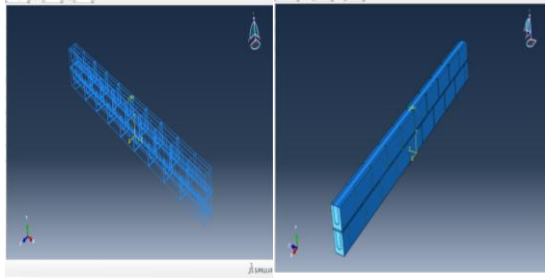
- a. *Mass density* = 7850 kg/m<sup>3</sup>
- b. *Young's modulus* = 200000 MPa
- c. *Poisson's ratio* = 0,3

Tabel 4 Karakteristik mutu beton

Model	Mutu beton (MPa)	Mass density ( $\text{kg/m}^3$ )
Balok pracetak	5	2400
Balok <i>Cast in Place</i>	17,5	2400

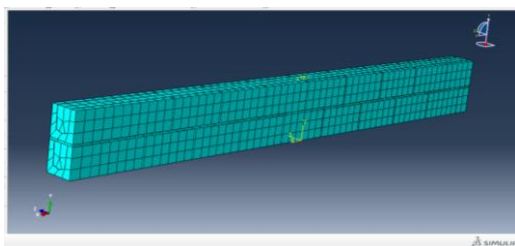
### C.3 Assembly dan meshing

Balok dan tulangan yang telah *input* data material, selanjutnya akan dirakit. Tulangan akan dirakit menjadi suatu rangkaian tulangan dengan tulangan longitudinal beserta tulangan sengkangnya.



Gambar 8 model setelah *assembly*

*Meshing* adalah pedefinisian elemen pada model material beton bertulang. Semakin banyak elemen yang diberikan maka hasil perhitungan akan semakin akurat.



Gambar 9 Model mesh

### C.4 Pendefinisian kondisi benda uji

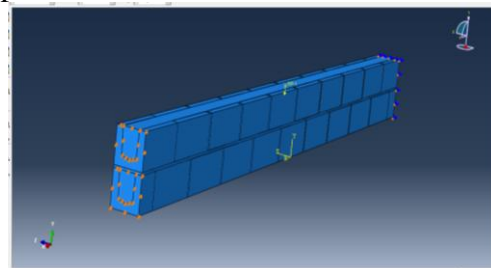
Setelah tahap *meshing* selesai, ada beberapa kondisi yang harus diberikan pada benda uji.

- Pemberian perletakan (*restraint*)

Dalam penelitian digunakan jenis perletakan sendi-rol yang dapat terlihat dalam Gambar 10.

- Pemberian beban  
Pembebanan yang diaplikasikan pada model berupa beban aksial secara konstan sebesar 50 kN dan beban lateral yang mengalami peningkatan.
- Penentuan titik *displacement*  
Penentuan lokasi *displacement* pada *node* dapat dipilih sesuai yang diinginkan.

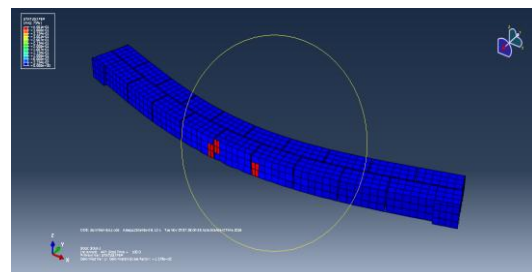
Pendefinisian kondisi benda uji pada model dapat terlihat dalam Gambar 10.



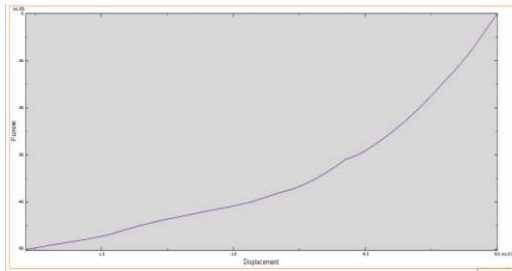
Gambar 10 Model Pendefinisian Kondisi Benda Uji

### C.5 Running dan output

Setelah semua proses *input* data selesai diberikan kepada model balok, maka tahap selanjutnya adalah *running*. Dalam proses *running* ini, selain *input* dan *output* yang keluar dapat diminta juga grafik hubungan beban dan lendutan. Setelah proses *running* selesai, seluruh *output* seperti tegangan, regangan, *displacement* dan retak dapat dilihat pada Abaqus ODB File.



