



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

SAINSTEK (e-Journal)

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



Artikel Penelitian

Analisis Numerik Kuat Lentur Balok *Support Beam Curve Tile* Beton Semi Pracetak Dengan Variasi Panjang Bentangan

Yoga Ormando^a, Ismeddiyanto^b, Iskandar Romey Sitompul^b

^a Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Bina Widya J. HR Soebrantas KM 12,5, Pekanbaru (28293), Indonesia

^b Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Bina Widya J. HR Soebrantas KM 12,5, Pekanbaru (28293), Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 18 Desember 2020

Revisi Akhir: 12 Februari 2020

Diterbitkan Online: 31 Desember 2020

KATA KUNCI

Semi Precast, Finite Element Analysis, Bending Moment, Support Beam

KORESPONDENSI

Telepon: 0822 6847 8617

E-mail: yoga.ormando5944@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Semi precast slab is a combination of precast concrete which consist of the support beam and curve tile with the cast in place concrete. During the working process, support beam will support the entire load until the slab becomes solid. The study aims to identify the effect of using variations of support beam length towards deflection-load relationship, moment-curvature, crack pattern and cross-sectional dimensions caused by pure bending moments with the same maximum load. The variations of the support beam length are $L = 3000$ mm, $L = 4000$ mm, $L = 5000$ mm and $L = 6000$ mm which can affect the cross-sectional dimensions of the support beam. The method used in this study was the numerical method by using Abaqus 6.14 CAE software. Abaqus is one of the finite element analysis (FEA) programs to model and analysis the elements of the structure. The loading applied was an axial load which has increased until the support beam failed. The numerical analysis results are the increase of cross section dimension as the increasing of support beam length. The cross-sectional dimension are 100 mm x 60 mm; 110 mm x 65 mm; 110 mm x 70 mm; and 115 mm x 75 mm. The maximum load (P_{maks}) was relative same while the support beam length increased are 1,52 kN; 1,53 kN; 1,53 kN and 1,55 kN. The collapse pattern on the support beam was a pure bending crack at the most significant bending moment region. The crack pattern showed the crack on the pull side of the beam in the direction of the stirrups.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan beton sistem pracetak dapat mengurangi bekisting yang digunakan dan waktu pengerjaan yang lebih efektif. Beberapa keuntungan sistem pracetak antara lain terkait dengan waktu, biaya, kualitas, *predictability*, keandalan, produktivitas, kesehatan, keselamatan, lingkungan, koordinasi, inovasi, *reusability*, serta *relocability* (Gibb, 1999).

Berbagai sistem struktur beton pracetak telah dikembangkan pada saat ini, salah satu diantaranya adalah beton semi pracetak. Struktur beton semi pracetak/komposit didefinisikan sebagai elemen beton pracetak dan beton cor di tempat yang dibuat dengan pengecoran terpisah tetapi disambung satu sama lain sedemikian sehingga semua elemen bereaksi terhadap beban sebagai satu kesatuan (SNI 03-2847-2013).

Sistem yang akan diteliti merupakan sistem plat lantai semi pracetak yang terdiri dari *support beam*, *curved tile*, dan beton *cast in place* di atasnya. Untuk

pengaplikasiannya *support beam* dan *curved tile* dirakit terlebih dahulu dengan menggunakan sedikit perancah. Setelah itu penulangan plat lantai dan pengecoran beton *cast in place*.

Selama proses pengerjaan sistem plat lantai semi pracetak *curved tile*, seluruh pembebanan ditopang oleh *support beam* hingga pelat lantai mengeras sampai umur rencana. Berdasarkan hal tersebut, pembebanan yang terjadi harus disesuaikan dengan kapasitas *Support beam* untuk menopang beban.

Support beam yang telah difabrikasi memiliki panjang bentangan tiga meter dan ukuran dimensi penampang 60 mm x 100 mm. Dalam pelaksanaannya di lapangan dibutuhkan panjang bentangan *support beam* yang bervariasi bahkan melebihi tiga meter tergantung struktur yang dibangun. Hal ini dapat membuat beton pracetak khususnya *support beam* kurang efektif untuk digunakan karena perlu penambahan alternatif lain seperti penambahan balok anak ataupun penggunaan perancah yang berlebihan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka dianalisis beton pracetak *support beam* dengan memvariasikan panjang bentangan. Penelitian ini akan mengkaji lebih lanjut seberapa besar pengaruh dari variasi panjang bentangan terhadap dimensi penampang dengan target memiliki nilai beban maksimum yang sama. Adapun penelitian ini didukung dengan menggunakan Program *finite element analysis* (FEA) serta teori-teori yang sudah ada.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton Semi Pracetak

Beton semi pracetak atau *Hybrid Concrete Construction* (HCC) adalah kombinasi dari *in-situ* dan *precast concrete*. Goodchild (1995) berpendapat bahwa *in-situ reinforced concrete* merupakan solusi paling mahal, sementara *precast concrete* menawarkan kecepatan dan kualitas. Sehingga solusi gabungan dari *in-situ* dan *precast concrete* memberikan potensi kecepatan, kualitas dan ekonomi yang lebih besar.

