

ANALISIS NUMERIK KUAT LENTUR DAN POLA RETAK BALOK T SEMI PRACETAK

Koko Putra Ariadi¹⁾, Ismeddiyanto²⁾, Reni Suryanita²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

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

Email : koko.putra@student.unri.ac.id

Abstract

Semi precast reinforced concrete (RC) used as an alternative in developing infrastructure is an excellent innovation, because of the advantages of this system can significantly reduced cost and construction time. Semi precast reinforced concrete (RC) beam is a combination of precast concrete which consists of the support beam and curve tile with the cast in place concrete. The elements are applied as a T-beam because of the interaction between the plates and the beams become unity. The study aims to identify the effect of the support beam and curve tile on the T-beam towards load-deflection relationship, curvature-moment and crack pattern caused by pure bending moments. The results showed that the load attained from finite element analysis was 56,664 kN while the load attained from strip method was 56,810 kN. Meanwhile, the stiffness value of finite element analysis was 1,206 kN/mm while the load attained from strip method was 1,210 kN/mm. The collapsed pattern on the T-beam analyzed by using Extended Finite Element Method (XFEM) was a pure bending crack at the most significant bending moment region. The crack pattern showed the crack on the tension side of the beam in the direction of the stirrups.

Keywords : T-Beam, Semi Precast, FEA, Abaqus CAE, Bending Moment, Curve Tile

A. PENDAHULUAN

Struktur beton semi pracetak / komposit didefinisikan sebagai elemen beton pracetak atau beton cor di tempat, atau keduanya, yang dibuat dengan pengecoran terpisah tetapi disambung satu sama lain sedemikian sehingga semua elemen bereaksi terhadap beban sebagai satu kesatuan (SNI 03-2847-2013).

Struktur beton pracetak dapat dibuat dalam bentuk struktur lengkung sesuai dengan cetakannya. Struktur lengkung sendiri telah banyak digunakan dalam bidang Teknik Sipil. Menurut Pranata (2015), struktur lengkung memiliki kemampuan mendistribusikan gaya tekan yang diterima dengan baik. Hal ini sesuai dengan kemampuan beton yang lebih kuat menahan gaya tekan dibandingkan gaya tarik.

Pada sistim yang diteliti menggunakan *support beam*, *curve tile* dan beton cor di tempat yang diaplikasikan sebagai balok T karena adanya interaksi antara pelat dan balok-balok yang menjadi satu kesatuan. Kuat lentur pada balok T pada sistim ini dianalisis menggunakan metode pias. Maka perlu dikaji lebih lanjut seberapa besar pengaruh tiap

elemen tersebut terhadap kuat lentur, menggunakan teori-teori yang sudah ada. Karakteristik atau perilaku beton pada umumnya diperoleh dari pengujian eksperimental di laboratorium. Namun demikian semua informasi belum tentu didapatkan karena keterbatasan alat dan metode pengujian. Seiring dengan majunya perkembangan teknologi komputer, studi numerik menjadi salah satu cara untuk mendapatkan informasi yang tidak dapat diperoleh dari studi eksperimental dan salah satu metode numerik yang digunakan adalah metode elemen hingga (*finite element method*).

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Beton Semi Pracetak

Berbagai metode telah dikembangkan dalam pembuatan sistim lantai bangunan gedung yang bertujuan antara lain untuk mempercepat pelaksanaan, mengurangi penggunaan kayu namun tetap memperhatikan biaya dan kualitas. Salah satunya adalah penggunaan beton semi pracetak. Beton semi

pracetak atau *Hybrid Concrete Construction* (HCC) adalah sistim struktur yang elemen-elemennya merupakan perpaduan dari beton pracetak dan beton cetak di tempat atau cast in place (Teissier dan Berger, 2015).

B.2 Konsep Balok T

Balok tampang T adalah balok bukan segi empat yang paling sering digunakan. Ini disebabkan karena *flange* yang dicor monolit dengan balok memberi kontribusi kekuatan dan kekakuan pada balok (Nawy, 1990).