Gambar 11 Hasil *running* retak pada balok bataton

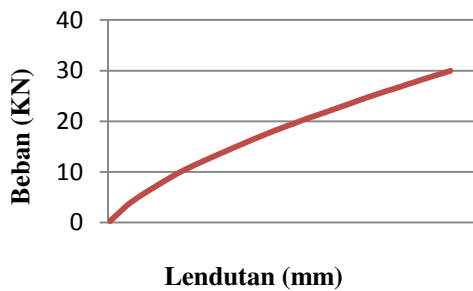


Gambar 12 Grafik Beban – Lendutan Balok Bataton semi pracetak

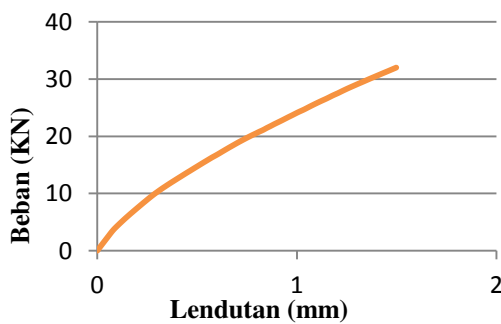
## D. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### D.1 Grafik hubungan beban-displacement

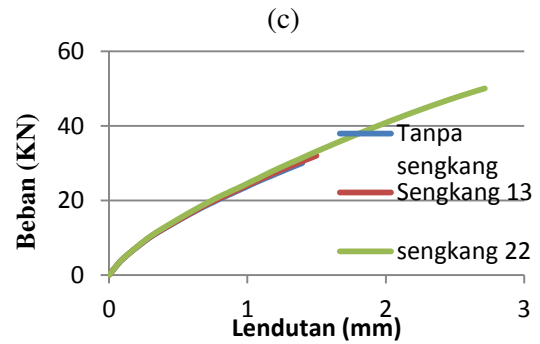
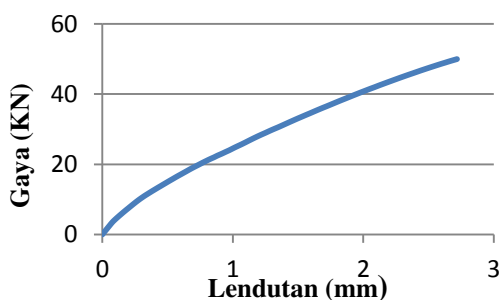
Berdasarkan hasil uji numerik pemodelan elemen hingga balok bataton semi pracetak dengan variasi jarak dan jumlah tulangan sengkang menggunakan *software* elemen hingga diperoleh kurva hubungan beban lateral dan lendutan (*displacement*) ( $P$  vs  $\Delta$ ), sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 13 di bawah ini, berdasarkan titik *displacement* yang telah ditentukan.



(a)



(b)



(d)

Gambar 13. (a) Grafik beban-lendutan balok tanpa sengkang (b) Grafik beban-lendutan balok dengan jarak sengkang 0.25 m (c) Grafik Beban-lendutan balok dengan jarak sengkang 0.15 m (d) Grafik gabungan ketiga model balok

Gambar-gambar di atas menunjukkan perbandingan beban lateral-lendutan oleh balok tanpa sengkang, sengkang berjarak 0.25 m serta sengkang berjarak 0.15 m seperti ditunjukkan oleh tabel 5 :

Tabel 5 Perbandingan Nilai Beban dan Lendutan Kolom Semi Pracetak

No	Model balok	P maks (KN)	Lendutan (mm)
1	Model tanpa tulangan	30	1,396
2	sengkang Model dengan jumlah sengkang 13 dan jarak antar sengkangnya 0,25 m	32	1,498
3	Model dengan jumlah sengkang dan jarak antar sengkangnya 22 buah dan 0,15 meter	50	2,716

### D.2 Kekakuan

Nilai kekakuan pada balok yang tinjau merupakan perbandingan dari hasil beban maksimum ( $P_{maks}$ ) dan lendutan ( $\Delta$ ) yang terjadi . Perbandingan nilai kekakuan balok tanpa sengkang, balok dengan jarak antar sengkang 0.25 m serta balok dengan jarak antar sengkang 0.15 m yang ditinjau dapat dilihat pada tabel 6 berikut :

Tabel 6 Kekakuan balok

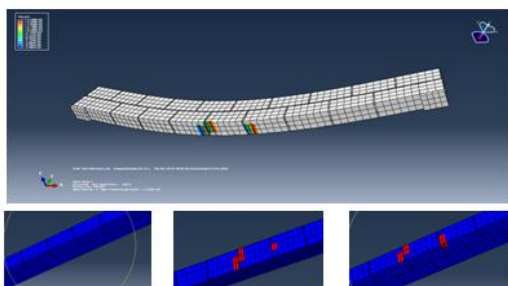
No	Model Balok	Kekakuan (KN/mm)
1	Model tanpa sengkang	21,489
2	Model dengan sengkang 13 buah dengan jarak antar sengkangnya 0,25 m	21,36
3	Model dengan sengkang 22 buah dengan jarak antar sengkang 0,15 m	18,409

### D.3 Evaluasi Pola Retak

*Software* elemen hingga menyediakan program untuk mengamati hasil analisis elemen hingga nonlinier secara grafis melalui STATUSXFEM. Bagian ini menyajikan hasil analisis nonlinier elemen hingga balok berupa kerusakan yang terjadi yaitu keretakan dan jalur retak pada badan balok secara 3D.