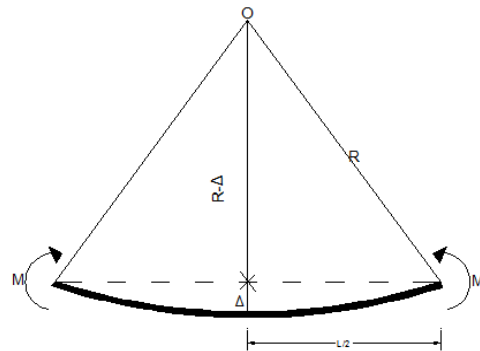
Pelat lantai bertingkat sederhana biasanya dikerjakan dengan sistem monolit yang memerlukan bekisting dan juga perancah. Salah satu cara yang diperkenalkan kepada masyarakat adalah menggunakan sistem semi pracetak. Dalam sistem ini struktur dibagi menjadi panel-panel kecil agar memungkinkan untuk dikerjakan tanpa bantuan alat berat (Widorini, 2014)

2.2. Momen dan Kelengkungan

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

$$\phi = \frac{M}{EI}$$

Data yang diperoleh dari pengujian kolom 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: (Nur, 2009)

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

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

dengan: ϕ = Kurvatur (1/m)
 L = Panjang bentang (m)
 δ = Lendutan (m)

2.3. Analisis Lentur Pada Balok

Menurut McCormac (2004) sebelum keruntuhan terjadi, balok mengalami tiga tahap yang berbeda. Tahap-tahap tersebut adalah tahap beton tanpa retak, tahap beton mulai retak dan tahap keruntuhan balok.

Pada beban-beban yang kecil ketika tegangan-tegangan tarik masih lebih rendah daripada modulus keruntuhan, seluruh penampang melintang balok menahan lentur, dengan tekan pada satu sisi dan tarik pada sisi lainnya. Untuk memperoleh perhitungan perkiraan tegangan lentur pada kondisi ini dijabarkan dengan persamaan berikut:

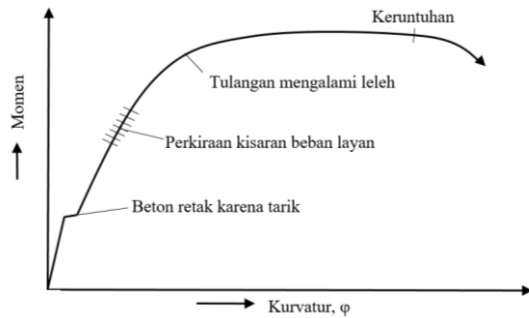
$$M_{cr} = \frac{f_r * I_g}{y_t}$$

Dimana:

M_{cr} = merupakan nilai momen retak
 f_r = modulus keruntuhan beton
 I_g = Momen inersia kotor
 y_t = titik berat penampang

Ketika beban terus ditambah sampai tegangan tekannya lebih besar daripada setngan f_c' retak tarik akan merambat lebih keatas, demikian pula sumbu netral, sehingga tegangan beton tidak berbentuk garis lurus lagi.

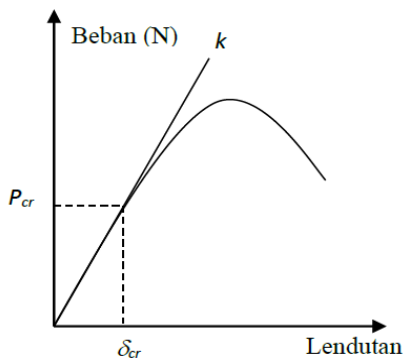
Untuk menggambarkan lebih jauh tentang tiga tahap perilaku balok, sebuah diagram momen-kurvatur diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Momen Kurvatur
Sumber : (McCormac, 2004)

2.4. Kekakuan Lentur

Nilai kekakuan merupakan kemiringan garis dari hubungan antara beban dan lendutan seperti Gambar 3. berikut.



Gambar 3. Pendekatan Nilai Kekakuan
Sumber : (Sulistyawati, 2008)

Menurut Sulistyawati (2008) kekakuan (*stiffness*) merupakan adalah ukuran tegangan yang dibutuhkan untuk mengubah satuan bentuk suatu bahan. 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:

$$K = \frac{P}{\delta}$$

dengan : K = Kekakuan (N/mm)

P = Beban (N)

δ = Lendutan (mm)

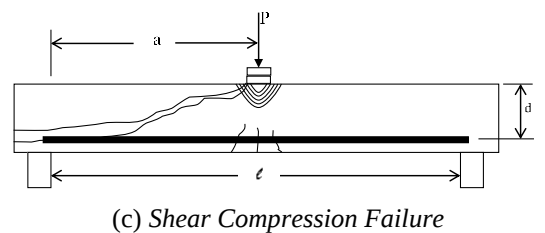
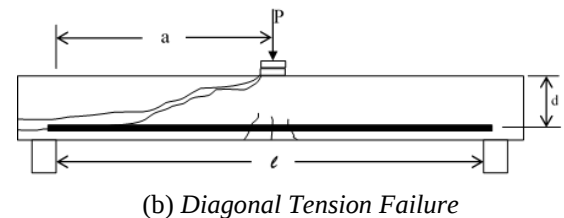
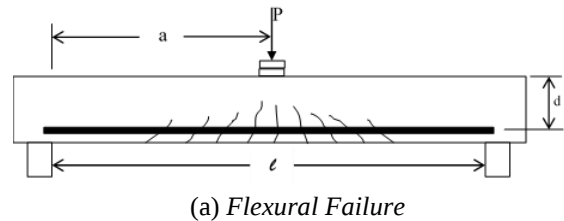
2.5. Pola Retak dan Jenis Keruntuhan Pada Balok

