

ANALISIS PERILAKU KEKUATAN KOLOM SEMI PRACETAK AKIBAT BEBAN AKSIAL DAN BEBAN LATERAL

Fahmi Amri¹⁾, Ismeddiyanto²⁾, Alex Kurniawandy²⁾

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 : fahmi.amri@student.unri.ac.id

Abstract

Semi-precast column uses the combination of cast-in-place concrete and precast concrete. In semi-precast concrete column, difference in compressive strength exists between the cast-in-place and precast concrete. This research aims to investigate the behaviour of semi-precast concrete column by varying the compressive strength of the precast concrete. The semi-precast concrete columns were modeled in finite element analysis software as the connection between column and foundation models. The height of the column models were half of the real column's height, based on the consideration that the elastic inflection point occurs at half the column's height. For all column models, the compressive strength of the cast-in-place concrete was 20 MPa. However variations were made for the compressive strength of the precast concrete component: 8 MPa, 12 MPa, 16 MPa, and 20 MPa. The column models were given constant axial loads and inclined lateral loads. The outputs of the finite element analysis software were lateral load-deflection relationship and crack pattern. Based on the analysis results, the magnitude of the lateral load and deflection of the column were proportional to the increment of concrete compressive strength. The cracks that occur at all semi-precast concrete column model were flexural cracks at points with highest bending moment. It could also be observed that the crack pattern was parallel with the stirrups at tension fiber of the column.

Keywords: Column, semi-precast, cast-in-place, finite element analysis software

A. PENDAHULUAN

Perkembangan konstruksi sudah sangat berkembang di Indonesia. Pemanfaatan sistem pracetak sudah dikembangkan dalam pelaksanaan konstruksi gedung bertingkat. Penggunaan konstruksi sistem pracetak memiliki keunggulan dibandingkan pekerjaan konstruksi secara konvensional, 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.

Elemen struktur kolom sistem semi pracetak menempati posisi penting di dalam sistem struktur bangunan. Kolom merupakan komponen struktur bangunan yang menyangga beban aksial tekan vertikal. Elemen struktur kolom menjadi elemen tekan yang menumpu balok yang memikul gaya-gaya pada lantai. Kolom juga bertugas menahan kombinasi beban aksial dan momen lentur. Kegagalan kolom akan

berakibat langsung pada runtuhnya komponen struktur lain yang berhubungan dengannya. Gaya lateral memberikan efek momen yang lebih dominan dibanding efek gaya aksial. Disamping itu, kolom juga menerima beban gravitasi yang berasal dari balok, akibat beban gravitasi ini kolom menerima beban aksial yang lebih dominan dibanding momen.

Secara umum, kolom akan menerima beban kombinasi antara beban gravitasi dan beban lateral sehingga kolom perlu direncanakan terhadap interaksi antara momen dengan aksial. Perencanaan struktur kolom harus memperhitungkan secara cermat dengan memberikan cadangan kekuatan yang lebih tinggi dari pada komponen struktur lainnya. Kerusakan kolom dapat terjadi antara lain karena kolom kurang mampu menahan gaya yang bekerja dan simpangan antar tingkat yang terjadi pada bangunan gedung.

Pekerjaan konstruksi kolom dengan sistem semi pracetak menimbulkan perbedaan mutu antara bataton pracetak dan beton *cast in place*. Mutu beton pracetak relatif lebih rendah dibandingkan mutu beton *cast in place*. Perbedaan mutu ini dapat menyebabkan elemen struktur menjadi tidak monolit. Akibat elemen struktur yang tidak monolit, hal ini akan berpengaruh terhadap kepadatan beton *cast in place* pada saat pengecoran sehingga berdampak buruk pada kekuatan beton saat mencapai umur rencana.

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

1. Perilaku kekuatan kolom sistem semi pracetak akibat beban aksial dan beban lateral menggunakan *software* elemen hingga.
2. Pengaruh mutu beton pracetak terhadap kekuatan kolom semi pracetak.
3. Pola retak yang terjadi pada kolom sistem semi pracetak menggunakan *software* elemen hingga

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 cetak di tempat atau *cast in place*.

Sistem pracetak akan berbeda dengan konstruksi beton monolit konvensional pada aspek perencanaan yang tergantung atau ditentukan oleh metoda 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.

Salah satu produk dari sistem semi beton pracetak adalah pemanfaatan bataton. Bataton difungsikan sekaligus sebagai pengganti bekisting, yang biasa digunakan dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi secara konvensional. Produk bataton dapat diterapkan pada pekerjaan dinding, plat lantai, *sloof*, balok dan kolom.

Kuat tekan beton merupakan kekuatan tekan maksimum yang dapat dipikul beton per

satuan luas. Kuat tekan beton normal menurut SNI 03-6468-2000 antara 20 - 40 MPa. Kuat tarik belah adalah kuat tarik beton yang ditentukan berdasarkan kuat tekan belah dari silinder beton yang ditekan pada sisi panjangnya. Kekuatan tarik belah beton relatif rendah, nilai kuat tekan dan tarik belah beton tidak berbanding lurus.