#### D.3.1 Pola retak balok semi pracetak tanpa sengkang

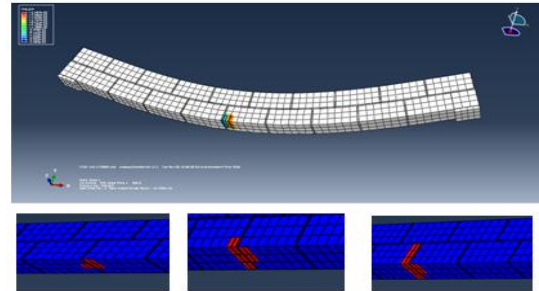
Pola penjalaran retak merupakan retak yang terjadi akibat dari beban yang diberikan kepada suatu balok. Penjalaran balok yang terus menerus bisa menyebabkan hancurnya balok. Dengan adanya tulangan sengkang pola retak yang diakibatkannya tidak separah balok yang tanpa menggunakan tulangan sengkang. Gambar 14. dibawah ini merupakan retak yang dialami balok dengan tanpa sengkang.



Gambar 14 Gambar pola retak balok tanpa sengkang

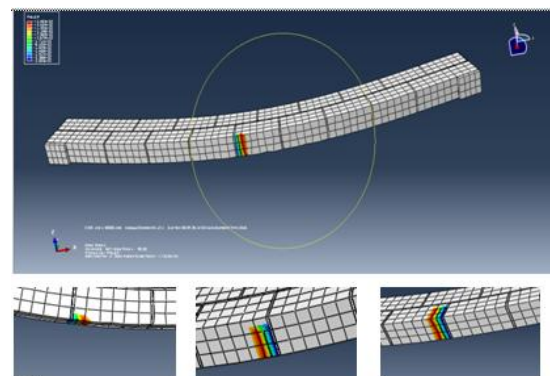
Pada Gambar 14 dapat dilihat bahwa pola retak terjadi di tengah

bentang balok akibat tegangan tarik, yakni pada mutu pracetak yang lebih rendah 5 MPa. Retak yang dialami awalnya kecil dan semakin lama semakin menjalar hingga ke badan balok, bahkan awalnya kecil dapat memperpanjang retak yang lama hingga membuat retak yang baru pada daerah yang baru akibat beban terus menerus dan tanpa adanya sengkang juga mempengaruhi timbulnya retak dan lendutan.



Gambar 15 Gambar pola retak balok dengan sengkang 0.25 m

Pada Gambar 15 dapat dilihat juga bahwa retak yang dialami oleh balok batuan semi pracetak ini terjadi pada bagian mutu yang lebih rendah yaitu beton pracetak 5 MPa, retak yang dialami juga disebabkan oleh tegangan tarik yang mulanya hanya pada bagian bawah balok dan semakin lama akan menjalar memanjang searah vertikal keatas hingga ke badan balok. Hal itu juga dipengaruhi oleh meningkatnya beban maka akan timbul retak baru dan bisa akan memperpanjang retak yang terjadi sebelumnya akibat tarik dari balok.



Gambar 16 Gambar pola retak balok dengan sengkang 0.15 m

Pola retak balok umumnya terjadi pada arah transversal searah tulangan sengkang. Pola retak terjadi pada bagian sisi tarik balok. Kondisi *spalling* pada saat terjadi retak pada balok tidak dapat ditampilkan pada *software* elemen hingga. Pada daerah tekan juga terjadi retak searah dengan tulangan sengkang pada saat mendekati beban maksimum hingga terjadi runtuh.

Peningkatan jumlah beban juga mengakibatkan pola retak yang baru atau bahkan bisa memperpanjang pola retak pertama yang sebelumnya ada, dapat disimpulkan bahwa dengan mutu beton pracetak yaitu 5 MPa dibandingkan dengan beton *cast in place* yang bermutu 17,5 MPa maka yang akan mengalami keruntuhan yaitu mutu beton yang lebih rendah yaitu beton pracetak, karena mengalami retak lentur yang ditandai retak searah badan balok dan berada ditengah bentang dari balok. Gejala dari keruntuhan atau pola retak ini bisa disebut dengan *over reinforced*, yaitu beton hancur sebelum baja mengalami leleh.