Pada balok langsing cenderung terjadi ragam keruntuhan lentur seperti ditunjukkan pada Gambar 4 (a) Pada daerah

yang mengalami keruntuhan lentur, retak terutama terjadi pada sepertiga tengah bentang dan tegak lurus terhadap arah tegangan utama. Balok langsing ini dapat didefinisikan dari rasio panjang rentan beban terpusat (a) terhadap tinggi efektif balok (d) dengan nilai $a/d > 5,5$.

Keruntuhan tarik diagonal terjadi apabila kekuatan balok arah diagonal tarik lebih kecil dari kuat lenturnya seperti terlihat pada Gambar 4 (b) Retak dimulai terjadi ditengah bentang berarah vertikal yang berupa retak halus dan diakibatkan oleh lentur. Keruntuhan tarik diagonal dapat dikatagorikan balok menengaah dengan rasio panjang rentan beban terpusat (a) terhadap tinggi efektif balok (d) benilai $2,5 < a/d < 5,5$.

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 4(c). Keruntuhan tekan geser dapat dikatagorikan balok tinggi dengan rasio panjang rentan beban terpusat (a) terhadap tinggi efektif balok (d) benilai $1 < a/d < 2,5$.



Gambar 4. Ragam Keruntuhan Balok
Sumber : (Nawy, 2001)

3. METODOLOGI

3.1. Pengumpulan Data Spesifikasi Perencanaan Support Beam

Pada penelitian ini, direncanakan dimensi *support beam* dan penulangan untuk setiap variasi panjang bentang. Untuk menemukan dimensi yang baru untuk setiap variasi

panjang bentangan dilakukan *trial and error* penampang dengan target setiap variasi *support beam* memiliki nilai beban lentur maksimum yang sama. Pelaksanaan *trial and error* penampang menggunakan kalkulasi metode pias, penggunaan metode ini dilakukan karena *support beam* merupakan balok *over reinforced*. Adapun daftar spesifikasi yang digunakan pada setiap variasi *support beam* yang telah di *trial* dan dimodelkan kembali dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 1 Spesifikasi Variasi 1

Spesifikasi	Ukuran
Dimensi (mm)	100 x 60
Panjang (mm)	3000
Mutu Beton (MPa)	20
Mutu Baja (MPa)	400
Diameter Tulangan Longitudinal (mm)	16
Jumlah Tulangan Longitudinal	2
Diameter Tulangan Sengkang (mm)	6
Spasi Tulangan Sengkang (mm)	200

Tabel 2 Spesifikasi Variasi 2

Spesifikasi	Ukuran
Dimensi (mm)	110 x 65
Panjang (mm)	4000
Mutu Beton (MPa)	20
Mutu Baja (MPa)	400
Diameter Tulangan Longitudinal (mm)	19
Jumlah Tulangan Longitudinal	2
Diameter Tulangan Sengkang (mm)	6
Spasi Tulangan Sengkang (mm)	200

Tabel 3 Spesifikasi Variasi 3

Spesifikasi	Ukuran
Dimensi (mm)	110 x 70
Panjang (mm)	5000
Mutu Beton (MPa)	20
Mutu Baja (MPa)	400
Diameter Tulangan Longitudinal (mm)	19
Jumlah Tulangan Longitudinal	2
Diameter Tulangan Sengkang (mm)	6
Spasi Tulangan Sengkang (mm)	200

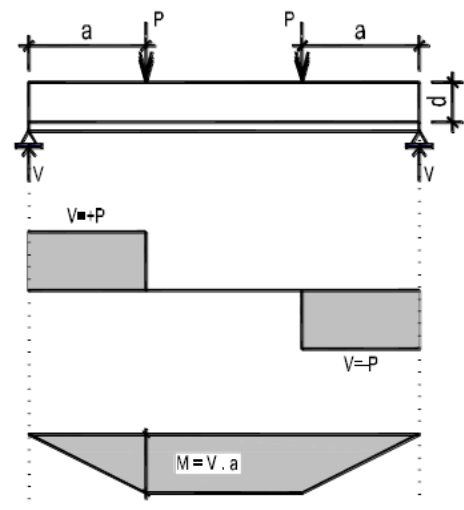
Tabel 4 Spesifikasi Variasi 4

Spesifikasi	Ukuran
Dimensi (mm)	110 x 70
Panjang (mm)	5000
Mutu Beton (MPa)	20
Mutu Baja (MPa)	400

Diameter Tulangan Longitudinal (mm)	19
Jumlah Tulangan Longitudinal	2
Diameter Tulangan Sengkang (mm)	6
Spasi Tulangan Sengkang (mm)	200