Persyaratan daktilitas balok T sama dengan yang disyaratkan bagi balok persegi dimana rasio tulangan maksimum tidak boleh lebih besar dari $0,75 \rho_{min}$ bentuk balok T memberikan daerah tekan khusus yang cenderung lebih luas. Pada proses analisis harus diketahui terlebih dahulu bentuk blok tegangan tekan. Seperti halnya pada analisis balok persegi. Dengan demikian terdapat dua kemungkinan keadaan yang akan terjadi blok tegangan tekan seluruhnya masuk di dalam daerah *flens* yang disebut analisis balok T persegi dengan lebar *flange* efektif b_f dilakukan analisis sama seperti balok persegi dengan lebar b_f (lebar *flange*), atau blok tekan meliputi seluruh daerah *flange* ditambah sebagian lagi masuk di *web* yang disebut analisis balok T murni dengan memperhitungkan blok tegangan tekan mencakup daerah kerja berbentuk T (Dipohusodo, 1996).

B.3 Momen dan Kelengkungan

Pada struktur elastis linier, hubungan momen lentur (M) dengan parameter kelengkungan (ϕ), dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$\phi = \frac{M}{EI} \quad (1)$$

dengan: ϕ = Kurvatur (1/m)

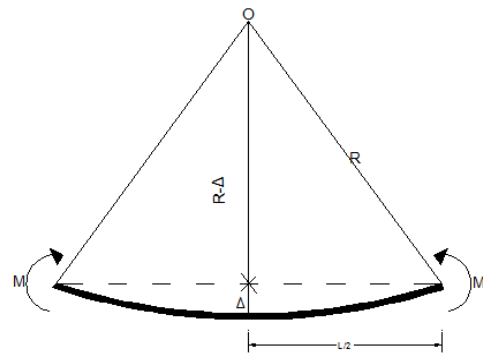
M = Momen (Nm)

E = Modulus Elastisitas (MPa)

I = Inersia Penampang (mm^4)

Data yang diperoleh dari pengujian berupa nilai lendutan (δ) yang terjadi pada tengah tinggi kolom dapat dihitung besarnya

jari-jari kelengkungan (R), seperti terlihat pada Gambar 1. sebagai berikut:



Gambar 1. Lendutan akibat beban

Sumber: Park and Paulay (1975)

Dari Gambar 1. dapat dihitung jari-jari kelengkungan (R), sehingga *curvature* (ϕ) balok adalah:

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

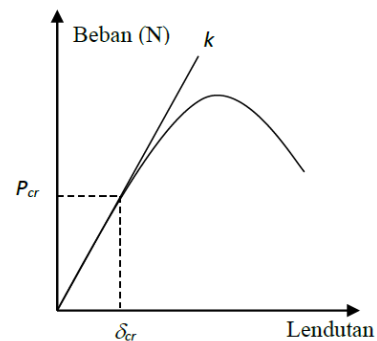
dengan: ϕ = Kurvatur (1/m)

L = Panjang bentang (m)

δ = Lendutan (m)

B.4 Kekakuan Teoritis

Nilai kekakuan merupakan kemiringan garis dari hubungan antara beban dan lendutan seperti Gambar 2. Berikut.



Gambar 2. Pendekatan Nilai Kekakuan

Sumber: Ramadanas (2016)

Besaran kekakuan suatu bahan adalah modulus elastisitasnya yang didapat dengan membagi tegangan satuan yang diterima bahan dengan perubahan satuan bentuk bahan tersebut. Sehingga didapat rumus:

$$K = \frac{P}{\delta} \quad (3)$$

dengan : K = Kekakuan (N/mm)

P = Beban (N)

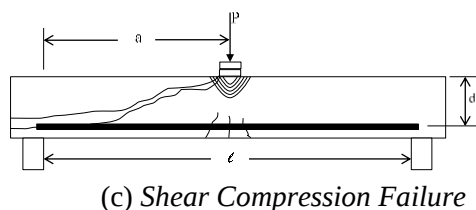
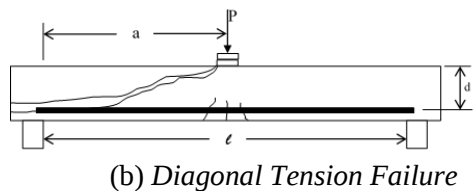
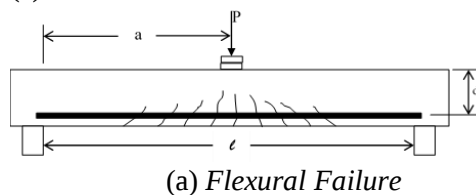
δ = Lendutan (mm)

B.5 Pola Retak dan Jenis Keruntuhan Pada Balok

Pada balok langsing cenderung terjadi ragam keruntuhan lentur seperti ditunjukkan pada Gambar 3 (a). Pada daerah yang mengalami keruntuhan lentur, retak terutama terjadi pada sepertiga tengah bentang dan tegak lurus terhadap arah tegangan utama.

