



JURNAL FORUM MEKANIKA

Volume 5 - Nomor 1

Mei 2016

ISSN : 2356-1491

STUDI PENGGUNAAN LIMBAH SERBUK KACA SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN
PADA PEMBUATAN BATA BETON PEJAL

INDAH HANDAYASARI; GITA PUSPA ARTIANI; DESI PUTRI

TINJAUAN KUAT TEKAN BETON MUTU TINGGI DENGAN PENAMBAHAN TALI TAM-
BANG PLASTIK

ABDUL ROKHMAN; DYAH PRATIWI KUSUMASTUTI

STUDI PENGGUNAAN LIMBAH SERBUK KACA SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN
PADA PEMBUATAN BATA BETON PEJAL

IRMA SEPRIYANNA; WENDY FRAYOGA DAMANIK

PENERAPAN KONSEP ZERO RUNOFF DALAM MENGURANGI VOLUME LIMPASAN PER-
MUKAAN (PERUMAHAN PURI BALI, DEPOK)

ENDAH LESTARI

PERILAKU KOLOM KOMPOSIT TABUNG BAJA BERISI BETON NORMAL AKIBAT BEBAN
AKSIAL SENTRIS DAN EKSENTRIS

DESI PUTRI

ANALISA PENYEBAB DAN AKIBAT PERUBAHAN KONTRAK PEKERJAAN (CONTRACT
CHANGE ORDER) TERHADAP BIAYA PADA PROYEK TRANSMISI

DIAH MARGARETA; ANI FIRDA; YASMID

STUDI KASUS PERUBAHAN LETAK DAN PONDASI TOWER CRANE STATIC MENJADI
TOWER CRANE CLIMBING PADA PROYEK AT DISTRICT 8 SENOPATI JAKARTA SELATAN

HASTANTO SM; RATU GUDAM FADHEVI



SEKOLAH TINGGI TEKNIK – PLN (STT-PLN)

JURNAL FORUM MEKANIKA

VOL. 5 NO. 1

HAL. 1 - 60

JAKARTA, MEI 2016

ISSN : 2356-1491

PERILAKU KOLOM KOMPOSIT TABUNG BAJA BERISI BETON NORMAL AKIBAT BEBAN AKSIAL SENTRIS DAN EKSENTRIS

DESI PUTRI

Jurusan Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

Email : desi_putri08@yahoo.com

Abstrak

Kolom merupakan bagian struktur yang penting. Kolom meneruskan beban dari pelat dan balok ke bawah sampai ke pondasi. Kolom merupakan komponen struktur yang dominan menerima gaya aksial tekan. Kolom komposit dalam tinjauan ini adalah kolom baja yang dibuat dari tabung atau pipa baja dan diisi dengan beton struktural. Penelitian dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat perilaku kolom komposit beton normal yang dicor dalam tabung silinder, mengetahui pengaruh variasi rasio kelangsingan terhadap hubungan beban-lendutan dan kekuatan serta mengetahui perilaku keruntuhan kolom komposit tabung baja dengan variasi eksentrisitas beban. Pembuatan benda uji dengan variasi terhadap rasio ketebalan tabung (D/t), rasio kelangsingan (L/D) dan rasio eksentrisitas (e/D). Benda uji terdiri dari 15 kolom inti beton, 15 kolom pipa baja, 21 kolom komposit pipa baja-beton normal sentris dan 18 kolom komposit pipa baja-beton normal eksentris yang kemudian dibebani aksial sentris dan eksentris. Hasil pengujian menunjukkan, bahwa kapasitas kolom komposit secara keseluruhan lebih tinggi sekitar 7% - 26% daripada penjumlahan aljabar kapasitas komponennya (tabung baja dan inti beton). Pola runtuh kolom komposit pipa baja-beton normal akibat beban sentris dan eksentris menunjukkan keruntuhan geser dan aksial dan bersifat lokal. Tetapi untuk kolom eksentris hanya satu sisi penampang saja yang tabung bajanya mengalami tekuk ke luar bersamaan dengan inti beton mengalami spall di lokasi yang sama.

Kata Kunci : Kolom Komposit, Tabung Baja, Beton Normal

Abstract

The columns are an important part of the structure. Column continued load from of plate and beams until to foundation. The column is a structural component that is dominant receiving axial loads. Composite column in this review is a steel column which is made from tube or steel pipe and filled with structural concrete. This research is carried out to understand the properties of the behavior of composite columns of normal concrete casted in cylinder steel tube; to understand the effect of variations of the slenderness ratio of the load-deflection and strength correlations as well as understanding failure behavior of normal concreted steel tube composite columns with a variation of the eccentric loads. The preparation of the test specimen is based on the variation of the ratio of tube thickness (D/t), the slenderness ratio (L/D), and the Eccentric ratio (e/D). Test specimen consists of 15 columns of concrete core, 15 steel pipe columns, 21 composite columns of normal centric concreted steel pipe and 18 composite columns of normal eccentric concreted steel pipe which then loaded centric axial and eccentric. The results show that the capacity of the composite columns is overall higher about 7%-26% rather than the algebraic sum of the capacity of its components (steel tube and core concrete). The pattern collapse composite columns of normal concreted steel pipe due to centric and eccentric loads showed shear failure and axial and is local. But for the eccentric column is only one side of the cross-section and only the tube steel buckle comes together with the concrete core suffered spall at the same location.