3.2. Analisis Pembebanan

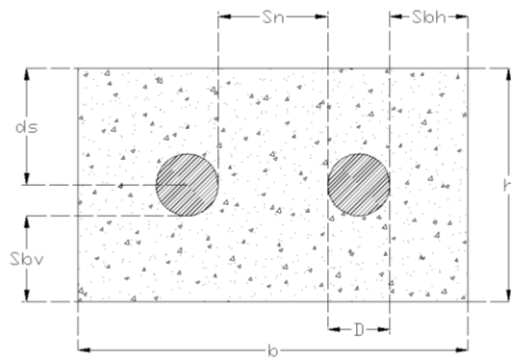
Pembebanan yang diaplikasikan pada model berupa dua beban yang sama. Beban aksial yang diberikan berdasarkan kuat aksial tekan nominal yang sesuai dengan luas penampang, beban terpusat yang akan diberikan pada 1/3 panjang bentang. Beban yang akan diberikan yaitu secara bertahap sampai elemen *support beam* hancur. Pembebanan dengan model dua buah titik pembebanan yang bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat lentur balok di tengah bentang. Hal ini dilakukan agar di tengah bentang tidak terjadi kombinasi pembebanan antara geser dan lentur, berikut adalah model pembebanan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pemodelan Pembebanan

3.3. Pemodelan Software Abaqus

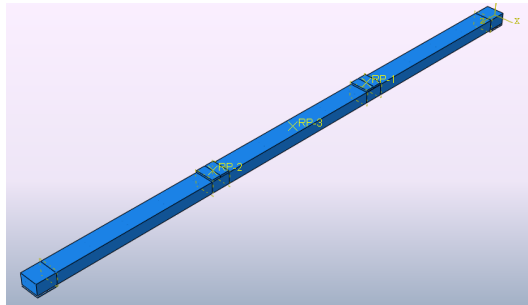
Pada tahap ini dilakukan pemodelan dan input data propertis material tiap elemen baik beton maupun baja tulangan yang digunakan dengan *software* Abaqus 6.14. Adapun model penampang *support beam* dan model 3D *support beam* dalam analisis dapat dilihat pada Gambar 6 dan gambar 7.



Gambar 6. Model Penampang Balok

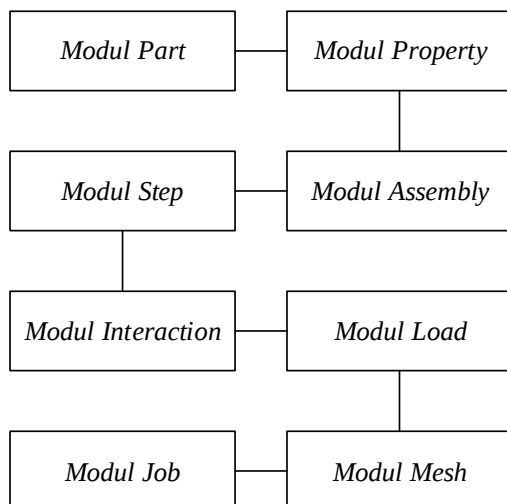
Dimana:

- b = Lebar balok
 h = Tinggi balok
 ds = Titik berat tulangan ke serat terluar
 Sbh = Tebal penutup beton mendatar
 Sbv = Tebal penutup beton vertikal
 Sn = Jarak bersih antara tulangan
 D = Diameter tulangan



Gambar 7. Model 3D Support Beam

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



Gambar 8. Prosedur Pemodelan Abaqus

3.4. Analisis Metode Pias

Analisis kuat lentur balok secara teoritis dapat dihitung berdasarkan metode pias dengan bantuan *software*

microsoft excel. Adapun langkah-langkah pembuatan kurva teoritis adalah sebagai berikut :

- 1) Tentukan satu nilai ϕ dan sembarang nilai c ($0 < c < d$),
- 2) Menghitung nilai ε_s dengan persamaan

$$\varepsilon_s = (d-c)\phi \quad (1)$$

selanjutnya nilai f_s dicari dengan persamaan:

$$\text{Bila } \varepsilon_s < \varepsilon_y \text{ maka } f_s = \varepsilon_s E_s \quad (2)$$

$$\text{Bila } \varepsilon_y < \varepsilon_s < \varepsilon_{sh} \text{ maka } f_s = f_y \quad (3)$$

Bila $\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s < \varepsilon_{su}$ maka

$$f_s = f_y \left[\frac{mp+2}{60p+2} + \frac{p(60-m)}{2n} \right] \quad (4)$$

- 3) Membagi diagram regangan beton di bagian tekan menjadi beberapa pias (n) dengan nomor pias (i) terkecil adalah pias paling bawah,
- 4) Menghitung regangan beton (ε_c) tiap pias dengan persamaan:

$$\varepsilon_{ci} = y_i \phi \quad (5)$$

dengan:

$$y_i = (c/n)(i-0,5) \quad (6)$$

- 5) Menghitung besarnya tegangan tekan beton masing-masing pias dengan persamaan:

$$\text{Bila } \varepsilon_c < \varepsilon_{cr} \text{ maka } f_c = f_c' E_c \quad (7)$$