Keruntuhan tarik diagonal terjadi apabila kekuatan balok arah diagonal tarik lebih kecil dari kuat lenturnya seperti terlihat pada Gambar 3 (b). Retak dimulai terjadi ditengah bentang berarah vertikal yang berupa retak halus dan diakibatkan oleh lentur.

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 ditunjukan pada Gambar 3 (c).



Gambar 3. Ragam Keruntuhan Balok
Sumber: G. Nawy (1990)

B.6 Finite Element Analysis

Salah satu program bantuan FEM adalah Abaqus/CAE (*Complete Abaqus Enviroment*) yang merupakan sebuah aplikasi komputer dengan lisensi dari Abaqus Inc. Abaqus/CAE merupakan sebuah program yang dapat digunakan untuk memodelkan dan menganalisis komponen mekanis dan *assemblies* serta dapat untuk menampilkan hasil dari analisis (*Abaqus User's Manual*, 2010).

Software Abaqus menyediakan program yang digunakan untuk memodelkan benda yang akan dianalisis yang diberi nama ABAQUS CAE. Seperti kebanyakan program komputer yang banyak tersedia di pasaran, Abaqus mempunyai fasilitas CAD/CAM/CAE yang bisa difungsikan sebagai program analisis elastis dan plastis. Pengembangan bahasa program dalam ABAQUS memungkinkan para desainer lebih mudah dalam memilih metode yang digunakan dalam melakukan proses simulasi dan analisis (Hastomo, 2009).

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Data Spesifikasi Perencanaan Balok T

Tahap awal dalam pembuatan elemen dianalisis adalah mengumpulkan data spesifikasi balok T. Kemudian menyesuaikannya dengan masing-masing dimensi elemen penyusun balok. Adapun spesifikasi tiap elemen dapat dilihat pada Tabel 1., Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 1. Spesifikasi *Support Beam*

Spesifikasi	Ukuran
Dimensi (mm)	100 x 60
Panjang (mm)	3000
Mutu Beton (MPa)	20
Diameter Tulangan Longitudinal	12
Jumlah Tulangan Longitudinal	3
Diameter Tulangan Sengkang	6

Tabel 2. Spesifikasi *Curve Tile*

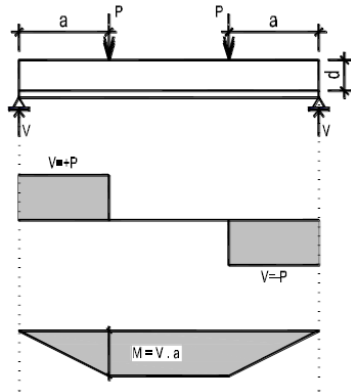
Spesifikasi	Ukuran
Lebar (mm)	530
Tebal (mm)	20
Panjang (mm)	3000
R1 (mm)	535
R2 (mm)	635
R3 (mm)	735

Tabel 3. Spesifikasi Beton *Cast in Place*

Spesifikasi	Ukuran
Tebal (mm)	120
Panjang (mm)	3000
Lebar (mm)	600
Mutu Beton (MPa)	17

C.2 Analisis Pembebanan

Pembebanan yang diaplikasikan pada model berupa dua beban yang sama. Beban aksial yang diberikan berdasarkan kuat aksial tekan nominal yang sesuai dengan luas penampang, beban terpusat yang akan diberikan pada 1/3 panjang bentang. Beban yang akan diberikan yaitu secara bertahap sampai elemen pelat lantai hancur, berikut adalah model pembebanan pada Gambar 4.



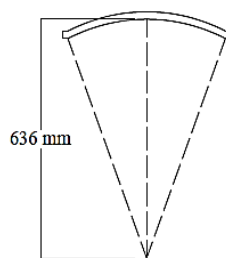
Gambar 4. Pemodelan Pembebanan

C.3 Pemodelan Software Abaqus 6.14

Pada tahap ini dilakukan pemodelan dan input data propertis material tiap elemen baik beton maupun baja tulangan yang digunakan dengan software Abaqus 6.14.