Keywords: Composite Columns, Steel Tube, Normal Concrete

I. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki daerah dengan tingkat kerawanan gempa yang tinggi. Kondisi ini menyebabkan sistem struktur yang dibangun di Indonesia harus mengikuti kaidah bangunan tahan gempa sehingga saat terjadi gempa, struktur dapat bertahan dan melindungi penghuninya dari resiko bahaya gempa. Dalam sistem portal bangunan, kolom merupakan bagian

struktur yang penting. Kolom meneruskan beban dari pelat dan balok ke bawah sampai ke pondasi. Untuk itu diperlukan suatu konstruksi kolom yang kuat dan kaku untuk menopang bangunan.

Berbagai macam bentuk penampang kolom komposit telah banyak dikenal, dan masing-masing dapat digunakan tergantung pada fungsi struktur yang didukungnya. Alasan dipilihnya kolom komposit beton yang dicor kedalam tabung silinder baja karena dalam pengerjaannya konstruksi

tersebut tidak memerlukan bekisting dan tulangan sengkang lagi, sehingga waktu pelaksanaannya dapat lebih cepat. Ditinjau dari segi biaya, bentuk penampang silinder lebih efisien dan menghemat bahan. Sedangkan ditinjau dari segi kekuatan, bentuk penampangnya yang silinder membuat momen inersia kolom sama terhadap setiap sumbu kolom sehingga kolom relatif sangat kaku.

Tujuan Penelitian

Dalam penelitian ini dibuat model eksperimen kolom komposit tabung baja berisi beton normal untuk tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui sifat-sifat perilaku kolom komposit beton normal yang dicor dalam tabung silinder, diantaranya: hubungan antara beban sentris – lendutan pada tiap sampel, hubungan antara beban eksentrisitas – lendutan tiap sampel, dengan variasi tinggi benda uji yang berbeda.
2. Mengetahui pengaruh variasi rasio kelangsingan terhadap hubungan beban-lendutan dan kekuatan.
3. Mengetahui perilaku keruntuhan kolom komposit tabung baja dengan variasi eksentrisitas beban.

Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan pembuat tabung berupa baja dengan tampang lingkaran mempunyai diameter luar 114 mm dengan tebal 1,6 mm; 2,0 mm dan 2,5 mm.
2. Variasi rasio ketebalan (D/t) : 71,25 mm; 57 mm dan 45,6 mm.
3. Rasio kelangsingan (L/D) : 2, 4, 6, 8 dengan panjang yang digunakan 228 mm, 456 mm, 684 mm, dan 912 mm.
4. Rasio eksentrisitas (e/D) : 0; 0,25; 0,5 dan 1,0.
5. Pembebanan statik jangka pendek, sehingga pengaruh *creep* dan redistribusi tegangan pada beton dan baja diabaikan.

II. Landasan Teori

Kolom Komposit

Kolom komposit didefinisikan sebagai kolom baja yang dibuat dari potongan baja giling (*rolled*) *built-up* dan di cor di dalam beton struktural atau terbuat dari tabung atau pipa baja dan diisi dengan beton struktural (Salmon, 1996).

Persyaratan suatu kolom komposit ditentukan dalam SNI 03-1729-2002 pasal 12.3.1, yaitu:

1. Luas penampang baja $\geq 4\%$ luas penampang komposit total
2. Kolom baja berselubung beton harus diberi tulangan longitudinal dan tulangan minimum sebesar $0,18 \text{ mm}^2/\text{mm}$ spesi tulangan

3. Kuat tekan rencana (f'_c), berkisar antara 21 hingga 55 MPa untuk beton normal, dan minimal 28 MPa untuk beton ringan
4. Tegangan leleh (f_y), tidak boleh melebihi 380 MPa
5. Untuk mencegah tekuk lokal pada pipa baja, maka ketebalan dinding minimal disyaratkan sebagai berikut :
 - a. Untuk penampang persegi dengan b , maka $t \geq b\sqrt{f_y/E}$
 - b. Untuk penampang lingkaran dengan diameter D , maka $t \geq D\sqrt{f_y/8E}$

