

## ANALISIS NUMERIK KUAT LENTUR ELEMEN BALOK T *CURVED TILE SEMI PRACETAK DENGAN VARIASI MUTU BETON CAST IN PLACE*

Rian Fajri Ramadanas<sup>1)</sup>, Ismeddiyanto<sup>2)</sup>, Reni suryanita<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 : [Rian.fajri@student.unri.ac.id](mailto:Rian.fajri@student.unri.ac.id)

### *Abstract*

*T beam elements curved tile semi precast is a combination concrete precast with concrete cast in place, which aims to improve the efficiency construction of reinforced concrete structures. Quality concrete cast in place, can be influenced by various factors such as human error, weather and others. Thus the need to be studied further how the influence of variations in the quality of concrete cast in place. The purpose of this study is to analyze the results of the flexural strength T beam semi precast elements, especially against the load-deflection relationship, the moment-curvature, and the pattern of cracks caused. The study used curved tile T beam semi precast element with dimension of 60 cm width, height 18 cm, and a length of 300 cm. Quality of precast concrete is 22 MPa and the quality variations of cast in place concrete were 15 MPa, 19 MPa, 20 MPa, 22 MPa and 25 MPa. The axial load of T beam Model increased, starting from zero up to fail. Base on the finite element analysis software improved, the received axial load greater the 20,51 kN, 21,00 kN, 23,47 kN, 23,67 kN and 23,80 kN. For the moment curvature analysis results, with increases in the quality of concrete, moment that occurs is also increasing the 20,51 kNm, 21,00 kNm, 23,47 kNm, 23,67 kNm and 23,80 kNm. Cracks that occurred on all elements of T semi precast beams are cracked flexural, where the bending moment occurred on the area's largest. Therefore this study can be an additional reference to community and alternative in the manufacture of semi precast T beam element, as well as understanding of the use of computer applications in the identification of mechanical properties of concrete.*

**Keywords:** *Cast In Place Concrete, Curved tile, Finite Element Analysis Software, Flexural Strength, Concrete Precast, T Beam*

### **A. PENDAHULUAN**

Perkembangan konstruksi sudah sangat berkembang di Indonesia, salah satunya beton pracetak. Teknologi alternatif beton pracetak banyak digunakan dalam upaya meningkatkan efisiensi pada pembangunan struktur beton bertulang. Teknologi ini bertujuan untuk mengurangi penggunaan bahan-

bahan material yang semakin susah didapat seperti kayu.

Menurut Sagita (2016) Konstruksi beton pracetak telah mengalami perkembangan yang sangat pesat di dunia, termasuk di Indonesia dalam dekade terakhir ini. Karena sistem pracetak ini mempunyai banyak

keunggulan dibanding sistem konvensional, beberapa keunggulannya yaitu waktu pekerjaan lebih cepat, biaya lebih rendah, serta ramah lingkungan. Pemanfaatan sistem pracetak banyak digunakan pada pekerjaan dinding, plat lantai, *sloof*, balok dan kolom.

Dalam penelitian ini, membahas tentang elemen balok T *curved tile*, dimana elemen balok T *curved tile* semi pracetak ini terdiri dari beberapa bagian seperti balok pendukung (*support beam*), pelat lengkung (*curved tile*), dan beton yang dicor ditempat atau di lapangan pada bagian atasnya. Bagian elemen balok T *curved tile* yang dilakukan pengecoran di lapangan (*cast in place*) dan memungkinkan terjadinya perbedaan mutu beton, perbedaan mutu ini menyebabkan elemen struktur menjadi tidak monolit. Akibat elemen struktur yang tidak monolit, hal ini dapat berpengaruh terhadap kepadatan beton *cast in place* pada saat pengecoran sehingga berdampak buruk pada kekuatan beton saat mencapai umur rencana serta dapat mempengaruhi besar kecilnya kuat lentur. Maka perlu dikaji lebih lanjut seberapa besar pengaruh dari variasi mutu beton tersebut terhadap kuat lentur balok T *curved tile*, dengan menggunakan Program *finite element analisis* (FEA) serta teori-teori yang sudah ada.

Untuk melakukan simulasi akan dipergunakan program *finite element analisis* (FEA). Program *Fenite Element Analysis* (FEA) ini dipilih karena memiliki kelebihan tersendiri dibanding dengan program-program sejenis dimana tidak hanya dapat menganalisis struktur rangka (*frame*) tetapi juga elemen-elemen lain seperti tulangan, pelat lantai, dan lain lain.

Pemilihan program *Fenite Element Analysis* (FEA) didasarkan pada kemampuan program ini memodelkan perilaku *softening* dari material serta penggunaan program *Fenite Element Analysis* (FEA) ini telah luas digunakan

dimasyarakat khususnya para *engineer* (Irwanto, 2011).

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

1. Bagaimana perilaku pengaruh variasi mutu beton terhadap kuat lentur, hubungan beban-lendutan, serta momen-kelengkungan balok T dengan simulasi numerik.
2. Bagaimana perbandingan nilai kuat lentur dari grafik hubungan beban dan lendutan, pola retak atau ragam kegagalan, beban maksimum, serta grafik kurva tegangan regangan balok T akibat pengaruh variasi mutu beton yang digunakan pada kuat lentur elemen balok T *curved tile*.

## B. TINJAUAN PUSTAKA

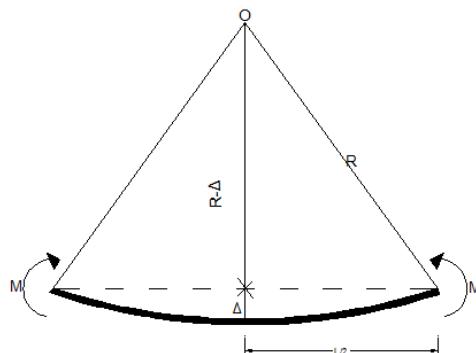
### B.1 Sistem Beton Semi Pracetak

Beton semi pracetak atau *hybrid concrete construction* adalah sistem struktur yang elemen-elemennya merupakan perpaduan dari beton pracetak dan beton pengecoran dilapangan atau *cast in place*. Sistem pracetak akan berbeda dengan konstruksi beton monolit konvensional pada aspek perencanaan yang tergantung atau ditentukan oleh metode pelaksanaan dari fabrikasi, penyatuhan dan pemasangannya serta ditentukan pula oleh teknis perilaku sistem pracetak dalam hal cara penyambungan antar sub elemen. Umumnya digunakan pada struktur bangunan tingkat rendah sampai menengah. Kelemahan struktur ini adalah kurang monolit, sehingga ketahanannya terhadap gempa kurang baik.