Bila $\varepsilon_{cr} < \varepsilon_c < \varepsilon_0$ maka

$$f_c = f_c' \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] \quad (8)$$

- 6) Menghitung besarnya gaya tarik yang terjadi pada baja tulangan tarik dengan persamaan:

$$T_s = A_s f_s \quad (9)$$

- 7) Menghitung besarnya gaya tekan yang terjadi pada baja tekan dengan persamaan

$$C_s = A_s' f_s' \quad (10)$$

- 8) Menyeimbangkan gaya-gaya yang terjadi ($T_s - C_s - \Sigma C_{ci} = 0$) dengan bantuan fasilitas "goal seek" pada *software Microsoft Excel* dengan cara merubah nilai c sehingga keseimbangan gaya terjadi,
- 9) Menghitung momen tahanan dalam total (M) dengan persamaan

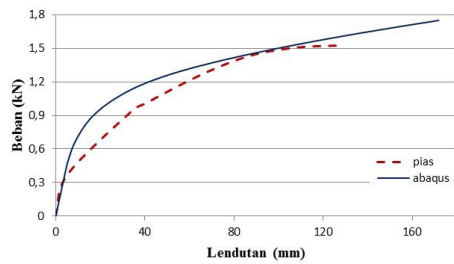
$$M = C_c \left(\frac{h}{2} - c + z_c \right) + T_c \left(\frac{h}{2} - d_c \right) + C_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{h}{2} \right) + C_p \left(\frac{h}{2} \right) \quad (11)$$

- 10) Menggambar kurva $M-\phi$ dari nilai-nilai M dan ϕ yang diperoleh kemudian dicari persamaan garisnya dengan bantuan fasilitas "add trendline" pada *software Microsoft Excel*.

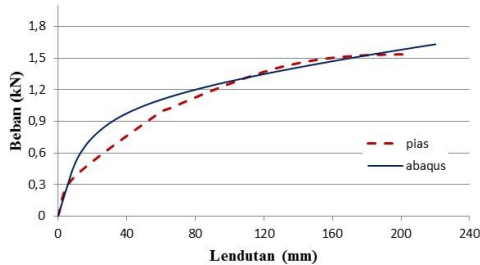
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hubungan Beban dan Lendutan

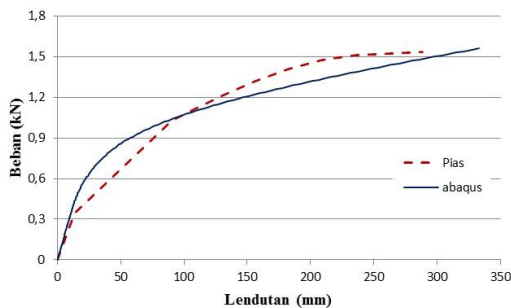
Berdasarkan hasil simulasi pemodelan elemen hingga *support beam* dengan variasi panjang bentang menggunakan *software* elemen hingga dan metode pias diperoleh grafik hubungan beban aksial (P) dan lendutan (δ) masing-masing elemen *support beam*. Adapun perbandingan grafik setiap analisis panjang bentang dapat dilihat pada Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10 dan Gambar 11



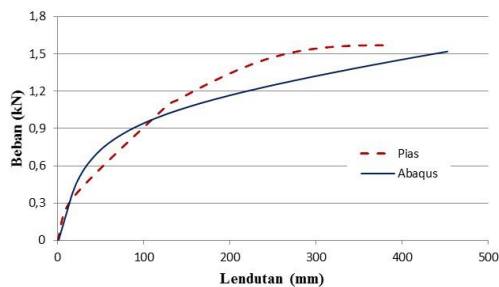
Gambar 8. Grafik Beban-Lendutan bentang 3 m



Gambar 9. Grafik Beban-Lendutan Bentang 4 m



Gambar 10. Grafik Beban-Lendutan Bentang 5 m



Gambar 11. Grafik Beban-Lendutan Bentang 6 m

Berdasarkan nilai hasil perbandingan beban dan lendutan keseluruhan pada grafik secara rinci dapat dilihat dalam Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Nilai P_{maks} Dari Setiap Variasi

Analisis	P_{maks} (kN)			
	3 m	4 m	5 m	6 m
Elemen Hingga	1,75	1,63	1,56	1,55
Metode Pias	1,52	1,53	1,53	1,57

Berdasarkan Tabel 5 diketahui bahwa model *support beam*

beam yang telah difabrikasi yaitu $L=3000$ mm memiliki nilai beban maksimum terendah sebesar 1.52 kN. Nilai tersebut dijadikan target untuk mendesain penampang *support beam* dengan panjang bentang yang berbeda. Dari Tabel 5 dapat disimpulkan pentrialan penampang *support beam* untuk panjang bentang yang berbeda memenuhi nilai beban maksimum target yaitu lebih dari 1.52 kN.