Perilaku Struktur Kolom Komposit

Kolom komposit selalu dikategorikan sebagai kolom pendek (*short*) atau kolom langsing (*slender*). Kedua istilah tersebut tidak mengacu kepada penampakan fisik atau perbandingan antara dimensi lateral terhadap panjangnya, melainkan lebih kepada metode keruntuhannya. Jika efek kekangan pada inti beton tidak diperhatikan dan dianggap terjadi interaksi penuh antara inti beton dan tabung baja, maka kapasitas beban ultimit kolom komposit dapat dihitung sebagai :

$$P_u = P_s + P_c \quad (1)$$

$$P_s = f_y \cdot A_s \quad (2)$$

$$P_c = f'_c \cdot A_c \quad (3)$$

dengan f_y adalah tegangan leleh tabung baja dan f'_c adalah kuat tekan inti beton. Adapun A_s dan A_c berturut-turut adalah luas penampang tabung baja dan inti beton.

Perencanaan Struktur Kolom Komposit ACI 318

Menurut standar ACI 318-99 (1999), suatu kolom komposit lingkaran dapat dianggap sebagai kolom beton bertulang dengan tabung baja sebagai tahanan dari batang tulangan. Jika tidak ada tulangan maka kuat tekan maksimum kolom komposit akibat beban kosentrik dapat dinyatakan sebagai :

$$P_0 = 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \quad (4)$$

$$P_n = 0,85 [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (5)$$

AISC

AISC (1994) memperkenalkan metode perencanaan *Load and Resistance Factor Design (LRFD)*. Tebal dinding tabung lingkaran (t) dibatasi dengan:

$$t \geq D \sqrt{\frac{f_y}{8E}} \quad (6)$$

dengan D adalah diameter tabung baja, f_y adalah tegangan leleh baja, dan E adalah modulus elastisitas baja.

Kekuatan aksial rencana kolom komposit

$$N_u = \phi_c \cdot N_n \quad (7)$$

$$N_n = A_s \cdot f_{cr} = \frac{f_{my}}{\omega} \text{ dengan : } \phi = 0,85 \quad (8)$$

$$\lambda_c = \frac{k_c L}{r_m \pi} \sqrt{\frac{f_{my}}{E_m}} \quad (9)$$

$$f_{my} = f_y + c_1 \cdot f_{yt} \left(\frac{A_r}{A_s} \right) + c_2 \cdot f'_c \left(\frac{A_c}{A_s} \right) \quad (10)$$

$$E_m = E + c_3 \cdot E_s \left(\frac{A_c}{A_s} \right) \quad (11)$$

Jika $\lambda_c \leq 1,5$ (tekuk kolom inelastik) :

$$f_{cr} = \left(0,658 \lambda^2 \right) f_{my} \quad (12)$$

Jika $\lambda_c \geq 1,5$ (tekuk kolom elastik) :

$$f_{cr} = \left(\frac{0,877}{\lambda^2} \right) f_{my} \quad (13)$$

Keterangan :

A_c adalah luas penampang beton, mm²

A_r adalah luas penampang tulangan longitudinal, mm²

E adalah modulus elastis baja, MPa

E_c adalah modulus elastisitas beton, MPa

E_m adalah modulus elastisitas kolom komposit, MPa

f_{cr} adalah tegangan tekan kritis, MPa

f_{my} adalah tegangan leleh kolom komposit, MPa

f_y adalah tegangan leleh profil baja, MPa

f'_c adalah kuat tekan karakteristik beton, MPa

k_c adalah faktor panjang efektif kolom

L adalah panjang komponen struktur, mm

r_m adalah jari-jari girasi kolom komposit, mm

λ_c adalah parameter kelangsingan

ϕ_c adalah faktor reduksi beban aksial tekan

ω adalah faktor tekuk

Pada persamaan di atas, c_1 , c_2 , dan c_3 adalah koefisien yang besarnya :

a). Untuk pipa baja yang diisi beton :

$$c_1 = 1, \quad c_2 = 0,85 \quad \text{dan} \quad c_3 = 0,4$$

b). Untuk profil baja yang diberi selubung beton :

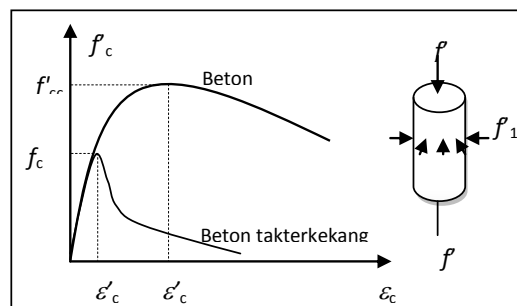
$$c_1 = 0,7 \quad c_2 = 0,6 \quad \text{dan} \quad c_3 = 0,2$$

Beton Normal Terkekang (Confined Concrete)

Beton merupakan campuran antara bahan agregat halus dan agregat kasar dengan pasta semen yang apabila dituangkan ke dalam cetakan dan kemudian didiamkan, akan menjadi keras seperti batuan. Ditinjau dari berat isi beton, beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi 2200-2500 kg/m³ yang menggunakan agregat alam yang di pecah atau tanpa di pecah yang tidak menggunakan bahan tambahan [SNI 03-2834-

1992]. Bila di tinjau dari kuat tekan beton, beton normal adalah beton yang mempunyai nilai kuat tekan 15 - 30 MPa (Tjokrodinuljo, 2007).