Curve Tile

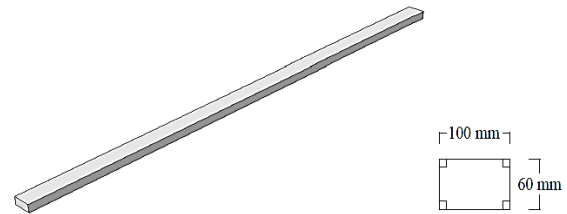
Curve tile pracetak dibuat cembung dan berguna sebagai bekisting beton cast in place. Potongan curve tile yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Potongan Curve Tile Pracetak

Balok Pendukung/Support Beam

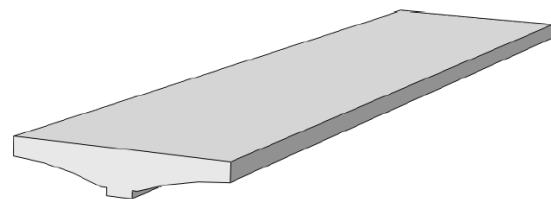
Support Beam adalah balok pendukung yang berfungsi sebagai penyangga curve tile. Jarak antara support beam yang dipasang sebesar 600 mm. Adapun model 3D support beam dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Model Support Beam

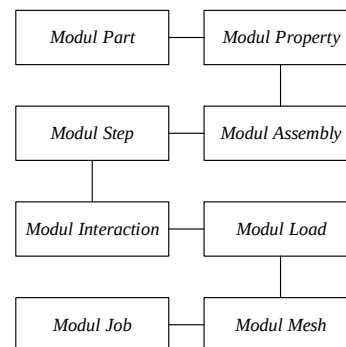
Beton Cast in Place

Beton cor di tempat merupakan beton ready mix yang dicor di atas curve tile dan support beam dengan tebal 120 mm dari permukaan support beam. Adapun model 3D beton dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Model Beton Cast in Place

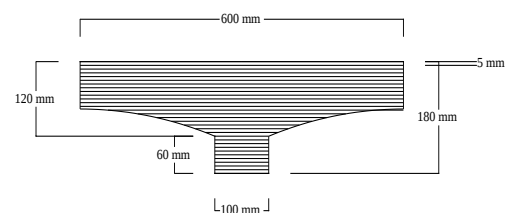
Adapun prosedur pembuatan elemen balok T dengan software Abaqus dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Prosedur Pemodelan Abaqus

C.4 Analisis Metode Pias

Analisis kuat lentur balok secara teoritis dapat dihitung berdasarkan metode pias dengan bantuan software microsoft excel. Adapun potongan penampang balok T yang dianalisis menggunakan metode pias dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Pias Penampang Balok T

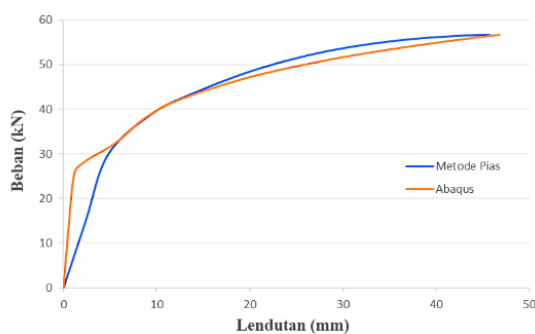
Tebal tiap pias adalah sebesar 5 mm yang dibagi dari permukaan balok hingga bagian bawah balok.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tipe balok T yang dianalisis memiliki tiga tipe, dimana tipe balok T ini memiliki perbedaan dari segi jari-jari curve tile, dimana setiap jari-jari tipe balok T ini mengalami peningkatan sebesar 100 mm pada setiap tipenya.

D.1 Hubungan Beban dan Lendutan Beban dan Lendutan

Berdasarkan hasil simulasi pemodelan elemen hingga balok T *curved tile* semi pracetak menggunakan *software* elemen hingga dan metode pias diperoleh grafik hubungan beban aksial (P) dan lendutan ($\Delta/displacement$) masing-masing elemen balok T. Adapun perbandingan grafik setiap analisis elemen dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Beban-Lendutan Metode Elemen Hingga dan Pias

Berdasarkan nilai hasil perbandingan beban dan lendutan keseluruhan pada grafik secara rinci dapat dilihat dalam Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Nilai P_{maks} dan Lendutan

Analisis	P_{maks} (kN)	Lendutan (mm)
Elemen Hingga	56,664	46,817
Metode Pias	56,810	47,121

Berdasarkan Tabel 4. diketahui bahwa model balok T dengan beban maksimum terbesar terjadi pada analisis menggunakan metode pias. Adapun besar beban maksimum

yang terjadi dengan analisis elemen hingga dan metode pias adalah sebesar 56,664 kN dan 56,810 kN. Nilai beban aksial dan lendutan balok T menunjukkan bahwa grafik setelah leleh menuju ultimit, hal ini disebabkan *typical* grafik pemodelan material tulangan *software* elemen hingga yaitu tipe *planar* yang memiliki *trendline* lurus setiap kenaikan tegangan lelehnya.