B.2 Kolom

Berdasarkan SNI 2847-2013, kolom merupakan komponen struktur dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil melampaui 3 yang dominan digunakan untuk menampung beban tekan aksial. Elemen struktur kolom menjadi elemen tekan yang menampung beban balok yang memikul gaya-gaya pada lantai. Kolom juga bertugas menahan kombinasi beban aksial dan momen lentur. Menurut tipe keruntuhannya, kolom terbagi atas 2 tipe, yaitu kolom pendek dan kolom langsing.

Kolom beton bertulang terbagi menjadi tiga jenis, yakni kolom menggunakan pengikat sengkang lateral, kolom menggunakan pengikat spiral, dan struktur kolom komposit. Kuat tekan nominal secara konsentrik untuk kolom dengan tulangan pengikat sengkang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$P_{n(max)} = 0,80 (0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + (f_y A_{st})$$

dimana:

$P_{n(max)}$ = Kuat aksial tekan nominal (kN)

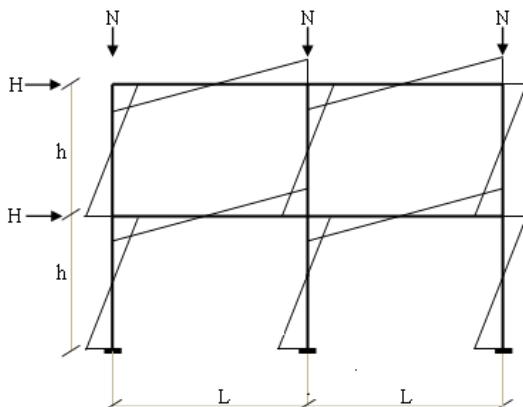
f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

f_y = Kuat leleh baja (MPa)

Lentur pada kolom merupakan akibat dari regangan yang timbul karena beban luar. Apabila beban bertambah, maka pada kolom terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya (atau bertambahnya) retak lentur. Pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan, yaitu pada saat beban luarnya mencapai kapasitas dari kolom. Taraf pembebanan demikian disebut keadaan batas dari keruntuhan lentur.

Untuk metode portal, beban diasumsikan bekerja pada sambungan. Jika kondisi beban benar, momen akan bervariasi linier dalam batang dan titik belok akan terletak dekat pertengahan batang. Gaya dan reaksi yang terjadi pada struktur terlihat dalam gambar 1. Menurut McCormac (2003) ada tiga asumsi mengenai portal, yakni sebagai berikut:

1. Kolom melentur sedemikian rupa sehingga titik belok terjadi di pertengahan kolom.
2. Portal melentur sedemikian rupa sehingga titik belok terjadi di pertengahan balok.
3. Geser horizontal pada setiap lantai terdistribusi antara kolom.



Gambar 1 Gaya dan Reaksi pada Struktur

B.3 Kekakuan

Kekakuan didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan untuk menghasilkan suatu lendutan, menurut Gere dan Timoshenko, 1987. Kekakuan kolom merupakan salah satu faktor penting untuk menjaga agar kolom tetap kokoh. Pembatasan kekakuan berguna, antara lain untuk menjaga agar struktur atau non struktur tidak terdefleksi melampaui defleksi yang disyaratkan dalam peraturan. Kekakuan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

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

dimana:

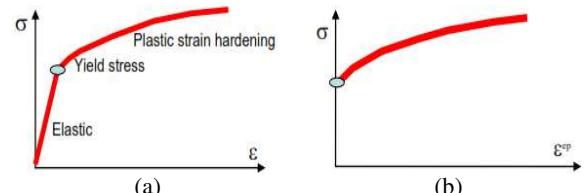
- K = Kekakuan (kN/m)
 P = Gaya kolom (kN)
 Δ = Lendutan kolom (m)

B.4 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.

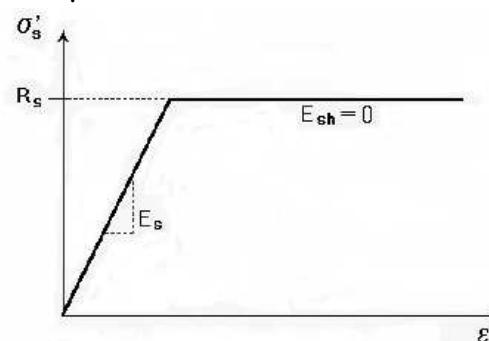
Analisa numerik kolom dengan sistem beton semi pracetak menggunakan *software* elemen hingga. *Software* elemen hingga adalah paket program simulasi rekayasa yang kuat, didasarkan pada metode elemen hingga, yang dapat memecahkan masalah mulai dari analisis linier relatif sederhana sampai simulasi nonlinier 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 2.