Hubungan tegangan-regangan beton terkekang dan tidak terkekang ditunjukkan pada Gambar 2.3



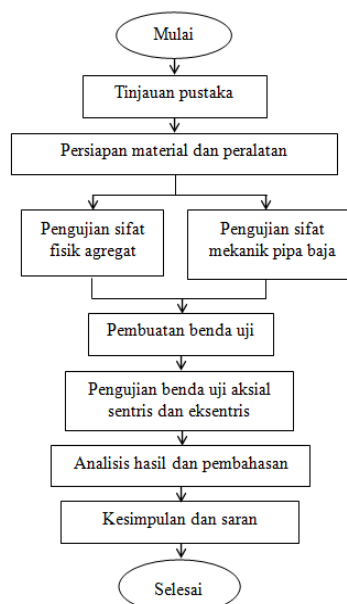
Gambar 1. Grafik hubungan tegangan-regangan beton terkekang dan tidak terkekang (Mander et al., 1988)

III. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan secara eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Mekanika Bahan Pusat Studi Ilmu Teknik (PSIT) Universitas Gadjah Mada dan Diploma Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.

Tahap Pelaksanaan Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian ditunjukkan dalam diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

a. Pengujian Pendahuluan

Pengujian pendahuluan dilakukan untuk mendapatkan sifat-sifat fisik dan mekanik bahan. Sifat-sifat fisik agregat halus dan agregat kasar serta pengujian kuat tarik pipa baja.

b. Pembuatan Benda Uji

Benda uji kolom berupa tabung pipa baja yang diisi dengan beton normal, tabung baja dipotong menggunakan gerinda sesuai dengan model-model yang diinginkan. Pemodelan didasarkan pada rasio ketebalan tabung (D/t), rasio kelangsingan (L/D) dan rasio eksentrisitas (e/D).

c. Pengujian Benda Uji Aksial Sentris Dan Eksentris

Pembebanan aksial sentris dilakukan langsung terhadap model tabung baja yang telah diisi beton, untuk pembebanan aksial eksentrisitas dilakukan dengan pembuatan dudukan beban, berupa pelat dan rol baja pada kedua ujung kolom. Dalam hal ini posisi rol dapat divariasikan untuk mendapatkan rasio eksentrisitas (e/D) yang berbeda, yaitu sebesar 0,25; 0,50 dan 1,00. Pada Tabel 4.1 dapat dilihat daftar seluruh model dengan variasi rasio ketebalan (D/t), rasio kelangsingan (L/D), dan rasio eksentrisitas (e/D). Untuk setiap tipe model dibuat dalam tiga buah benda uji.

Tabel 1 Rekapitulasi Model Benda Uji

No	Kode	L (mm)	D (mm)	t (mm)	D/t	L/D	e/D	Jumlah (bh)	Keterangan
1	CS-1	228	114	1,6	71,25	2	0	3	Komposit
2	CS-1U	228	114	1,6	71,25	2	0	3	Inti beton
3	CS-1S	228	114	1,6	71,25	2	0	3	Tabung baja
4	CS-2	228	114	2,0	57,00	2	0	3	Komposit
5	CS-2U	228	114	2,0	57,00	2	0	3	Inti beton
6	CS-2S	228	114	2,0	57,00	2	0	3	Tabung baja
7	CT-1	456	114	2,0	57,00	4	0	3	Komposit
8	CT-2	456	114	2,5	45,60	4	0	3	Komposit
9	CL-1	456	114	1,6	71,25	4	0	3	Komposit
10	CL-1U	456	114	1,6	71,25	4	0	3	Inti beton
11	CL-1S	456	114	1,6	71,25	4	0	3	Tabung baja
12	CL-2	684	114	1,6	71,25	6	0	3	Komposit
13	CL-2U	684	114	1,6	71,25	6	0	3	Inti beton
14	CL-2S	684	114	1,6	71,25	6	0	3	Tabung baja
15	CL-3	912	114	1,6	71,25	8	0	3	Komposit
16	CL-3U	912	114	1,6	71,25	8	0	3	Inti beton
17	CL-3S	912	114	1,6	71,25	8	0	3	Tabung baja
18	CE-1	456	114	1,6	71,25	4	0,25	3	Komposit
19	CE-2	456	114	1,6	71,25	4	0,50	3	Komposit
20	CE-3	456	114	1,6	71,25	4	1,00	3	Komposit
21	CE-4	684	114	1,6	71,25	6	0,25	3	Komposit
22	CE-5	684	114	1,6	71,25	6	0,50	3	Komposit
23	CE-6	684	114	1,6	71,25	6	1,00	3	Komposit
69									

Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Alat yang digunakan pada pengujian pendahuluan
 - Timbangan
 - Oven
 - Compression Testing Machine
 - Universal Testing Machine (UTM)
- Alat untuk membuat benda uji
 - Meteran

- Gerinda
 - Kaliper
 - Molen
- Peralatan untuk pengujian benda uji
 - Loading frame
 - Hydraulic jack
 - Linear Variabel Displacement Transducer (LVDT)
 - Load cell
 - Data logger

Benda Uji

Material

1. Baja

Material baja yang dipakai merupakan jenis baja *carbon steel* dengan sambungan las dan mempunyai diameter luar 114 mm. Adapun ketebalan tabung baja terdiri atas tiga ukuran, yaitu 1,6 mm; 2,00 mm dan 2,5 mm. Tabung baja yang tersedia di pasaran mempunyai panjang 6 m, yang kemudian dipotong-potong menggunakan gergaji listrik sesuai dengan panjang masing-masing benda uji.

2. Beton

Beton yang dipakai sebagai inti beton (*core*) pada kolom komposit ini merupakan beton normal, dengan bahan agregat kasar yang lolos saringan 20 mm dan tertahan disaringan 10 mm. Karakteristik material beton yang dipakai dapat dilihat pada Tabel 2., sedangkan proporsi campurannya disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2 .Karakteristik Material Beton

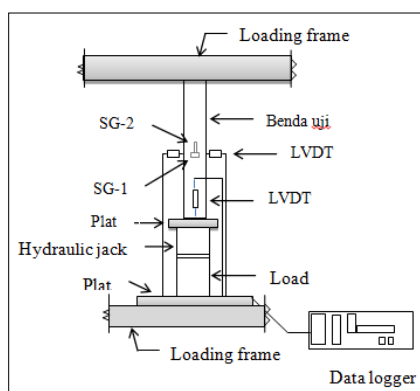
No	Jenis Tes	Pasir	Kerikil
1.	Kadar Lumpur (%)	1,20	0,60
2.	Kadar Air	5,65	1,10
3.	Berat Volume (kg/lt)	1,60	1,50
4.	Berat Jenis Tampak (<i>apparent specific gravity</i>)	2,80	2,57
5.	Berat Jenis Curah (<i>bulk specific gravity</i>)	2,50	2,54
6.	Berat Jenis Jenuh Kering Muka (<i>saturated surface dry</i>)	2,60	2,55
7.	Penyerapan Air (%)	5,00	0,40
8.	Modulus Kehalusan	3,18	6,98

Tabel 3 . Proporsi Campuran Beton

No	Material	Jumlah	
		SSD	Lapangan
1.	Semen (kg)	371	371
2.	Pasir (kg)	758,2	758
3.	Split (kg)	1137,3	1137
4.	Air (lt)	185,5	185,40

Set up pengujian dan instrumentasi

Pengujian kolom komposit pipa baja-beton normal, baik dengan beban aksial konsentrik maupun aksial eksentrik, dilakukan dengan menggunakan *hydraulic jack* merk Simplex, sedangkan pembacaan bebannya dilakukan dengan *load cell* kapasitas 60 ton. Untuk pengujian silinder beton dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm digunakan *Universal Testing Machine* merk Wykeham Farrance dengan kapasitas 2000 kN. Pada Gambar 3., dapat dilihat instrumentasi yang dilakukan untuk pengujian kolom konsentrik. Instrumentasi untuk kolom eksentrik dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Instrumen Kolom Dengan Beban Aksial Sentris



Gambar 4. Pengujian Aksial Sentris

IV. Analisis Dan Pembahasan

Pengujian Material

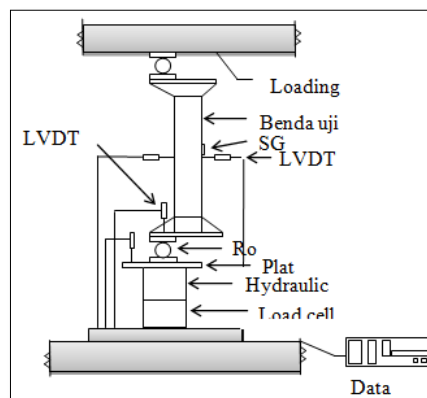
Pada Tabel 4. dapat dilihat hasil pengujian karakteristik silinder beton dan pada Tabel 5. diberikan nilai tegangan leleh tabung baja.