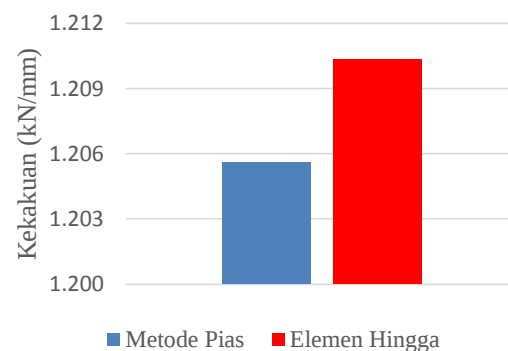
Kekakuan

Kekakuan dapat dihitung melalui beban aksial dan lendutan yang terjadi pada balok T. Perbandingan kekakuan elemen balok T semi pracetak dengan metode elemen hingga dan metode pias dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Nilai Kekakuan Balok T

Analisis	Kekakuan (kN/mm)
Elemen Hingga	1,210
Metode Pias	1,206

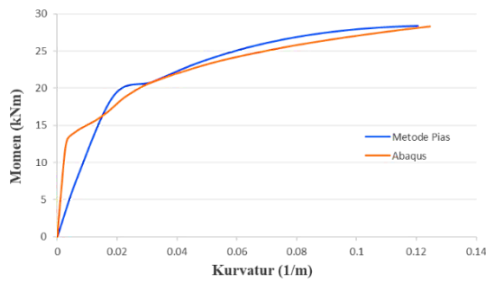
Nilai-nilai kekakuan di atas diambil berdasarkan nilai beban dan lendutan dititik tengah balok T semi pracetak. Nilai kekakuan balok T semi pracetak dengan analisis elemen hingga lebih rendah dari analisis metode pias. Perbedaan nilai kekakuan balok T semi pracetak secara visual dapat terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Perbandingan Kekakuan Balok T Semi Pracetak

D.2 Momen dan Kelengkungan

Berdasarkan hasil simulasi pemodelan elemen hingga Balok T semi pracetak menggunakan *software* elemen hingga diperoleh grafik hubungan beban aksial dan lendutan (*displacement*) (P vs Δ), sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Grafik Perbandingan Momen-Kelengkungan

Nilai hasil perbandingan momen dengan kelengkungan secara rinci dapat dilihat dalam Tabel 6.

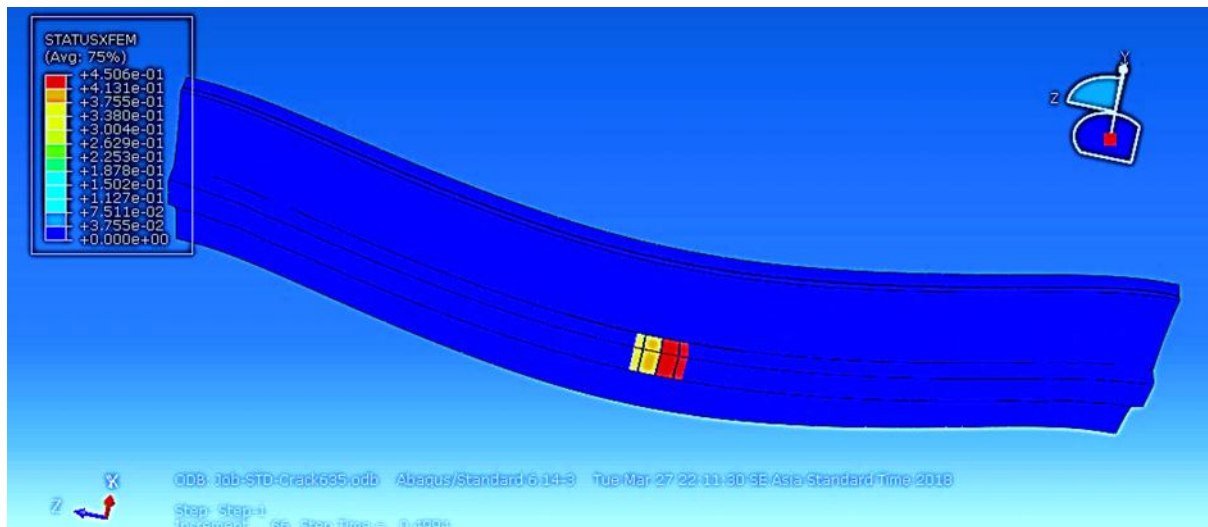
Tabel 6. Perbandingan Nilai Momen – Kelengkungan