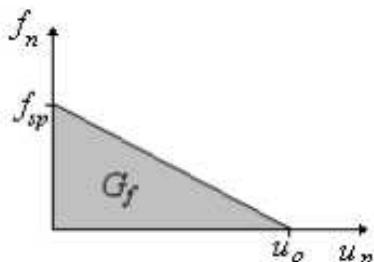
Gambar 2 (a) Kurva Tegangan Regangan Material (b) Kurva Tegangan Regangan Plastis Material yang dibutuhkan *Software* Hingga (Seismic Assessment of WSDOT Bridges with Prestressed Hollow Core Piles, 2009)

Model hubungan tegangan-regangan untuk tulang baja dengan *elasto-plastic constitutive law* ditunjukkan pada Gambar 3. Untuk bagian elastik awal mempunyai modulus elastisitas baja Es, sedangkan bagian selanjutnya merupakan kondisi plastik baja dengan modulus hardening Esh. Untuk kondisi *elastic-perfectly plastic* nilai Esh = 0.



Gambar 3 Elasto-Plastic Constitutive Law untuk Tulangan Baja
(Nuryanti, 2010)

Perilaku pola retak yang terjadi didasarkan dari analisa energi fraktur beton. Perilaku tarik beton dapat ditentukan berdasarkan energi fraktur, tegangan tarik awal retak, dan *displacement* bukaan retak. Hubungan tegangan tarik dan *displacement* bukaan retak dapat terlihat dalam Gambar 4.



Gambar 4 Perilaku Tegangan Tarik-
Displacement

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

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Pembuatan geometri kolom beton bertulang

Tahap awal pembuatan geometri kolom adalah dengan menentukan titik koordinat yang sesuai dengan dimensi kolom. 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 fondasi, kolom *cast in place*, dan kolom pracetak. Secara rinci model yang dibuat dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1 Spesifikasi Kolom Pracetak

Spesifikasi	Ukuran
Dimensi Kolom Pracetak (cm)	21 x 21
Tebal (cm)	4
Tinggi Kolom (m)	1,8
Mutu beton (MPa)	8, 12, 16, 20

Tabel 2 Spesifikasi Kolom *Cast in Place*

Spesifikasi	Ukuran
Dimensi Kolom (cm)	21 x 21
Tinggi Kolom (m)	1,8
Mutu beton (MPa)	22
Tebal Selimut Beton (cm)	1,5
Diameter Tulangan Longitudinal (mm)	12
Jumlah Tulangan Longitudinal	4
Diameter Sengkang (mm)	8
Spasi Sengkang (mm)	200

Tabel 3 Spesifikasi Fondasi

Spesifikasi	Ukuran
Dimensi Fondasi (m)	1,2 x 1,2
Tebal Fondasi (m)	0,3
Mutu beton (MPa)	22
Tebal Selimut Beton (cm)	5
Diameter Tulangan (mm)	13
Spasi Tulangan (mm)	100

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* = 2700 kg/m³
- b. *Young's modulus* = 200000 MPa
- c. *Poisson's ratio* = 0,3

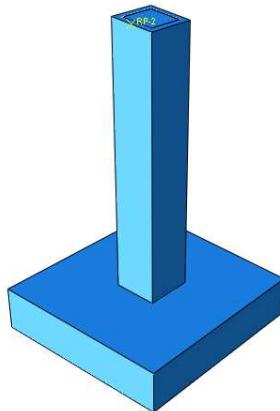
Material beton didefinisikan sebagai *concrete damage plasticity* yang akan mengalami kerusakan akibat tegangan dan regangan plastis. Material beton yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 Nilai Karakteristik Mutu Beton

Model	Mutu beton (MPa)	Mass density (kg/m ³)	Young's Modulus (MPa)
Kolom pracetak	8	2400	14299.811
	12	2400	17513.621
	16	2400	20222.987
Kolom <i>cast in place</i>	20	2400	21019.039
	20	2400	21019.039
Fondasi	20	2400	21019.039

C.3 Assembly dan meshing

Tulangan akan dirakit menjadi suatu rangkaian tulangan dengan tulangan longitudinal beserta tulangan sengkangnya. Kolom dan pelat fondasi akan disatukan menjadi sambungan kolom fondasi. Rangkaian tulangan selanjutnya akan diberi interaksi *embedded region* sehingga model sambungan kolom fondasi dengan model tulangan akan menjadi satu kesatuan. Model sambungan kolom fondasi yang telah selesai dilakukan *assembly* terlihat dalam Gambar 5.



Gambar 5 Model Sambungan Kolom Fondasi

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.

- Pemberian perletakan (*restraint*)

Dalam penelitian digunakan jenis perletakan jepit yang dapat terlihat dalam Gambar 6.

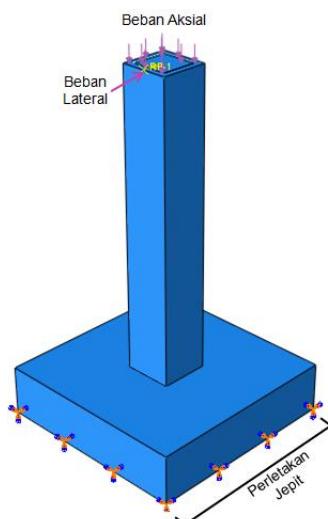
- Pemberian beban

Pembebaan yang diaplikasikan pada model berupa beban aksial secara konstan sebesar 464,221 kN dan beban lateral yang mengalami peningkatan.

- Penentuan titik *displacement*

Penentuan lokasi *displacement* pada *node* dapat dipilih sesuai yang diinginkan.