### B.2 Curvature Balok

Data yang diperoleh dari analisis balok T secara numerik, berupa nilai lendutan ( $\delta$ ) yang terjadi pada tengah bentang dapat dihitung besarnya jari-jari

kelengkungan ( $R$ ), seperti terlihat pada Gambar 1, sebagai berikut :



Gambar 1 Lendutan akibat beban

Maka *curvature* ( $\phi$ ) balok adalah :

$$\phi = \frac{1}{R} = \frac{2\delta}{\delta^2 + 0,25L^2}$$

### B.3 Balok Pendukung Pelat

Pendukung pelat diperlukan untuk mengurangi lendutan sehingga tidak terjadi runtuhan sebelum dibebani. Pelat konvensional masih monolit (balok dan pelat menyatu), dengan persaingan antar kontraktor semakin berkembang mengakibatkan berdampak pada waktu dan biaya. Maka para kontraktor mulai beralih ke sistem salah satu yang berkembang untuk pendukung plat sekaligus bagian dari plat adalah *support beam* (Triwyono & Siringoringo, 1999). Berikut adalah aplikasi dari support beam pada Gambar 2.



Gambar 2 *Precast Pendukung Pelat (Support Beam)*

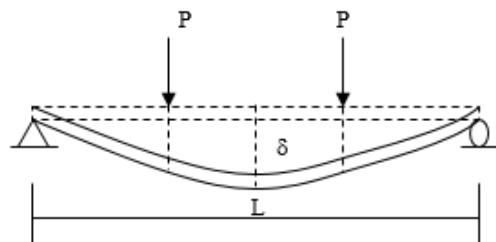
### B.4 Analisis Kuat Lentur

Menurut Nawy (1990) dalam Shahril (2014) 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.

### B.5 Kekakuan Lentur

Lendutan yang terjadi di tengah-tengah bentang sebelum terjadi sendi plastis untuk struktur balok dengan tumpuan sederhana yang dibebani dengan suatu titik pembebanan seperti terlihat pada Gambar 3 dapat diturunkan sebagai berikut :



Gambar 3 Lendutan pada Balok

Kekakuan didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu lendutan sebesar satu satuan.

$$k = \frac{P_{cr}}{\delta_{cr}}$$

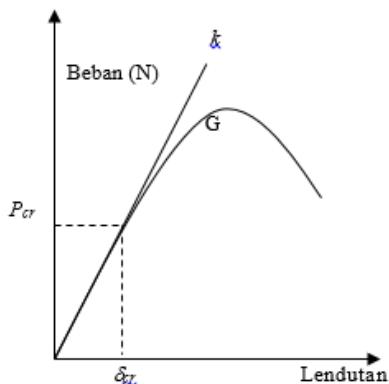
Dengan :

$k$  : kekakuan lentur (N/mm)

$P_{cr}$  : beban balok saat retak pertama (N)

$\delta_{cr}$  : lendutan saat balok retak pertama (mm)

Nilai kekakuan merupakan kemiringan garis dari hubungan antara beban dan lendutan seperti pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4 Pendekatan Kekakuan

### B.6 Pola Retak dan Jenis Keruntuhan Pada Balok

Menurut Nawy (1990) ada tiga jenis keruntuhan yaitu :

1. Keruntuhan lentur
2. Keruntuhan tarik diagonal
3. Keruntuhan tekan geser

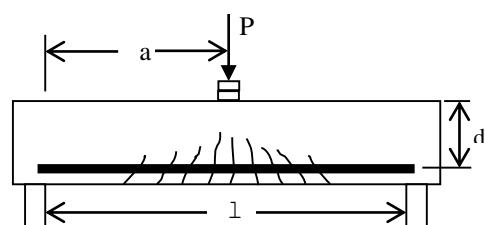
Pada balok langsing cenderung terjadi ragam keruntuhan lentur seperti ditunjukkan pada Gambar 5 (a). Pada daerah yang mengalami keruntuhan lentur, retak terutama terjadi pada sepertiga tengah bentang dan tegak lurus terhadap arah tegangan utama. Retak ini diakibatkan oleh tegangan lentur ( $f$ ) yang sangat dominan yang besarnya hampir mendekati tegangan utama horizontal dan tegangan geser ( $v$ ) yang sangat kecil. Apabila beban bertambah terus retak-retak ini akan bertambah dan retak awal yang sudah terjadi akan melebar dan semakin panjang menuju sumbu netral penampang. Hal ini bersamaan dengan semakin besarnya lendutan di tengah bentang.

Jika balok tersebut *under reinforced* maka keruntuhan merupakan keruntuhan daktail yang ditandai dengan melelehnya tulangan tarik. Perilaku ini memberikan peringatan terlebih dahulu sebelum terjadi kehancuran total balok beton (*collapse*).

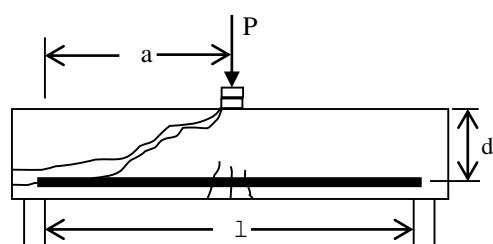
Keruntuhan tarik diagonal terjadi apabila kekuatan balok arah diagonal tarik lebih kecil dari kuat lenturnya

seperti terlihat pada Gambar 5 (b). Retak dimulai terjadi ditengah bentang berarah vertikal yang berupa retak halus dan diakibatkan oleh lentur. Retak ini diikuti oleh rusaknya lekatan antara baja tulangan dengan beton disekitarnya pada daerah perletakan. Tanpa adanya peringatan sebelum runtuh, 2 atau 3 retak diagonal terjadi pada jarak  $1,5d$  sampai  $2d$  dari muka perletakan. Untuk mencapai kestabilan 1 retak diagonal ini melebar ke dalam retak tarik diagonal utama.