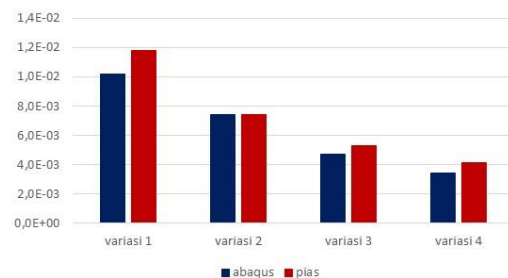
4.2. Kekakuan

Perbandingan kekakuan elemen *support beam* dengan berbagai variasi bentang dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Nilai Kekakuan dari Setiap Variasi

Analisis	Kekakuan (10^{-3} kN/mm)			
	3 m	4 m	5 m	6 m
Elemen Hingga	10	7,4	4,7	3,4
Metode Pias	12	7,4	5,3	4,1

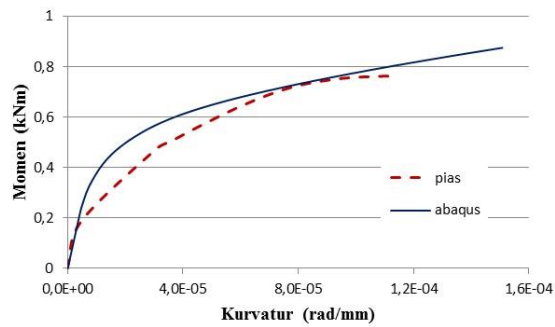
Kekakuan dapat dihitung melalui beban aksial dan lendutan yang terjadi pada *support beam*. Nilai-nilai kekakuan di atas diambil berdasarkan nilai beban dan lendutan dititik tengah *support beam*. Dari Tabel 6 dapat diamati nilai kekakuan *support beam* dengan analisis elemen hingga dan analisis metode pias semakin kecil seiring peningkatan panjang bentang. Perbedaan nilai *support beam* secara visual dapat terlihat pada Gambar 12.



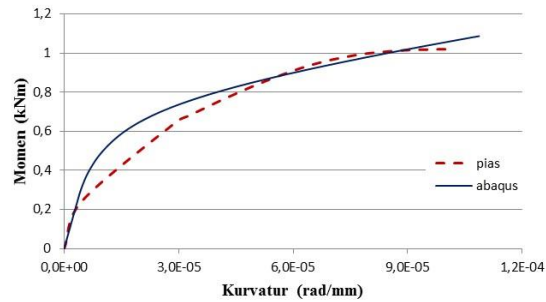
Gambar 12. Grafik Kekakuan Dari Setiap Variasi

4.3. Momen dan Kelengkungan

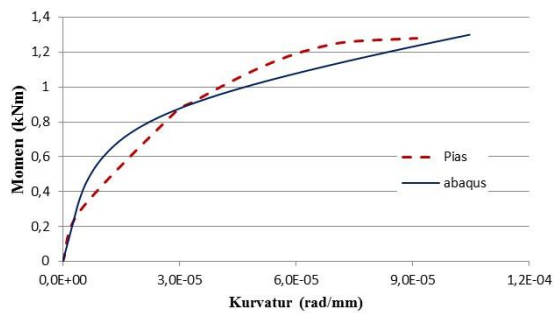
Berdasarkan hasil simulasi pemodelan elemen hingga *support beam* dengan variasi panjang bentangan menggunakan *software* elemen hingga diperoleh grafik hubungan beban aksial dan lendutan (*displacement*) (P vs Δ), dari grafik beban-lendutan ini dapat dianalisis hubungan momen dan kelengkungan sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 13, Gambar 14, Gambar 15 dan Gambar 16.



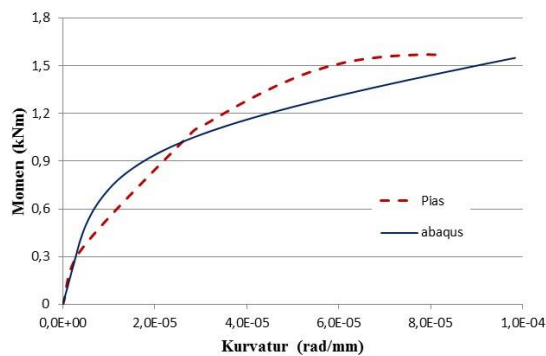
Gambar 13 Grafik Momen-Kelengkungan bentang 3 m



Gambar 14 Grafik Momen-Kelengkungan Bentang 4 m



Gambar 15. Grafik Momen-Kelengkungan Bentang 5 m



Gambar 16. Grafik Momen-Kelengkungan Bentang 6 m

Gambar di atas menunjukkan bahwa kurva momen dengan kelengkungan tidak jauh berbeda dengan kurva beban-lendutan dan elemen *support beam* dengan variasi panjang bentang. Nilai hasil perbandingan momen maksimal dari setiap variasi secara rinci dapat dilihat dalam Tabel 7.

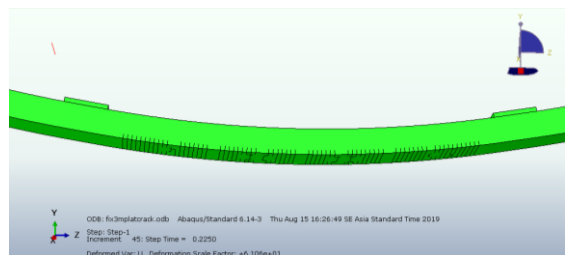
Tabel 7. Perbandingan Nilai M_{maks} dari Setaip Variasi

Analisis	M_{maks} (kNm)			
	3 m	4 m	5 m	6 m
Elemen	0,87	1,09	1,30	1,55
Hingga				
Metode	0,76	1,02	1,28	1,57
Pias				

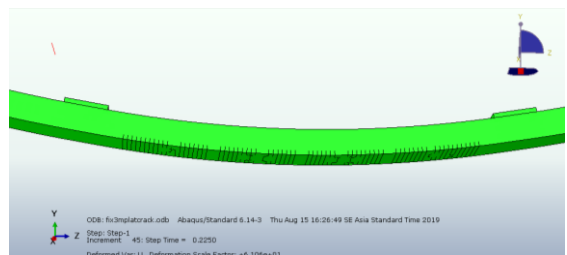
Berdasarkan Tabel 7 dapat diamati nilai M_{maks} meningkat seiring bertambahnya panjang *support beam*. Hal ini telah direncanakan sebelumnya agar setiap variasi panjang bentangan *support beam* memiliki nilai beban maksimum yang sama.