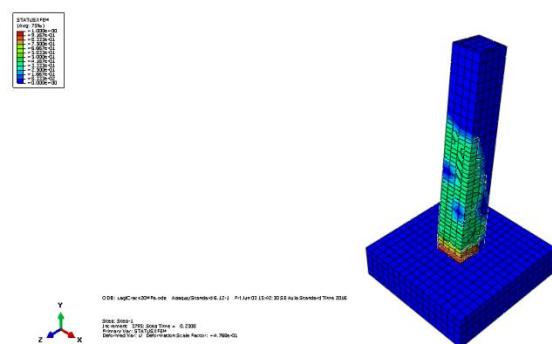
Pendefinisan kondisi benda uji pada model dapat terlihat dalam Gambar 3.8.



Gambar 6 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* (beban) dengan menampilkan perpindahan gaya seperti yang terlihat dalam Gambar 7.

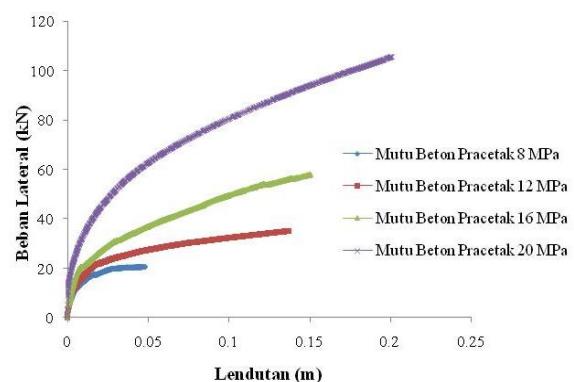


Gambar 7 Tampilan Hasil *Running Software* Elemen Hingga

D. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

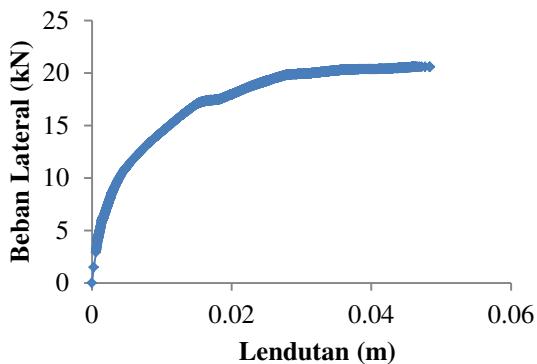
D.1 Grafik hubungan beban-displacement

Berdasarkan hasil uji numerik pemodelan elemen hingga kolom semi pracetak dengan variasi mutu beton pracetak menggunakan *software* elemen hingga diperoleh kurva hubungan beban lateral dan lendutan (*displacement*) (P vs Δ), sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 di bawah ini, berdasarkan titik *displacement* yang telah ditentukan.

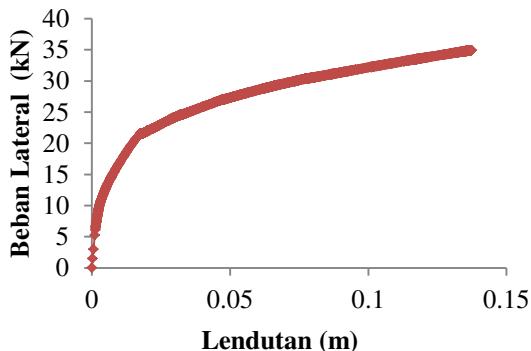


Gambar 8 Grafik Beban Lateral-Lendutan

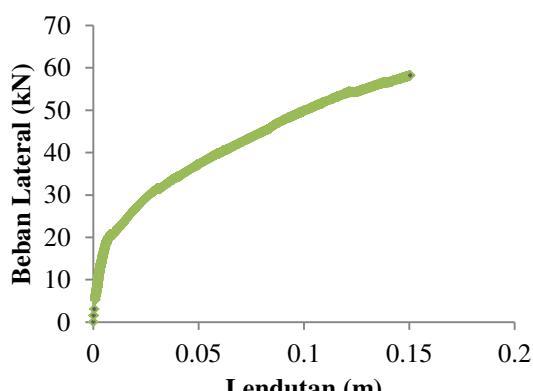
Gambar 8 menunjukan bahwa perbedaan hasil model elemen hingga dengan variasi mutu beton pracetak cukup signifikan, dan hasil model elemen hingga menunjukkan sebagian besar model akan mengalami peningkatan beban lateral-lendutan seiring meningkatnya mutu beton pracetak. Gambar 4.2, Gambar 4.3, Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 dibawah ini menunjukkan grafik beban lateral-lendutan berdasarkan mutu beton pracetak yang digunakan.