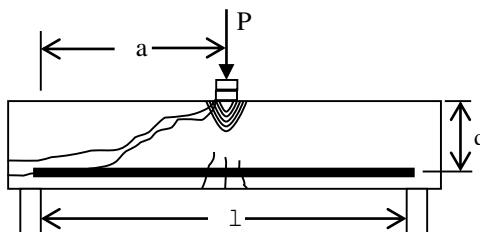
Keruntuhan tekan geser dimulai dengan timbulnya retak lentur halus vertikal ditengah bentang dan terus menjalar karena terjadi hilangnya lekatan antar tulangan longitudinal dengan beton disekitarnya pada daerah perletakan, seperti ditunjukkan pada Gambar 5 (c). Setelah itu diikuti dengan retak miring yang lebih curam dari retak tarik diagonal secara tiba-tiba, menjalar terus menuju sumbu netral.



(a)



(b)



(c)

Gambar 5 Ragam Keruntuhan Balok

Kecepatan penjalaran ini semakin berkurang sebagai akibat dari hancurnya beton pada tepi tertekan dan terjadinya redistribusi tegangan pada daerah atas.

Pada saat bertemuannya retak miring dengan tepi beton yang tertekan, terjadinya keruntuhan secara tiba-tiba. Dimana  $P$  adalah beban,  $d$  adalah tinggi efektif penampang,  $a$  adalah jarak beban dari tumpuan, dan  $L$  adalah panjang bentang balok.

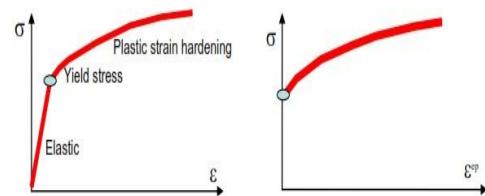
### B.7 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga nonlinier (*nonlinear finite element method*) merupakan salah satu pendekatan untuk melakukan analisis suatu struktur selain menggunakan metode penelitian melalui eksperimen. Analisis elemen hingga nonlinier memberikan kesempatan untuk melakukan studi terhadap struktur secara lebih mendalam, karena variasi jenis dan jumlah hasil yang dianalisis dapat diperoleh lebih banyak.

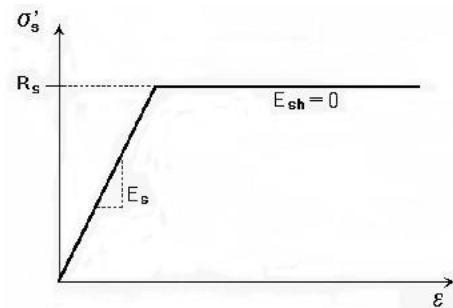
Analisa numerik balok dengan sistem beton semi pracetak menggunakan *software* elemen hingga. *Software* elemen hingga adalah paket program simulasi rekayasa yang kuat, didasarkan pada metode elemen hingga, yang dapat memecahkan masalah mulai dari analisis linier relatif sederhana sampai simulasi nonlinier yang paling menantang.

Data material sangat penting dalam pemodelan di program elemen hingga. *Software* ini membutuhkan perilaku material berupa sifat elastis dan plastis yang digambarkan dari kurva

tegangan regangan. *Software* elemen hingga mendefinisikan perilaku elastis dan plastis secara terpisah. Dalam kurva tegangan regangan suatu material, *software* elemen hingga hanya memerlukan data perilaku plastis seperti yang terlihat dalam Gambar 6.



Gambar 6 (a) Kurva Tegangan Regangan Material (b) Kurva Tegangan Regangan Plastis  
(Seismic Assessment of WSDOT Bridges with Prestressed Hollow Core Piles, 2009)

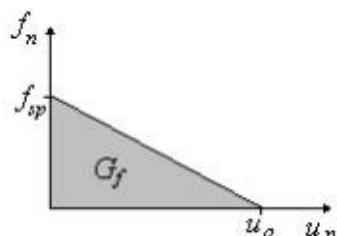


Gambar 7 Elasto-Plastic Constitutive Law untuk Tulangan Baja  
(Nuryanti,2010)

Model hubungan tegangan-regangan untuk tulangan baja dengan *elasto-plastic constitutive law* ditunjukkan pada Gambar 7. Untuk bagian elastic awal mempunyai modulus elastisitas baja  $E_s$ , sedangkan bagian selanjutnya merupakan kondisi plastik baja dengan modulus *hardening*  $E_{sh}$ . Untuk kondisi *elastic-perfectly plastic* nilai  $E_{sh} = 0$ .

Perilaku pola retak yang terjadi didasarkan dari analisa energi fraktur beton. Perilaku tarik beton dapat ditentukan berdasarkan *energy fraktur*, tegangan tarik awal retak, dan

*displacement* bukaan retak. Hubungan tegangan tarik dan *displacement* bukaan retak dapat terlihat dalam Gambar 8.



Gambar 8 Perilaku Tegangan Tarik-  
*Displacement*

(Seismic Assessment of WSDOT  
Bridges with Prestressed Hollow Core  
Piles, 2009)

## C. METODOLOGI PENELITIAN

### C.1 Pembuatan Geometri Elemen Balok T Curved Tile

Tahap awal pembuatan geometri elemen balok T *curved tile* adalah dengan menentukan titik koordinat yang sesuai dengan dimensi balok T. Kemudian titik-titik tersebut dihubungkan dengan garis yang dibentuk menjadi surface. Surface-surface yang telah terhubung kemudian dibentuk menjadi volume. Pemodelan dilakukan terhadap tiga elemen struktur, yakni balok pendukung (*support beam*), pelat lengkung (*curved tile*), dan beton *cast in place*. Secara rinci model yang dibuat dapat dilihat pada tabel berikut,

Tabel 1 spesifikasi *Support beam*

| Spesifikasi                      | Ukuran   |
|----------------------------------|----------|
| Dimensi <i>Support Beam</i> (mm) | 100 x 60 |
| Panjang (mm)                     | 3000     |
| Mutu beton (MPa)                 | 22       |
| Diameter Tul Longitudinal (mm)   | 12       |
| Diameter tulangan sengkang (mm)  | 6        |
| Jumlah Tulangan Longitudinal     | 2        |