Tabel 4. Hasil Uji Tekan Beton Normal

No	Jenis Pengujian	Nilai
1	Berat volume (kg/m^3)	2.450,40
2	Kuat tekan (f'_c , MPa)	22,04
3	Modulus Elastisitas Beton (E , MPa)	22.064,99

Tabel 5. Proporsi Campuran Beton

No	Tebal (mm)	Teg. Leleh f_y (MPa)	Teg. Max f_u (MPa)
1	1,6	298,40	366,94
2	2,0	320,12	391,92
3	2,5	306,42	373,95



Gambar 4. Instrumen Kolom Dengan Beban Aksial Eksentris



Gambar 6. Pengujian Aksial Eksentris

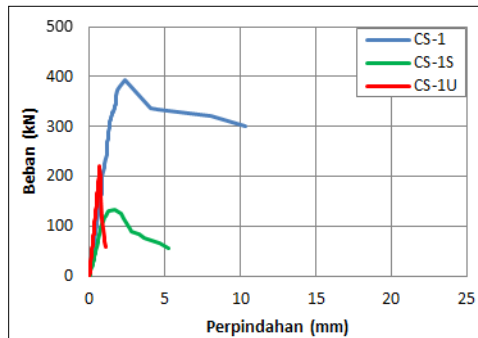
Pengujian dilakukan sampai terjadi keruntuhan benda uji, dengan pengamatan perilakunya selama pembebanan. Dengan adanya data *displacement* dan data pembebanan dari *load cell* dapat diperoleh diagram tegangan-regangan

Pengujian Kolom Komposit Tabung Baja- Beton Normal

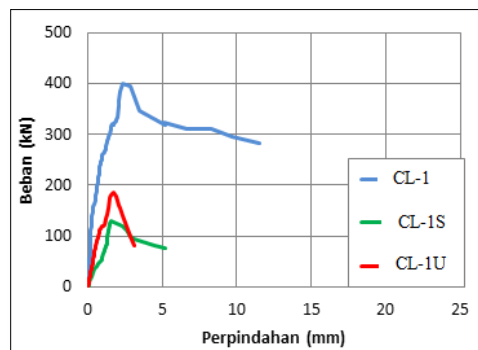
Beban aksial kolom sentris

1. Hubungan beban – perpindahan

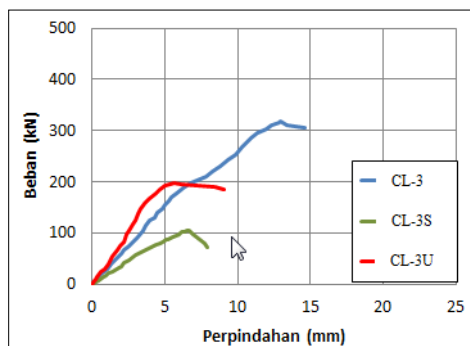
Hasil pengujian dinyatakan dalam hubungan beban-perpindahan (*displacement*) vertikal, seperti ditunjukkan pada Gambar 7 – 10, untuk kolom komposit dengan rasio kelangsingan berturut-turut $L/D = 2$, $L/D = 4$, $L/D = 6$, dan $L/D = 8$



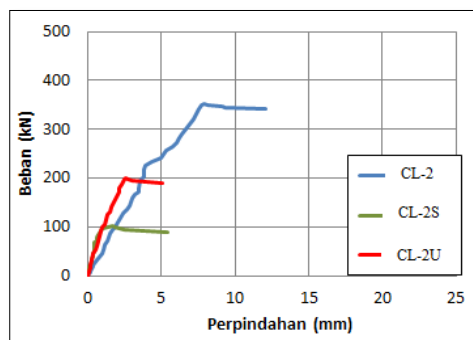
Gambar 7. Diagram Beban-Perpindahan Aksial Untuk Kolom Inti Beton, Kolom Tabung Baja Dan Kolom Komposit ($L/D=2$; $D/T=71,25$)



Gambar 8. Diagram beban-perpindahan aksial untuk kolom inti beton, kolom tabung baja dan kolom komposit ($L/D=4$; $D/T=71,25$)



Gambar 9. Diagram Beban-Perpindahan Aksial Untuk Kolom Inti Beton, Kolom Tabung Baja Dan Kolom Komposit ($L/D=6$; $D/T=71,25$)



Gambar 10. Diagram Beban-Perpindahan Aksial Untuk Kolom Inti Beton, Kolom Tabung Baja Dan Kolom Komposit ($L/D=8$; $D/T=71,25$)

Pada Tabel 6. ditunjukkan peningkatan kapasitas pada kolom komposit, berdasarkan kapasitas-kapasitas komponen hasil pengujian. Sedangkan pada Tabel 7. ditunjukkan perbandingan antara kapasitas hasil pengujian dengan hitungan.