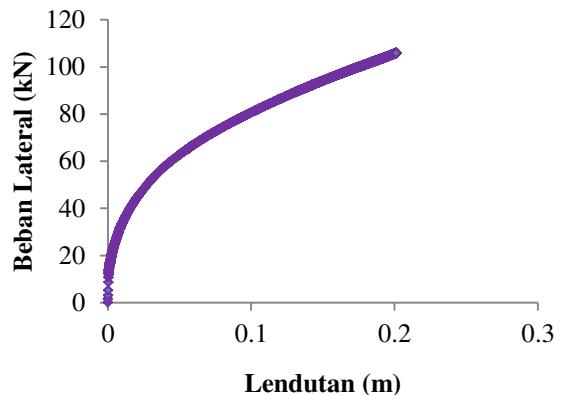
Gambar 9 Perbandingan beban-lendutan dengan mutu beton pracetak 8 MPa



Gambar 10 Perbandingan Beban-Lendutan Dengan Mutu Beton Pracetak 12 MPa



Gambar 11 Perbandingan Beban-Lendutan Dengan Mutu Beton Pracetak 16 MPa



Gambar 12 Perbandingan Beban-Lendutan dengan Mutu Beton Pracetak 20 MPa

Gambar-gambar di atas menunjukan perbandingan beban lateral-lendutan persatuan kolom sedangkan untuk nilai hasil perbandingan beban lateral dan lendutan keseluruhan secara rinci dapat dilihat dalam Tabel 5.

Tabel 5 Perbandingan Nilai Beban dan Lendutan Kolom Semi Pracetak

Model Kolom Semi Pracetak	Pmaks (kN)	Lendutan (m)
Beton Pracetak 8 MPa	20,58	0,048
Beton Pracetak 12 MPa	34,92	0,137
Beton Pracetak 16 MPa	58,17	0,151
Beton Pracetak 20 MPa	105,88	0,201

D.2 Kekakuan

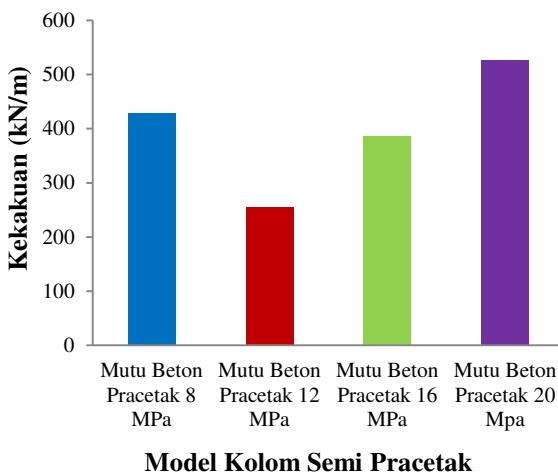
Kekakuan kolom semi pracetak dapat dihitung melalui beban lateral dan lendutan yang terjadi pada kolom semi pracetak. Perbandingan kekakuan kolom semi pracetak dengan berbagai variasi mutu beton pracetak dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Perbandingan Nilai Kekakuan Kolom Semi Pracetak

Model Kolom Semi Pracetak	Kekakuan (kN/m)
Beton Pracetak 8 Mpa	428,75
Beton Pracetak 12 Mpa	254,89
Beton Pracetak 16 Mpa	385,23
Beton Pracetak 20 Mpa	526,77

Kolom semi pracetak dengan mutu beton pracetak 20 MPa mempunyai nilai kekakuan terbesar, yakni 526,77 kN/m.

Perbedaan nilai kekakuan kolom semi pracetak dapat terlihat dalam Gambar 4.6.



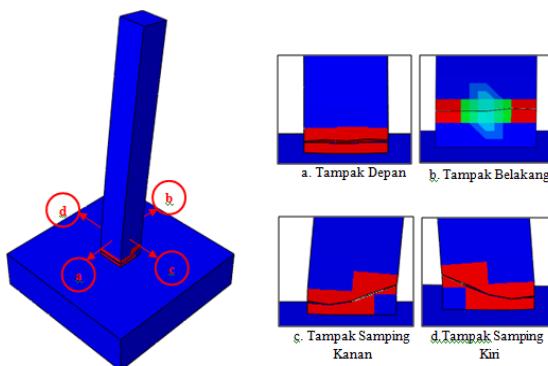
Gambar 13 Grafik Perbandingan Kekakuan Kolom Semi Pracetak dengan Variasi Mutu Beton Pracetak

D.3 Evaluasi Pola Retak

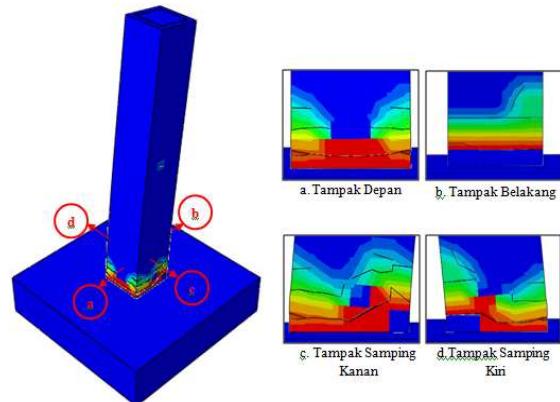
Pola retak kolom umumnya terjadi pada arah transversal searah tulangan sengkang. Pola retak terjadi pada bagian sisi tarik kolom.