Tabel 2 Spesifikasi *curved tile* Pracetak

| Spesifikasi                     | Ukuran   |
|---------------------------------|----------|
| Dimensi <i>curved tile</i> (mm) | 530 x 20 |
| Panjang (mm)                    | 3000     |
| Mutu beton (MPa)                | 22       |

Tabel 3 Spesifikasi beton *cast in place*

| Spesifikasi                     | Ukuran   |
|---------------------------------|----------|
| Tebal <i>cast in place</i> (mm) | 120      |
| Panjang (mm)                    | 3000     |
| Mutu beton 1 (MPa)              | 15       |
| Mutu beton 2 (MPa)              | 19       |
| Mutu beton 3 (MPa)              | 22       |
| Mutu beton 4 (MPa)              | 23       |
| Mutu beton 5 (MPa)              | 25       |
| Wire Mesh M8-150                | WM 8-150 |

### 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 dalam pemodelan memiliki karakteristik sebagai berikut.

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

Material beton didefinisikan sebagai *concrete damage plasticity* yang akan mengalami kerusakan akibat tegangan dan regangan plastis. Material beton yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4 Nilai Karakteristik Mutu Beton

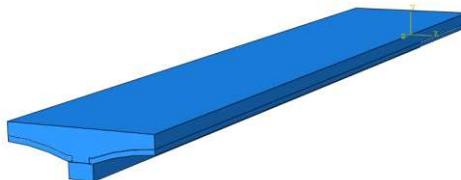
| Model               | Mutu beton (MPa) | Mass density (kg/m <sup>3</sup> ) | Young's Modulus (MPa) |
|---------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| Beton cast in place | 15               | 2400                              | 8203.022              |
|                     | 19               | 2400                              | 0486.825              |
|                     | 22               | 2400                              | 2044.951              |
|                     | 23               | 2400                              | 2540.408              |
| Beton Pracetak      | 25               | 2400                              | 3500.000              |
|                     | 22               | 2400                              | 4862.705              |

### C.3 Assembly dan Meshing

Tulangan akan dirakit menjadi suatu rangkaian tulangan dengan

tulangan longitudinal beserta tulangan sengkangnya.

Balok pendukung, *curved tile* dan beton *cast in place* akan disatukan menjadi elemen balok T *curved tile*. Rangkaian tulangan selanjutnya akan diberi interaksi *embedded region* sehingga model support beam dengan model tulangan akan menjadi satu kesatuan. Model elemen balok T *curved tile* yang telah selesai dilakukan *assembly* terlihat dalam Gambar 9.



Gambar 9 Elemen balok T *curved tile*

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

#### C.4 Pendefinisan Kondisi Benda Uji

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

##### a. Pemberian perletakan (*restraint*)

Dalam penelitian digunakan jenis perletakan sendi dan rol. Dapat dilihat pada Gambar 10.

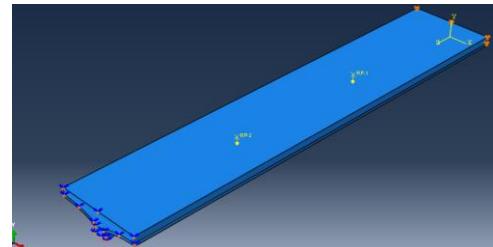
##### b. Pemberian beban

Pembebaan yang diaplikasikan pada model berupa beban aksial yang mengalami peningkatan dimulai dari nol sampai kegagalan pada elemen.

##### c. Penentuan titik *displacement*

Penentuan lokasi *displacement* pada *node* dapat dipilih sesuai yang diinginkan yaitu di tengah bentang.

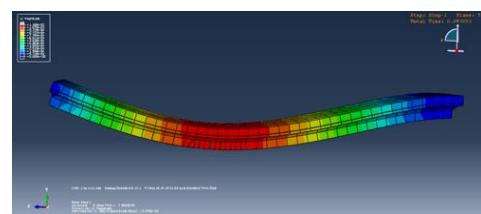
Pendefinisan kondisi benda uji pada model dapat terlihat dalam Gambar 10.



Gambar 10 Model Pendefinisan Kondisi Benda Uji

#### C.5 Running dan Output

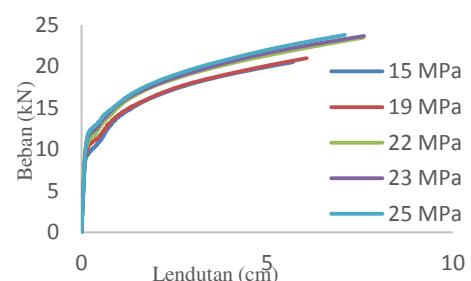
Setelah semua proses *input* data selesai diberikan kepada model kolom, maka tahap selanjutnya adalah *running*. Data yang sudah selesai *running* akan memunculkan plot kontur akibat *stress* (bebán) dengan menampilkan perpindahan gaya seperti yang terlihat dalam Gambar 11.



Gambar 11 Tampilan Hasil *Running* Software Elemen Hingga

### D. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### D.1 Grafik Hubungan Beban-*Displacement*

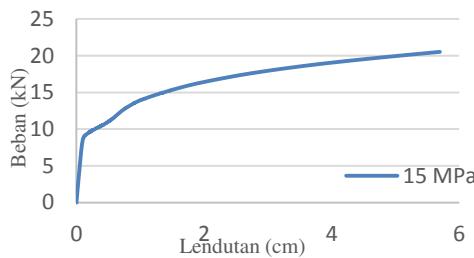


Gambar 12 Grafik Beban-Lendutan

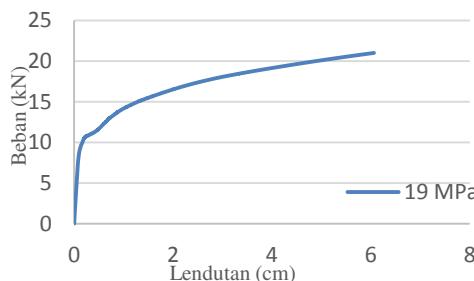
Berdasarkan hasil uji numerik pemodelan elemen hingga elemen balok T *curved tile* semi pracetak dengan variasi mutu beton *cast in place*

menggunakan *software* elemen hingga diperoleh kurva hubungan beban aksial dan lendutan (*displacement*) ( $P$  vs  $\Delta$ ), sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 12 di atas ini, berdasarkan titik *displacement* yang telah ditentukan.