Dari Tabel 6. Dan Tabel 7. dapat dilihat bahwa, kapasitas kolom komposit secara keseluruhan lebih tinggi sekitar 7% - 26% daripada penjumlahan aljabar kapasitas komponennya (tabung baja dan inti beton). Jika dibandingkan dengan hasil hitungan yang berupa penjumlahan kapasitas inti beton dan tabung baja (Persamaan 1-3). Hasil pengujian kolom komposit menunjukkan kapasitas yang berkisar 3 - 5%, bahkan untuk kolom CL-2 tidak menunjukkan peningkatan kekuatan (lebih kecil 7,5%), begitu juga untuk kolom komposit CL-3 tidak menunjukkan peningkatan kekuatan (lebih kecil 14,5%).

Tabel 6. Peningkatan Kapasitas Kolom Komposit

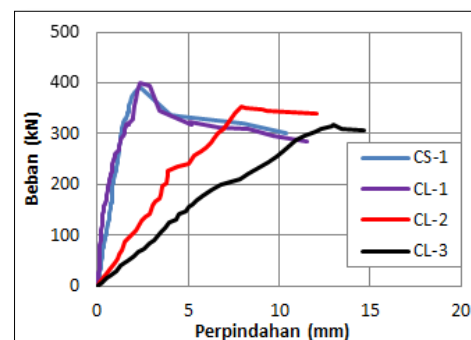
No	Kolom	L/D	Kapasitas tbg.baja (kN)	Kapasitas inti.beton (kN)	Kapasitas (bj+btn) (kN)	Kapasitas komposit (kN)	Peningkatan kapasitas (%)
1	CS-1	2	133,4	210,8	344,2	393,1	14,2
2	CL-1	4	130,2	185,6	315,8	400,1	26,7
3	CL-2	6	102,1	201,2	303,3	352,4	16,2
4	CL-3	8	104,4	198,7	303,1	325,8	7,5

Tabel 7. Perbandingan kapasitas ultimit kolom komposit (hasil pengujian dan hitungan) dengan variasi rasio kelangsingan (L/D)

No	Kolom	L/D	Kapasitas Pengujian (kN)	Kapasitas Hitungan (kN)	Peningkatan Kapasitas (%)
1	CS - 1	2	393,1	380,9	3,2
2	CL - 1	4	400,1	380,9	5,0
3	CL - 2	6	352,4	380,9	-7,5
4	CL - 3	8	325,8	380,9	-14,5

2. Pengaruh Rasio Kelangsingan

Tinjauan pengaruh kelangsingan (L/D) dilakukan untuk nilai $L/D = 2, 4, 6$ dan 8 untuk beban aksial maksimumnya yaitu : untuk kolom CS-1, CL-1, CL-2, dan CL-3

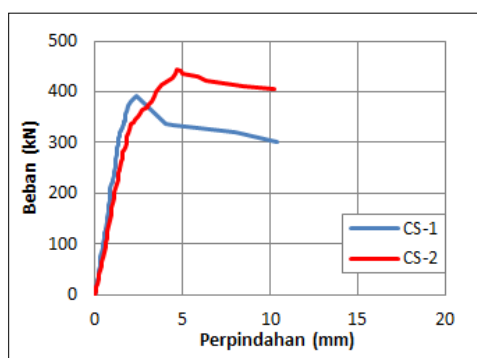


Gambar 11. Diagram Beban-Perpindahan Aksial Untuk Kolom Komposit ($L/D=2, L/D=4, L/D=6$ Dan $L/D=8$)

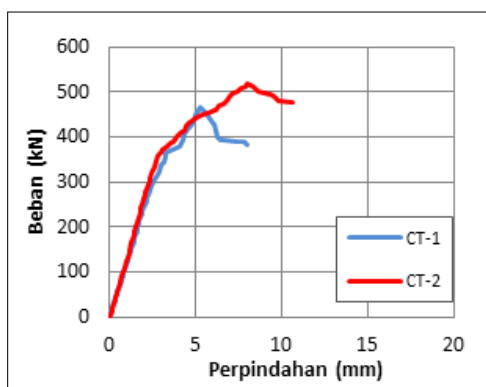
Dari Gambar 11. dapat dilihat, bahwa beban maksimum yang dapat didukung oleh kolom komposit CS-1, CL-1, CL-2, dan CL-3 tidak memiliki perbedaan yang jauh, tetapi perpindahan yang terjadi pada waktu beban maksimum memiliki perbedaan yang agak mencolok.