D.3.1 Pola retak kolom semi pracetak dengan mutu beton pracetak 8 MPa

Hasil analisis elemen hingga nonlinier pada kolom semi pracetak dengan menggunakan mutu beton pracetak 8 MPa, kolom tersebut menunjukkan bahwa retak pertama terjadi pada beban lateral 2,9265 kN dengan lendutan 0,000584 m, berupa retak searah memanjang tulangan sengkang yang berada di daerah tarik kolom. Seiring dengan penambahan beban dapat dilihat terjadi retak pada daerah samping kolom kearah memanjang kolom



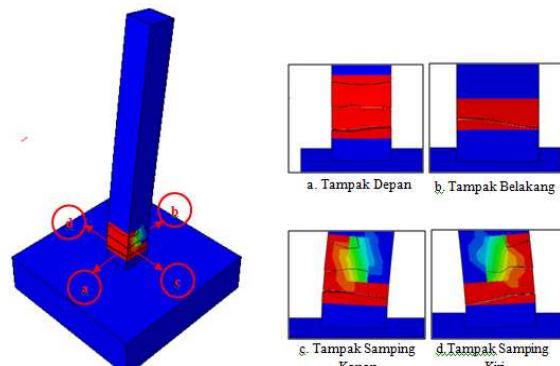
Gambar 14 Pola Penjalaran Retak Kolom Semi Pracetak pada Kolom *Cast in Place* dengan Mutu Beton Pracetak 8 MPa



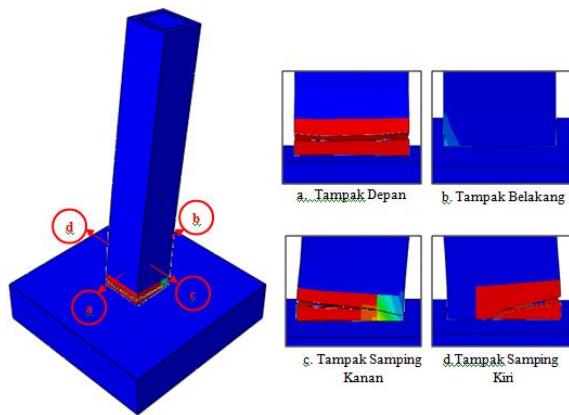
Gambar 15 Pola Penjalaran Retak kolom Semi Pracetak pada Kolom Pracetak dengan Mutu Beton Pracetak 8 MPa

D.3.2 Pola retak kolom semi pracetak dengan mutu beton pracetak 12 MPa

Hasil analisis elemen hingga nonlinier pada kolom semi pracetak dengan menggunakan mutu beton pracetak 12 MPa, kolom tersebut menunjukkan bahwa retak pertama terjadi pada beban lateral 6,09375 kN dengan lendutan 0,001266 m, berupa retak searah memanjang tulangan sengkang yang berada di daerah tarik kolom. Seiring dengan penambahan beban dapat dilihat terjadi retak pada daerah samping kolom kearah memanjang kolom, retakan selanjutnya merupakan perpanjangan retak sebelumnya dan seiring dengan pertambahan beban semakin melebar dan menambah retakan baru berupa retak lentur pada daerah kolom.



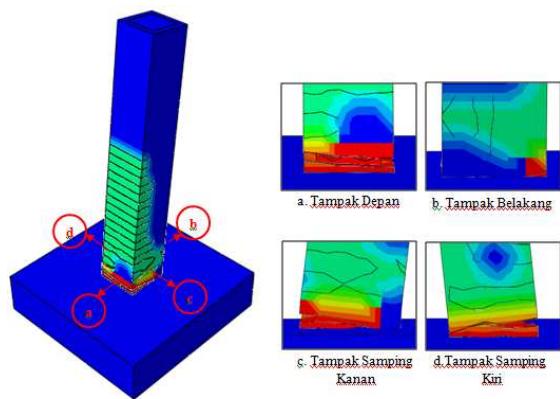
Gambar 16 Pola Penjalaran Retak Kolom Semi Pracetak pada Kolom *Cast in Place* dengan Mutu Beton Pracetak 12 MPa



Gambar 17 Pola Penjalaran Retak kolom Semi Pracetak pada Kolom Pracetak dengan Mutu Beton Pracetak 12 MPa

D.3.3 Pola retak kolom semi pracetak dengan mutu beton pracetak 16 MPa

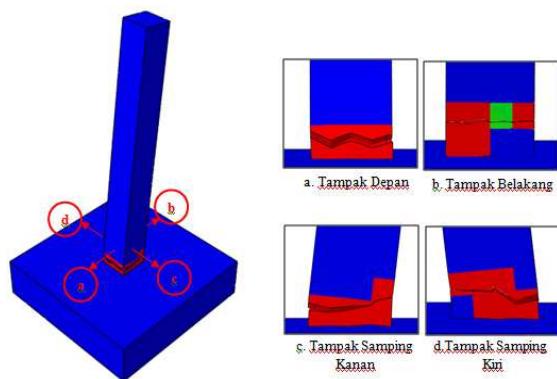
Hasil analisis elemen hingga nonlinier pada kolom semi pracetak dengan menggunakan mutu beton pracetak 16 MPa, kolom tersebut menunjukan bahwa retak pertama terjadi pada beban lateral 5,25 kN dengan lendutan 0,000918 m, berupa retak searah memanjang tulangan sengkang yang berada di daerah tarik kolom. Seiring dengan penambahan beban dapat dilihat terjadi retak pada daerah samping searah memanjang tulangan sengkang kolom, retakan selanjutnya merupakan perpanjangan retak sebelumnya dan seiring dengan pertambahan beban semakin melebar dan menambah retakan baru berupa retak lentur pada daerah kolom. Penjalaran retak lentur terjadi sebagian besar sepanjang tinggi kolom pada daerah tarik kolom.