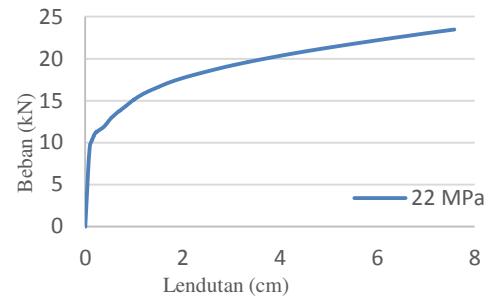
Gambar 12 menunjukkan bahwa perbedaan hasil model elemen hingga dengan variasi mutu beton pracetak tidak begitu signifikan, dan hasil model elemen hingga menunjukkan sebagian besar model akan mengalami peningkatan beban lateral-lendutan seiring meningkatnya mutu beton *cast in place*. Gambar 13, Gambar 14, Gambar 15, Gambar 16 dan Gambar 17 dibawah ini menunjukkan grafik beban-lendutan berdasarkan mutu beton pracetak yang digunakan.



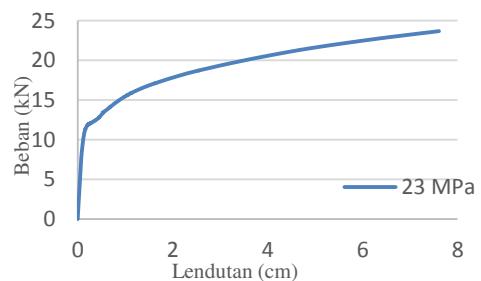
Gambar 13 Perbandingan Beban-Lendutan Dengan Mutu Beton Pracetak 15 MPa



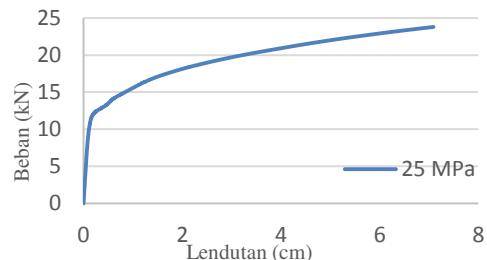
Gambar 14 Perbandingan Beban-Lendutan Dengan Mutu Beton Pracetak 19 MPa



Gambar 15 Perbandingan Beban-Lendutan Dengan Mutu Beton Pracetak 22 MPa



Gambar 16 Perbandingan Beban-Lendutan Dengan Mutu Beton Pracetak 23 MPa



Gambar 17 Perbandingan Beban-Lendutan Dengan Mutu Beton Pracetak 25 MPa

Gambar-gambar di atas menunjukkan perbandingan beban-lendutan persatuan elemen balok T *curved tile*, sedangkan untuk nilai hasil perbandingan beban aksial dan lendutan keseluruhan secara rinci dapat dilihat dalam Tabel 5.

Tabel 5 Perbandingan Nilai Beban dan Lendutan elemen Balok T Semi Pracetak

| Model elemen balok T Semi Pracetak | Pmaks (kN) | Lendutan (m) |
|------------------------------------|------------|--------------|
| Mutu Beton Pracetak 15 Mpa         | 20.51      | 0.0569       |
| Mutu Beton Pracetak 19 MPa         | 21.00      | 0.0606       |
| Mutu Beton Pracetak 22 MPa         | 23.47      | 0.0758       |
| Mutu Beton Pracetak 23 MPa         | 23.67      | 0.0760       |
| Mutu Beton Pracetak 25 MPa         | 23.80      | 0.0709       |

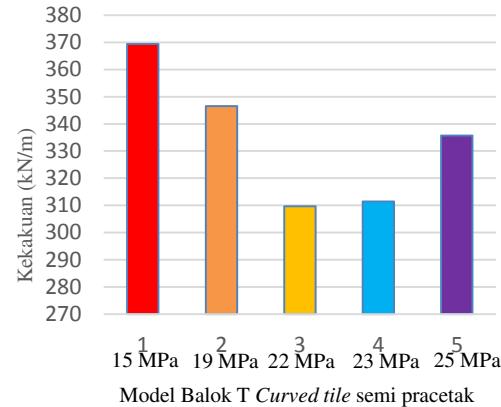
## D.2. Kekakuan

Kekakuan elemen balok T *curved tile* semi pracetak dapat dihitung melalui beban aksial dan lendutan yang terjadi pada balok T *curved tile* semi pracetak. Perbandingan kekakuan elemen balok T semi pracetak dengan berbagai variasi mutu beton pracetak dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Perbandingan Nilai Kekakuan Balok T Semi Pracetak

| Model elemen balok T <i>curved tile</i> Semi Pracetak | Pmaks (kN) | Lendutan (m) | Kekakuan (kN/m) |
|---|------------|--------------|-----------------|
| Mutu 15 Mpa   | 20.51      | 0.0569       | 363,456         |
| Mutu 19 MPa   | 21.00      | 0.0606       | 346,534         |
| Mutu 22 MPa   | 23.47      | 0.0758       | 309,631         |
| Mutu 23 MPa   | 23.67      | 0.0760       | 311,447         |
| Mutu 25 MPa   | 23.80      | 0.0709       | 335,684         |

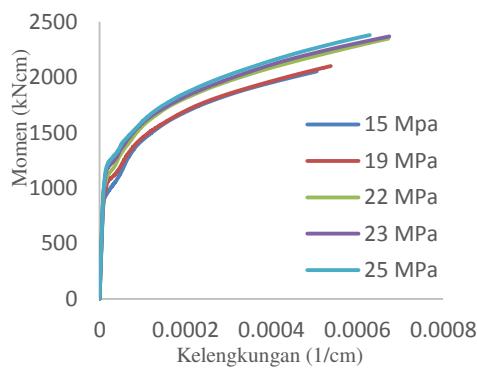
Balok T semi pracetak dengan mutu beton pracetak 15 MPa mempunyai nilai kekakuan terbesar, yakni 363,456 kN/m. Perbedaan nilai kekakuan balok T semi pracetak dapat terlihat dalam Gambar 18.