4.4. Analisis Pola Keruntuhan/Retak

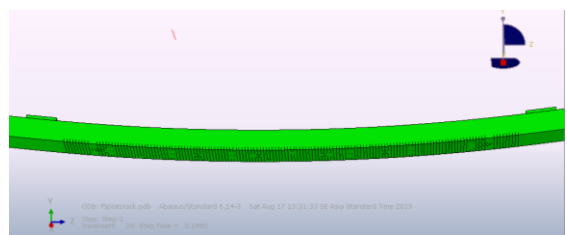
Pola retak pada balok yang dianalisis terjadi pada daerah tarik *support beam* dan umumnya terjadi pada arah transversal searah tulangan sengkang. Pada analisis yang dilakukan dengan *software* Abaqus keruntuhan yang dapat dilihat adalah keruntuhan yang terjadi saat beban maksimum yang menyebabkan balok runtuh. Retak awal pada *support beam* dapat diamati secara visual dalam program Abaqus sebagai mana yang ditunjukkan pada Gambar 17, Gambar 18, Gambar 19 dan Gambar 20.



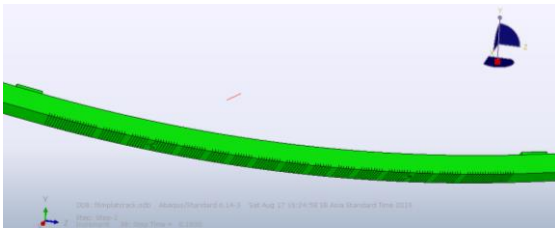
Gambar 17. Retak Awal Bentang 3 m



Gambar 18. Retak Awal Bentang 4 m



Gambar 19. Retak Awal Bentang 5 m



Gambar 20. Retak Awal Bentang 6 m

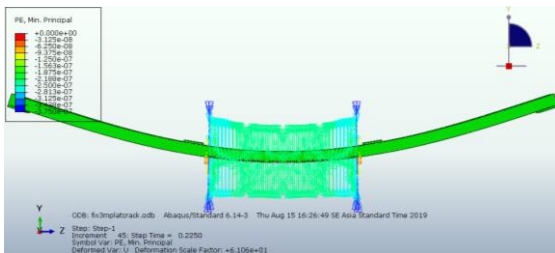
Adapun beban yang menyebabkan beton mulai retak (P_{crack}) untuk setiap variasi dapat dilihat dari Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan Nilai P_{crack} *Support Beam*

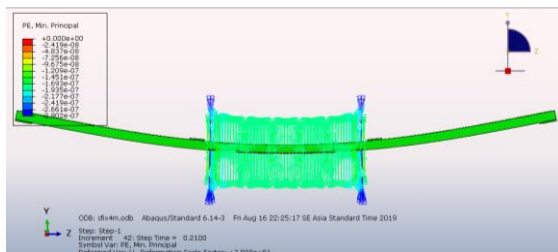
Model Elemen <i>Support Beam</i>	P_{crack} (N)	Lendutan (mm)
3 m	450	4,91
4 m	420	8,08
5 m	390	12,05
6 m	380	15,99

Dari Tabel 8 dapat diamati nilai P_{crack} mengalami penurunan yang tidak terlalu signifikan sementara lendutan mengalami peningkatan yang besar seiring meningkatnya panjang bentang yang digunakan pada model *support beam*.

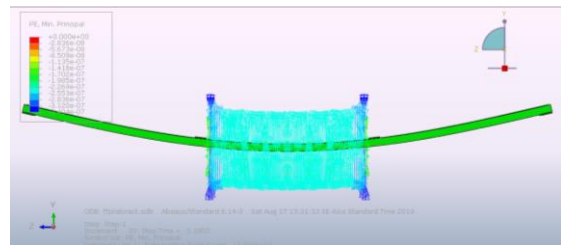
Pola retak untuk setiap variasi panjang bentang *support beam* juga dapat diamati melalui menu *PE min.principal* yang ada dalam program Abaqus sebagai mana yang ditunjukkan pada Gambar 21, Gambar 22, Gambar 23 dan Gambar 24