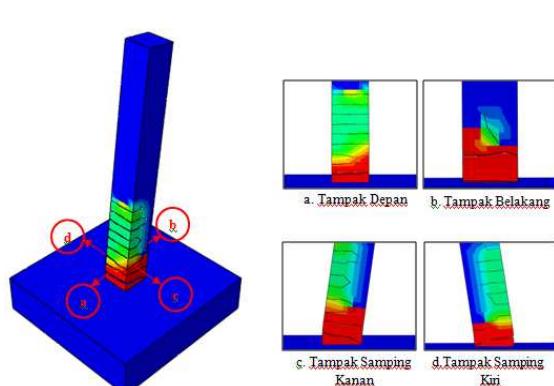
Gambar 19 Pola Penjalaran Retak kolom Semi Pracetak pada Kolom Pracetak dengan Mutu Beton Pracetak 16 MPa

D.3.4 Pola retak kolom semi pracetak dengan mutu beton pracetak 20 MPa

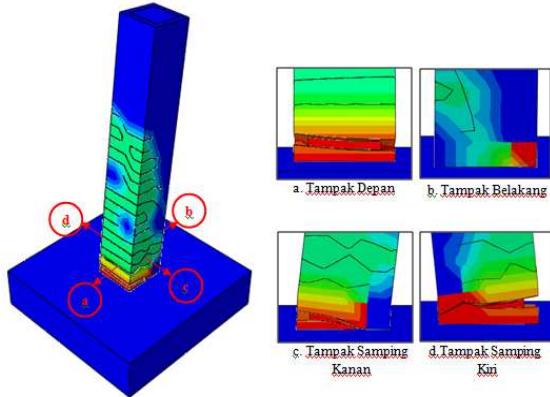
Hasil analisis elemen hingga nonlinier pada kolom semi pracetak dengan menggunakan mutu beton pracetak 20 MPa, kolom tersebut menunjukan bahwa retak pertama terjadi pada beban lateral 12,4734 kN dengan lendutan 0,000614 m, berupa retak searah memanjang tulangan sengkang yang berada di daerah tarik kolom. Seiring dengan penambahan beban dapat dilihat terjadi retak pada daerah samping searah memanjang tulangan sengkang kolom, retakan selanjutnya merupakan perpanjangan retak sebelumnya dan seiring dengan pertambahan beban semakin melebar dan menambah retakan baru berupa retak lentur pada daerah kolom. Penjalaran retak lentur terjadi sebagian besar sepanjang tinggi kolom pada daerah tarik kolom. Retak yang terjadi pada lentur membuat beton menjadi terbelah seiring pertambahan beban.



Gambar 18 Pola Penjalaran Retak Kolom Semi Pracetak pada Kolom *Cast in Place* dengan Mutu Beton Pracetak 16 MPa



Gambar 20 Pola Penjalaran Retak Kolom Semi Pracetak pada Kolom *Cast in Place* dengan Mutu Beton Pracetak 20 MPa



Gambar 21 Pola Penjalaran Retak kolom Semi Pracetak pada Kolom Pracetak dengan Mutu Beton Pracetak 20 MPa

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 horizontal sepanjang tulangan sengkang. Pola retak terjadi di daerah yang mengalami momen terbesar pada kolom. Pada awalnya muncul retak dalam arah horisontal yang diindikasi sebagai retak lentur, dengan pertambahan beban muncul retak yang lebih panjang pada ujung bawah kolom.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

- Hasil analisis kekuatan kolom semi pracetak meningkat apabila penggunaan mutu beton pracetak ditingkatkan. Hal ini dibuktikan dengan melakukan pemodelan kolom semi pracetak di *software* elemen hingga dengan menggunakan mutu beton pracetak 8 MPa, 12 MPa, 16 MPa dan 20 MPa. Perbandingan mutu beton pracetak tersebut terhadap beban lateral (P_{maks}) yang bekerja pada kolom semi pracetak berturut-turut adalah 20,58 kN, 34,92 kN, 58,17 kN dan 15,88 kN.
- Kekakuan kolom semi pracetak meningkat pada mutu beton pracetak 12 MPa, 16 MPa dan 20 MPa. Kekakuan kolom semi pracetak dengan menggunakan mutu beton pracetak 8 MPa adalah 428,75 kN/m, sedangkan kekakuan kolom semi pracetak pada mutu beton pracetak 12 MPa, 16 MPa dan 20 MPa berturut-turut adalah 254,89 kN/m, 385,23 kN/m dan 526,77 kN/m.