Gambar 18 Grafik Kekakuan Balok T Semi Pracetak dengan Variasi Mutu Beton *Cast in Place*

## D.3 Hubungan Momen dan Kelengkungan

Berdasarkan hasil uji numerik pemodelan elemen hingga elemen Balok T *curved tile* semi pracetak dengan variasi mutu beton pracetak menggunakan *software* elemen hingga diperoleh kurva hubungan beban dan lendutan (*displacement*) ( $P$  vs  $\Delta$ ), dari kurva beban-lendutan yang didapat dapat dianalisis lagi hubungan kurva momen dan kelengkungan sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 19



Gambar 19 Grafik momen kelengkungan

Gambar 19 menunjukkan bahwa kurva momen-kelengkungan tidak berbeda jauh dengan kurva beban-lendutan dan gambar 19 menunjukkan elemen balok T *curved tile* semi pracetak dengan mutu beton pracetak 25 MPa

memiliki momen terbesar. Berdasarkan hasil analisis *software* elemen hingga untuk balok T semi pracetak 25 MPa sebesar 23,8 kN. Nilai hasil perbandingan momen-kelengkungan keseluruhan secara rinci dapat dilihat dalam Tabel 7.

Tabel 7 Perbandingan Nilai Momen kelengkungan elemen Balok T Semi Pracetak

| Model elemen balok T Semi Pracetak | Momen maks (KNm) | Kelengkungan maks (1/m) |
|------------------------------------|------------------|-------------------------|
| Beton 15 Mpa                       | 20.51            | 0.0505                  |
| Beton 19 MPa                       | 21.00            | 0.0538                  |
| Beton 22 MPa                       | 23.47            | 0,0672                  |
| Beton 23 MPa                       | 23.67            | 0.0674                  |
| Beton 25 MPa                       | 23.80            | 0.0629                  |

### D.3 Evaluasi Pola Retak

Pola retak lentur pada balok umumnya terjadi pada bagian lento yaitu pada bagian bawah balok dikarenakan pada bagian ini merupakan daerah sisi tarik balok.

#### D.3.1 Pola retak elemen balok T *curved tile* semi pracetak dengan mutu beton *Cast In Place* 15 MPa

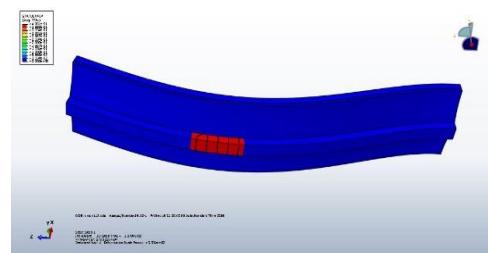
Hasil analisis elemen hingga *nonlinier* pada elemen balok *curved tile* semi pracetak dengan menggunakan mutu beton *cast in place* 15 MPa, balok tersebut menunjukkan bahwa retak pertama terjadi pada beban aksial 2094.77 N dengan lendutan 0.000198 m, berupa retak searah memanjang tulangan sengkang yang berada di daerah tarik balok T. Seiring dengan penambahan beban dapat dilihat terjadi retak pada daerah bawah balok T kearah atas balok T, retakan selanjutnya merupakan perpanjangan retak sebelumnya dan seiring dengan pertambahan beban semakin melebar dan menambah retakan baru berupa retak lentur pada daerah bawah balok T. Pola Pola penjalaran retak pada bagian balok T dapat dilihat pada Gambar 21



Gambar 20 Pola Retak Balok T Semi Pracetak dengan mutu beton *cast in place* 15 MPa

#### D.3.2 Pola retak elemen balok T *curved tile* semi pracetak dengan mutu beton *cast in place* 19 MPa

Hasil analisis elemen hingga *nonlinier* pada balok T semi pracetak dengan menggunakan mutu beton *cast in place* 19 MPa, kolom tersebut menunjukkan bahwa retak pertama terjadi pada beban aksial 2094.77 N dengan lendutan 0.000198 m, berupa retak searah memanjang tulangan sengkang yang berada di daerah tarik balok T. Seiring dengan penambahan beban dapat dilihat terjadi retak pada daerah bawah balok T kearah atas balok T, retakan selanjutnya merupakan perpanjangan retak sebelumnya dan seiring dengan pertambahan beban semakin melebar dan menambah retakan baru berupa retak lentur pada daerah bawah balok T. Pola Pola penjalaran retak pada bagian balok T dapat dilihat pada Gambar 21

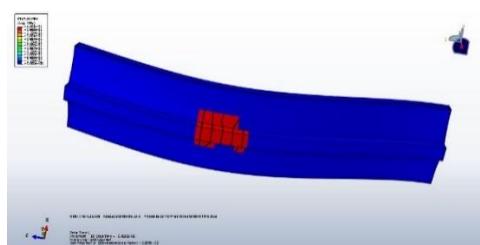


Gambar 21 Pola Retak Balok T Semi Pracetak dengan Mutu Beton *cast in place* 19 MPa

### D.3.3 Pola retak balok T *curved tile* semi pracetak dengan mutu beton *cast in place* 22 MPa

Hasil analisis elemen hingga *nonlinier* pada balok T semi pracetak dengan menggunakan mutu beton *cast in place* 22 MPa, balok T *curved tile* tersebut menunjukkan bahwa retak pertama terjadi pada beban aksial 2130.55 N dengan lendutan 0,000188 m, berupa retak searah memanjang tulangan sengkang yang berada di daerah tarik balok T. Seiring dengan penambahan beban dapat dilihat terjadi retak pada daerah bawah searah memanjang tulangan sengkang balok T, retakan selanjutnya merupakan perpanjangan retak sebelumnya dan seiring dengan pertambahan beban semakin melebar dan menambah retakan baru berupa retak lentur pada daerah tarik balok T.