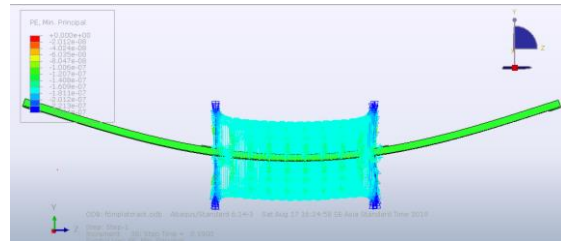
Gambar 21. Pola Retak Bentang 3 m



Gambar 22. Pola Retak Bentang 4 m



Gambar 23. Pola Retak Bentang 5 m



Gambar 24. Pola Retak Bentang 6 m

Gambar diatas menunjukkan bahwa pola retak terjadi searah memanjang tulangan sengkang atau tegak lurus sumbu batang yang berada di daerah sepanjang sepertiga panjang bentang *support beam*. Retak yang ditimbulkan pada elemen *support beam* terdapat pada bagian bawah balok dan menjalar sampai ke permukaan balok. Retak ini disebabkan oleh gaya lentur murni yang bekerja pada bidang tersebut.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Nilai beban maksimum dari setiap variasi panjang bentangan relatif sama. Hal ini dibuktikan dengan perbandingan setiap beban maksimum yang terjadi pada *support beam* dengan panjang bentang 3 m, 4 m, 5 m dan 6 m dengan analisis elemen hingga sebesar 1,75 kN; 1,63 kN; 1,56 kN dan 1,55 kN. Besar beban maksimum dengan metode pias, yaitu 1,52 kN; 1,53 kN; 1,53 kN dan 1,57 kN.
2. Kekakuan elemen *support beam* dengan analisis elemen hingga dan metode pias menurun seiring peningkatan panjang bentang *support beam* yang digunakan. Adapun perbandingan kekakuan *support beam* menggunakan analisis elemen hingga dengan variasi bentang 3 m, 4 m, 5 m dan 6 m, yaitu 1,0E-0,2 kN/mm; 7,4E-0,3 kN/mm; 4,7E-0,3 kN/mm dan 3,4E-0,3 kN/mm. Adapun nilai kekakuan *support beam* dengan metode pias, yaitu 1,2E-0,2 kN/mm; 7,4E-0,3 kN/mm; 5,3E-0,3 kN/mm dan 4,1E-0,3 kN/mm.
3. Momen dan kurvatur pada *support beam* meningkat seiring peningkatan panjang bentang *support beam* yang digunakan. Momen maksimum yang terjadi pada *support beam* pada setiap variasi panjang bentang 3 m, 4 m, 5 m dan 6 m, dengan analisis elemen hingga adalah sebesar 0,87 kNm; 1,09 kNm; 1,3 kNm dan 1,55 kNm. Besar momen maksimum

dengan metode pias, yaitu 0,76 kNm; 1,02 kNm; 1,28 kNm dan 1,57 kNm.

4. Beban retak pertama untuk setiap variasi panjang bentang *support beam* relatif sama. Beban retak pertama yang terjadi pada *support beam* pada setiap variasi panjang 3 m, 4 m, 5 m dan 6 m, dengan analisis elemen hingga adalah sebesar 450 N; 420N; 390 N dan 380 N.
5. Pola keruntuhan pada *support beam* dengan analisis FEM (*finite element method*) untuk setiap variasi panjang bentang secara visual dapat dilihat tegak lurus terhadap bentangan *support beam* disepanjang sepertiga panjang bentang. Pola keruntuhan ini adalah retak lentur murni yang terjadi di daerah momen lentur terbesar.

5.2. Saran

1. Penelitian ini hanya menganalisis pengaruh peningkatan panjang bentang *support beam* akibat beban aksial dan hanya menganalisis lentur murni. Oleh sebab itu disarankan untuk studi selanjutnya analisis dilakukan dengan beban yang lebih kompleks sehingga perilaku kekuatan stuktur gedung yang menggunakan sistim lantai semi pracetak dapat diketahui lebih detail.
2. Pada penelitian ini analisis terbatas terhadap perilaku *support beam* 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.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gibb, A. G. F. *Off-Site Fabrication: Prefabrication, Pre-assembly and Modularisation*. New York: John Wiley and Sons, 1999.
- [2] Goodchild, C. H. *Hybrid Concrete Construction*. Crowthorne: British Cement Association, 1995.
- [3] Badan Standarisasi Nasional. *SNI 03-2847-2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2013.
- [4] McCormac, J. C. *Desain Beton Bertulang*. (L. Simarmata, Ed.). Jakarta: Erlangga, 2004.
- [5] Nawy, E. G. *Beton Prategang*. (B. Suryatmono, Ed.). Jakarta: Erlangga, 2001.
- [6] Nur, O. F. "Analisa pengaruh penambahan tulangan tekan terhadap daktilitas kurvatur balok beton bertulang". *Jurnal Rekayasa Sipil*, 5(1), 1–12, 2001.
- [7] Sulistyawati, I. "Kekakuan dan Kekuatan Lentur Maksimum Balok Glulam dan Utuh Kayu Akasia". *Jurnal Teknik Sipil*, 15(3), 1–9, 2008.
- [8] Widorini, T. "Karakteristik Dinamik Pelat Lantai Semi Precast Dengan Perkuatan Shear Connector". *TEKNIKA*, 9(2), 1–11, 2014.
- [9] Willyanto. "Peningkatan unjuk kerja desain flexible shield untuk pompa sabun dengan menggunakan metode elemen hingga". *Jurnal Teknik Mesin*, 7(1), 1–9, 2005.