Analisis	M_{maks} (kNm)	Kurvatur (1/m)
Elemen Hingga	28,073	0,119
Metode Pias	28,405	0,126

D.4 Pola Retak pada Balok T

Pola retak pada balok yang dianalisis terjadi pada daerah tarik balok T dan umumnya terjadi pada arah transversal searah tulangan sengkang. Pada analisis yang dilakukan dengan *software* Abaqus keruntuhan yang dapat dilihat adalah keruntuhan yang terjadi saat beban maksimum yang menyebabkan balok runtuh. Visualisasi setelah beban maksimum terjadi tidak dapat ditampilkan karena Abaqus tidak dapat menganalisis model elemen yang telah hancur.

Hasil analisis pada elemen balok T menunjukkan beban maksimum yang menyebabkan balok runtuh adalah 2.445,01 N dengan lendutan 1,163 mm. Retak yang terjadi searah memanjang tulangan sengkang yang berada di daerah tarik balok T. Retak yang ditimbulkan pada elemen balok T *curved tile* semi pracetak terdapat pada bagian bawah balok T, yaitu di bagian tengah bentang. Retak ini disebabkan oleh gaya lentur murni yang bekerja pada bidang tersebut. Adapun secara visual pola runtuh yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Pola Retak pada Balok T dengan XFEM (*Extended Finite Element Method*)

E KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

1. Beban dan lendutan maksimum dengan metode pias lebih besar dari metode elemen hingga, yaitu 56,810 kN dan 56,664 kN.
2. Sedangkan nilai kekakuan elemen balok T dengan metode pias lebih kecil dari analisis elemen hingga, yaitu 1,206 kN/mm dan 1,210 kN/mm.
3. Nilai momen dan kelengkungan pada elemen balok T dengan metode pias lebih besar dari analisis elemen hingga, yaitu 28,405 kNm dan 28,073 kNm.
4. Pola keruntuhan pada balok T dengan analisis XFEM (*extended finite element method*) adalah retak lentur murni yang terjadi di daerah momen lentur terbesar. Pola runtuh memperlihatkan retak pada sisi tarik balok searah tulangan sengkang.

E.2 Saran

1. Penelitian ini hanya menganalisis kuat lentur dan pola retak pada balok T akibat beban aksial. Oleh sebab itu disarankan untuk studi selanjutnya analisis dilakukan dengan beban yang lebih kompleks sehingga perilaku kekuatan struktur yang menggunakan sistem semi pracetak dapat diketahui lebih detail.
2. Pada penelitian ini analisis terbatas terhadap perilaku elemen balok T pada satu program FEM, yaitu Abaqus 6.14. Oleh karena itu, disarankan untuk menggunakan program seperti *Respon 2000* maupun program sejenis untuk dapat melihat perbandingan atau sebagai kontrol dari kesalahan suatu program.

F. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standar Nasional Indonesia. (2013). SNI 03-2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
- Dipohusodo, I. (1996). Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03.
- Hastomo, B. (2009). Analisis Pengaruh Sifat Mekanik Material Terhadap Distribusi Tegangan Pada Proses *Deep Drawing* Produk *End Cup Hub Body Maker* dengan Menggunakan *Software* Oktober 2009.
- Nawy, E. G. (1990). *Prestressed Concrete*: A Fundamental Approach - 5th Edition.
- Park, R. dan Paulay, T. (1974). *Reinforced Concrete Structure*, A Wiley Interscience Publication, New York-London-Sydney-Toronto
- Pranata, Y. A. (2015). Perbandingan Lendutan Antara Analisis Metode Elemen Hingga dengan Pengujian Balok Lengkung pada Berbagai Variasi Mutu Beton.
- Ramadan, R.F. (2016). Analisis Numerik Kuat Lentur Elemen Balok T *Curved Tile* Semi Pracetak dengan Variasi Mutu Beton *Cast in Place*.
- Simulia. (2010). Abaqus 6.14/CAE (*Complete Abaqus Environment*) *User's Manual*.
- Teissier, V., & Berger, C. (2015). *Hybrid Concrete Construction (HCC)*: Maximising the Potential of Concrete by Combining Precast and In-Situ Concrete.