Penjalaran retak lentur terjadi sebagian besar sepanjang balok T pada daerah tarik balok. Pola penjalaran retak pada bagian balok T dapat dilihat pada Gambar 22

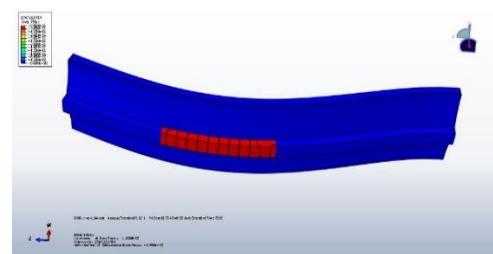


Gambar 22 Pola Retak Balok T Semi Pracetak dengan Mutu Beton *cast in place* 22 MPa

### D.3.4 Pola retak elemen balok T *curved tile* semi pracetak dengan mutu beton *cast in place* 20 MPa

Hasil analisis elemen hingga *nonlinier* pada elemen balok T *curved tile* semi pracetak dengan menggunakan mutu beton *cast in place* 20 MPa, balok T tersebut menunjukkan bahwa retak pertama terjadi pada beban aksial 2301.00 N dengan lendutan 0,000211 m, berupa retak searah memanjang tulangan sengkang yang berada di daerah tarik

balok T. Seiring dengan penambahan beban dapat dilihat terjadi retak pada daerah bawah searah memanjang tulangan sengkang balok T, retakan selanjutnya merupakan perpanjangan retak sebelumnya dan seiring dengan pertambahan beban semakin melebar dan menambah retakan baru berupa retak lentur pada daerah tarik balok. Penjalaran retak lentur terjadi sebagian besar sepanjang bagian bawah balok T pada daerah tarik balok. Retak yang terjadi pada lentur membuat beton menjadi terbelah seiring pertambahan beban. Pola penjalaran retak pada bagian bawah kolom dapat dilihat pada Gambar 23.

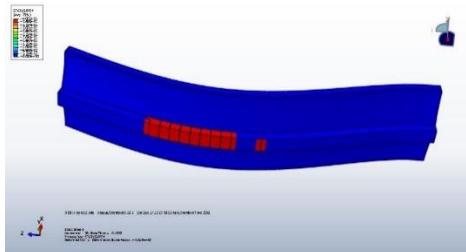


Gambar 23 Pola Penjalaran Retak Balok T Semi Pracetak dengan Mutu Beton *cast in place* 23 MPa

### D.3.5 Pola retak elemen balok T *curved tile* semi pracetak dengan mutu beton *cast in place* 25 MPa

Hasil analisis elemen hingga *nonlinier* pada elemen balok T *curved tile* semi pracetak dengan menggunakan mutu beton *cast in place* 25 MPa, balok T tersebut menunjukkan bahwa retak pertama terjadi pada beban aksial 3142.23 N dengan lendutan 0,000290 m, berupa retak searah memanjang tulangan sengkang yang berada di daerah tarik balok. Seiring dengan penambahan beban dapat dilihat terjadi retak pada daerah bagian bawah searah memanjang tulangan sengkang balok T, retakan selanjutnya merupakan perpanjangan retak sebelumnya dan seiring dengan pertambahan beban semakin melebar dan menambah retakan baru berupa retak lentur pada daerah tarik balok T.

Penjalaran retak lentur terjadi sebagian besar sepanjang bagian bawah balok T atau pada daerah tarik balok. Retak yang terjadi pada lentur membuat beton menjadi terbelah seiring pertambahan beban. Pola penjalaran retak pada bagian balok T dapat dilihat pada Gambar 24



Gambar 24 Pola Penjalaran Retak Balok T Semi dengan Mutu Beton *cast in place* 25 MPa

#### D.3.6 Hasil analisis beban lendutan manual menurut SNI 03-2847-2002

Berdasarkan hasil dari analisis manual dapat diketahui hubungan antara beban dan lendutan yang terjadi pada elemen balok T *curved tile* dengan kondisi retak pertama, dari perhitungan  $P_{crack}$  pertama tidak berbeda jauh dengan hasil analisis oleh software elemen hingga dan lendutan saat terjadi *crack* pertama hampir mendekati hitungan manual yang dilakukan berdasarkan SNI 02-2847-2002 perhitungan dapat dilihat pada lampiran. Berikut adalah hasil  $P_{crack}$  dan lendutan pertama pada Tabel 8

Tabel 8 Perbandingan Nilai  $P_{crack}$  Perhitungan Manual

| Model Balok T <i>Curved Tile</i> Semi Pracetak | $P_{crack}$<br>(N) | Lendutan<br>(m) |
|--|--------------------|-----------------|
| Beton Pracetak 15 Mpa                          | 2117.54            | 0,001035        |
| Beton Pracetak 19 MPa                          | 2383.21            | 0,001035        |
| Beton Pracetak 22 MPa                          | 2564.40            | 0,001035        |
| Beton Pracetak 23 MPa                          | 2622.00            | 0,001035        |
| Beton Pracetak 25 MPa                          | 2733.73            | 0,001035        |

#### D.4 Pola Keruntuhan

Dari pengamatan pola retak yang

terjadi pada *software* elemen hingga maka keruntuhannya dapat dikategorikan sebagai keruntuhan lentur, retak yang terjadi didominasi oleh adanya retak arah vertikal sepanjang tulangan sengkang. Pola retak terjadi di daerah yang mengalami momen terbesar pada balok T. Pada awalnya muncul retak dalam arah vertikal yang diindikasi sebagai retak lentur, dengan pertambahan beban muncul retak yang lebih panjang pada bawah balok.

### E KESIMPULAN DAN SARAN

#### E.1 Kesimpulan

1. Semakin meningkat penggunaan mutu *cast in place* yang digunakan maka kekuatan elemen balok T *curved tile* semi pracetak semakin kuat. Hal ini dibuktikan dengan melakukan pemodelan elemen Balok T *curved tile* semi pracetak di *software* elemen hingga dengan menggunakan mutu beton *Cast in place* 15 MPa, 19 MPa, 22 MPa, 23 MPa dan 25 MPa. Perbandingan mutu beton *cast in place* tersebut terhadap beban aksial ( $P_{maks}$ ) yang bekerja pada elemen balok T *curved tile* semi pracetak berturut-turut adalah 20,51 kN, 21,00 kN, 23,47 kN, 23,67 kN dan 23,80 kN.
2. Kekakuan elemen balok T *curved tile* semi pracetak meningkat seiring dengan peningkatan mutu beton *cast in place*-nya kecuali pada mutu beton 25 MPa mengalami penurunan akan tetapi penurunan tersebut tidaklah signifikan. Kekakuan Balok T semi pracetak dengan menggunakan mutu beton *cast in place* 15 MPa, 19 MPa, 22 MPa, 23 MPa dan 25 MPa berturut-turut adalah 369,456 kN/m, 346,534 kN/m, 309,631 kN/m, 311,447 kN/m dan 335,684 kN/m.
3. Momen dan kelengkungan pada elemen balok T *curved tile* semi pracetak Meningkat seiring dengan kenaikan mutu beton *cast in place*.