## E. KESIMPULAN DAN SARAN

### E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis balok semi pracetak 2 lapis yang dibebani dengan beban titik ditengah (*one point loading*) dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Balok semi pracetak dengan menggunakan 1 buah beban di tengah (*one point loading*) yang dianalisis dengan *software* abaqus ini mengalami retak diakibatkan tegangan tarik.
2. Semakin kecil mutu beton maka akan semakin mudah mengalami keretakan, yakni balok pracetak yang bermutu 5 MPa terlebih dahulu retak dibanding beton *cast in place* yang bermutu 17,5 MPa.
3. Beban maksimum ( $P_{maks}$ ) yang dialami oleh balok tanpa sengkang, dengan sengkang berjarak 0,25 m serta sengkang

berjarak 0,15 m berturut-turut ialah 30 KN, 32 KN, dan 50 KN.

4. Kekakuan suatu balok juga semakin kecil/ lebih elastis dengan penambahan jumlah sengkang. Balok tanpa sengkang, balok dengan sengkang berjarak 0,25m dan balok berjarak 0,15 m antar sengkangnya memiliki nilai kekakuan berturut-turut 21.489 KN/mm, 21.36 KN/mm, 18.409 KN/mm
5. Momen lentur maksimum balok tanpa sengkang, jarak antar sengkang 0,25 m serta jarak antar sengkang 0,15 m ialah 22.5 KNm, 24 KNm, dan 37.5 KNm
6. Kelengkungan balok tanpa sengkang, balok dengan jarak antar sengkangnya 0.25 m serta balok dengan jarak antar sengkangnya 0.15 m berturut-turut ialah 1.241 /mm, 1.332 /mm, 2.415 /mm

### E.2 Saran

1. Penelitian ini hanya menganalisis pengaruh dari 1 buah beban pada balok semi pracetak (*one point loading*), oleh sebab itu disarankan untuk penelitian selanjutnya analisis dilakukan lebih kompleks seperti kolom dan pelat lantai untuk mengetahui kekuatan struktur gedung secara menyeluruh dan lebih detail.
2. Bataton yang digunakan sebagai komponen balok dan sebagai bekisting ialah model berbentuk U, disarankan menggunakan tipe lain agar bisa menjadi pembanding dan tolak ukur pembelajaran mana yang lebih baik

### DAFTAR PUSTAKA

- Arga Wiranata, R. S. (n.d.). Studi Analisis Sambungan Balok-Kolom Dengan Sistem Pracetak Pada Gedung Dekanat. *Studi Analisis Sambungan Balok-Kolom Dengan Sistem Pracetak Pada Gedung Dekanat*.
- Basuki. (2006). Rekayasa Tulangan Sengkang Vertikal Pada Balok Beton Bertulang. *Rekayasa Tulangan Sengkang Vertikal Pada Balok Beton Bertulang*, 72-80.

Basuki, N. H. (2006). Tinjauan Kuat Geser Sengkang Alternatif Dan Sengkang Konvensional Pada Balok Beton Bertulang . *Tinjauan Kuat Geser Sengkang Aternatif Dan Sengkang Konvensional Pada Balok Beton Bertulang*, 36-45.

Hariawan, D. F. (2013). Tinjauan Kuat Geser Kombinasi Sengkang “Alternatif” Dan Sengkang “U” Atau “n” Dengan Pemasangan. *Tinjauan Kuat Geser Kombinasi Sengkang “Alternatif” Dan Sengkang “U” Atau “n” Dengan Pemasangan*.

Iqbal, M. (2013). Pengujian Geser Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Sengkang Konvensional. *Pengujian Geser Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Sengkang Konvensional* .

Nasrullah. (n.d.). Perbandingan Analisa Kapasitas Sambungan Balok-Kolom Konvensional Dan Pracetak Sistem U-SHELL.

*Perbandingan Analisa Kapasitas Sambungan Balok-Kolom Konvensional Dan Pracetak Sistem U-SHELL. Sambungan Balok-Kolom Konvensional Dan Pracetak Sistem U-Shell* .

Riyanto, H. (2010). Perilaku Statis Struktur Beton Pracetak Dengan Sistem Sambungan Basah. *Perilaku Statis Struktur Beton Pracetak Dengan Sistem Sambungan Basah* .

Riza Aryanti, Z. M. (2008). Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Modifikasi Alat Uji Tekan . *Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Modifikasi Alat Uji Tekan* , 74-80.

Sianturi, N. M. (2012). Tinjauan Penggunaan Balok Pracetak Pada. *Jurnal Rancang Sipil Volume 1 Nomor 1, Desember 2012* , 11.

Simanjuntak, J. (2014). Kajian Numerikal / ABAQUS Damper Pelat Baja. *BAB III Kajian Numerikal / ABAQUS Damper Pelat Baja* , 3.

Wikana, I. (2007). Tinjauan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Lapisan Mutu Beton Bertulang Yang Berbeda. *Tinjauan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Lapisan Mutu Beton Bertulang Yang Berbeda* .