- Retak yang terjadi pada kolom semi pracetak hasil analisis elemen hingga dengan mutu beton pracetak 8 MPa, 12 MPa, 16 MPa dan 20 MPa adalah retak lentur yang terjadi di daerah momen lentur terbesar dan memperlihatkan pola retak yang searah tulangan sengkang pada sisi tarik kolom.

E.2 Saran

- Penelitian ini hanya menganalisis pengaruh peningkatan mutu beton pracetak pada kolom semi pracetak akibat beban aksial dan peningkatan beban lateral. Oleh sebab itu disarankan untuk studi selanjutnya analisis dilakukan untuk balok semi pracetak dan pelat semi pracetak sehingga perilaku kekuatan struktur gedung yang menggunakan sistem semi dapat diketahui lebih detail.
- Dalam penelitian ini analisis terbatas terhadap perilaku kekuatan kolom semi pracetak akibat akibat beban aksial dan peningkatan beban lateral sehingga diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat menganalisis daktilitas dan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, Rudi Yuniarto, Nurhuda, Ilham, & Fitriani, Intan. (2015). *Perilaku dan Kekuatan Sambungan Kolom pada Sistem Beton Pracetak*. Jurnal MKTS, Universitas Diponegoro.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. (SNI 2847-2013).
- Belytschko T, & Black T. *Elastic crack growth in finite element with minimal remeshing*[J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 1999, 45:601-620.
- Dipohusodo, Istimawan. (1996). *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Galambos, Theodore V. dan Surovek Andrea E. (2008). *Structural Stability Of Steel: Concepts and Applications For Structural Engineers*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Hasham, Anthony S., Rasmussen, K.J.R. 2002. *Interaction curves for locally buckled I-section beam columns*. Journal of Constructional Steel Research 58 (2002) No.213–241. Elsevier.

- Hu HT, Liang JI. (2000). *Ultimate analysis of BWR Mark III reinforced concrete containment subjected to internal pressure*. Nuclear Eng.Des., 195: 1-11.
- Imran, Iswandi & Zulkifli, Ediansyah. (2014). *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*. Bandung: Penerbit ITB.
- Ismeddiyanto. (2014). Analisis Eksperimen Lentur Kolom dengan Bekisting Bataton Pracetak Akibat Beban Aksial Eksentris. Seminar nasional teknik sipil 2015Universitas Riau.
- Marpaung, Raja. (2014). Perilaku Struktur Beton Bertulang Akibat Pembebanan Siklik. *Jurnal Teknik Sipil*, Volume 10, No. 2, September 2014.
- McCormac, J. C. (2003). *Desain Beton Bertulang*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2013). *Design of reinforced concrete*: Wiley Global Education.
- Nuryanti, Pingkan. 2010. Analisis Non-linear Kolom Beton Bertulang Penampang Segiempat Berongga dengan Variasi Eksentrisitas Beban dan Mutu Beton. Tesis Magister, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Pattisia, Muhammad Amitabh. *Studi Perilaku Kolom Akibat Gaya Aksial Dan Lentur (Beamcolumns) Dengan Menggunakan Abaqus 6.7 Pada Daerah Rawan Gemp*, ITS-Undergraduate-19203-3109106045-Paper.
- Priestley, N. (1996). *Seismic Design Philosophy for Precast Concrete Frames*. University of California, San Diego, Structural Engineering International.
- Sinaei, H., Shariati, M., Abna, Hosein Amir, Aghei, M., & Shariati, Ali. (2012). *Evaluation of Reinforced Concrete Beam Behaviour Using Finite Element Analysis by Abaqus*. Scientific Research and Essays Vol. 7(21), pp. 2002-2009.
- Soetjipto, Joko Widodo. (2014). *Analisa Perbandingan Pelaksanaan Pembangunan Menggunakan Beton Konvensional Dengan Elemen Beton Pracetak Pada Bangunan Tingkat Tinggi*.
- Subranto. 2007. Analisis Struktur Beton Bertulang dengan Pendekatan *Smeared Crack* dan *Smeared Element*
- Menggunakan Metode Elemen Hingga. Tesis Pasca Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Tran, Thien Phuoc. 2009. Effect Of Short-Duration-High-Impulse Variable Axial Andtransverse Loads On Reinforced Concrete Column. Tesis Magister, Florida University, Florida.
- Tyau, Joshua S. 2009. Fenite Element Modelling of Reinforce Concrete Using 3-Dimensional Solid Elements with Discrete Rebar. Tesis Pascasarjana, Departement of Civil and Enviromental Engineering, Brigham Young University, Provo.
- Wahalathantri, B.L., Thambiratnam, D.P., Chan, T.H.T., & Fawzia, S. (2011). A material model for flexural crack simulation in reinforced concrete elements using ABAQUS. In *Proceedings of the First International Conference on Engineering, Designing and Developing the Built Environment for Sustainable Wellbeing*, Queensland University of Technology, Queensland University of Technology, Brisbane, Qld, pp. 260-264.
- Wight, J. K., & MacGregor, J. G. (2012). *Reinforced Concrete Mechanics and Design Sixth Edition*: Pearson Education, Inc.