- Momen yang terjadi pada elemen balok T *curved tile* semi pracetak dengan variasi mutu beton *cast in place* 15 MPa, 19 MPa, 22 MPa, 23 MPa dan 25 MPa berturut-turut adalah 20.51 kNm, 21.00 kNm, 23.47 kNm, 23.67 kNm dan 23.80 kNm.
4. Retak yang terjadi pada elemen balok T *curved tile* semi pracetak hasil analisis elemen hingga dengan mutu beton pracetak 15 MPa, 19 MPa, 22 MPa, 23 MPa dan 25 MPa adalah retak lentur yang terjadi di daerah momen lentur terbesar dan memperlihatkan pola retak yang searah tulangan sengkang pada sisi tarik balok
- ## E.2 Saran
1. Penelitian ini hanya menganalisis pengaruh peningkatan mutu beton *cast in place* pada elemen balok T *curved tile* semi pracetak akibat beban aksial. Oleh sebab itu disarankan untuk studi selanjutnya analisis dilakukan untuk Kolom semi pracetak dan pelat semi pracetak sehingga perilaku kekuatan struktur gedung yang menggunakan sistem semi dapat diketahui lebih detail.
  2. Dalam penelitian ini analisis terbatas terhadap perilaku kekuatan elemen Balok T *curved tile* semi pracetak akibat akibat beban aksial sehingga diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat menganalisis daktilitas dan lainnya.
- ## DAFTAR PUSTAKA
- Amri, F. (2016). *Analisis Perilaku Kekuatan Kolom Semi Pracetak Akibat Beban Aksial dan Beban Lateral*, 3.
- Armeyn. (2012). *Analisa dan Kajian Hubungan Momen Kurvatur pada Balok Beton Bertulang*, 12(1).
- Asri, R. (2015). *Studi Perilaku Tekuk Torsi Lateral pada Balok Baja Bangunan Gedung dengan Menggunakan Program Abaqus*
- 6.7. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, 1, 1–17.
- Fitrah Nur, O. (2009). *Analisa Pengaruh Penambahan Tulangan Tekan Terhadap Daktilitas Kurvatur Balok Beton Bertulang*, 5(1), 23–34.
- Gumilang Jati, D. (2013). *Analisis Lentur Pelat Satu Aarah Beton Bertulang Berongga Bola Menggunakan Metode elemen Hingga Non Linier*, 7(KoNTekS 7), 24–26.
- Hsu, T. T. C., & Mo, Y. L. (2010). *Unified Theory of Concrete Structure*. (J. Willey, Ed.) (1st ed.). university of houston, USA: wiley.
- Irwanto, A. (2009). *Pemodelan Respons Non-Linear Material Beton Akibat Beban Aksial dengan Menggunakan Software Berbasis Finite Element Analysis*, 1-15
- Juniawan, A., & Andrian, M. (2007). *Pengujian Elemen Cangkang yang Terdapat dalam Program Komersial dengan Analisis Llinier dan Nonlinier Geometri*, 1–6.
- Karolina, R. (2008). *Analisa dan Kajian Eksperimental Hubungan Momen-Kurvatur pada Balok Beton Bertulang*. universitas sumatra utara.
- Michał, S., & Andrzej, W. (2015). *Calibration of the CDP model parameters in Abaqus*.
- Park, R., & Paulay, T. (1975). *Reinforced Concrete Structure* (third). canada: library of congress cataloging.
- Puluhulawa, I. (2015). *Kapasitas Lentur Perkuatan Pelat Beton Bertulang menggunakan Kabel Baja dan Mortar*, 5(April), 69–77.
- Putra, A. (2009). *Tinjauan Kuat Lentur Plat Lantai dengan Bahan Tambah Zeolit menggunakan Tulangan Wire mesh*.
- Rikardo, pakpahan yogi. (2002). *Analisa Lendutan Balok Beton Bertulang Dengan Variasi Diameter Tulangan Berbeda Dan Letak Tulangan Berbeda Namun Luas*

- Penampang Tetap Sama dengan Cara Teoritis dan Simulasi Program FEA, 1–9.*
- Sagita, J. (2016). *Plat Lantai Pracetak dengan Beton Ringan, 15(1).*
- Sien, B., & Tjondro, A. (2013). *Uji Eksperimental Kuat Lentur Balok dan Pelat Beton Bertulang dengan agragat Kasar dan Halus Beton Daur Ulang.*
- SNI 03-2847-2002. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (Beta Version).* BSN
- Sumargo. (2008). *Pengujian Ketahanan Api Pelat Lantai Sandwich Beton-Polystyrene-Beton.*
- Sümer, Y., & Aktaş, M. (2015). *Defining Parameters for Concrete Damage Plasticity Model, 1(3), 149–155.*
- Syahril, S. (2014). *Perilaku Lentur Balok Styrofoam Menggunakan Sistem Tulangan Rangka.* universitas hasanuddin.
- Thedy, J. (2010). *Analisa Pengaruh Penggunaan Pengaku Vertikal Terhadap Perilaku Tekuk Torsi Lateral pada Balok Baja Berbentuk H Dibawah Pengaruh Momen Kurvatur Ganda dengan Menggunakan Abaqus.*
- Tjitradi, D. (2002). *Visualisasi dan Analisis Keruntuhan Balok Beton Bertulang Menggunakan Ansys, 1–11.*
- Wahalathantri. (2011). *A Material Model for Flexural Crack Simulation In Reinforce Concrete Element Using Aabaqus.*
- Wikana, I., & Widayat, Y. (2007). *Tinjauan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang dengan Lapisan Mutu Beton yang Berbeda, 1–19.*