3. Pengaruh Rasio Ketebalan (D/t) pada Kolom Komposit

Pengaruh ketebalan tabung t terhadap perilaku mekanik kolom komposit yang mengalami pembebanan aksial sentris, dilakukan untuk kolom-kolom CS-1 dan CS-2 dengan $L/D=2$, dan kolom-kolom CT-1 dan CT-2 dengan $L/D=4$. Hubungan beban-perpindahan untuk kolom-kolom CS-1 dan CS-2 ditunjukkan pada Gambar 12. Sedangkan hubungan beban-perpindahan untuk kolom CT-1 dan CT-2 ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 12. Diagram Beban-Perpindahan Aksial Untuk Kolom Komposit Dengan $D/T=71.25$ Dan $D/T=57$ ($L/D=2$).



Gambar 13. Diagram Beban-Perpindahan Aksial Untuk Kolom Komposit Dengan $D/T=57$ Dan $D/T=45$ ($L/D=4$).

Tabel 8 ditunjukkan kapasitas kolom hasil hitungan dan eksperimen, beserta peningkatan kapasitasnya.

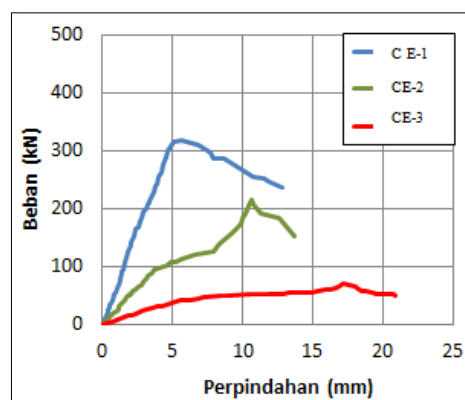
Tabel 8. Perbandingan Kapasitas Ultimit Kolom Komposit (Hasil Pengujian Dan Hitungan) Dengan Variasi Rasio Ketebalan (D/T)

No	Kolom	L/D	Kapasitas Pengujian (kN)	Kapasitas Hitungan (kN)	Peningkatan Kapasitas (%)
1	CS-1	2	393,1	380,9	3,2
2	CS-2	2	443,6	434,5	2,1
3	CT-1	4	467,7	434,5	7,6
4	CT-2	4	517,5	473,7	9,2

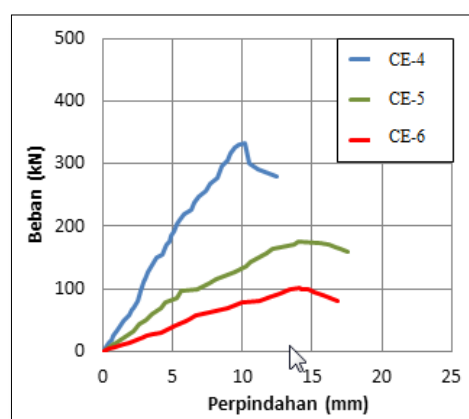
Dari Gambar 11. Gambar 12. dan Tabel 13. dapat dilihat, bahwa ketebalan tabung baja, yang dinyatakan dalam rasio ketebalan D/t , sangat berpengaruh terhadap kapasitas dukung kolom komposit, meskipun dalam hal ini tegangan leleh baja nilainya berlainan untuk ketebalan yang berbeda.

Beban aksial kolom eksentris

Gambar 14 dan 15 ditunjukkan hubungan beban-perpindahan aksial untuk kolom yang dibebani eksentris ($L/D=4$ dan $L/D=6$).

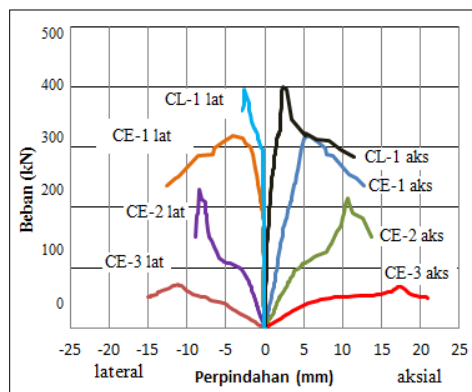


Gambar 14. Diagram beban-perpindahan aksial kolom CE-1, CE-2 dan CE-3 dibebani eksentris ($L/D=4$, $e/D=0,25$; 0,5 dan 1,0)



Gambar 15. Diagram beban-perpindahan aksial untuk kolom CE-4, CE-5 dan CE-6 yang dibebani eksentris ($L/D=6$, $e/D=0,25$; 0,5 dan 1,0)

Dari gambar tersebut terlihat bahwa pengaruh eksentrisitas sangat besar dalam menurunkan kapasitas dukung kolom.



Gambar 16. Diagram Beban-Perpindahan Aksial Dan Lateral Untuk Kolom CL-1, CE-1, CE-2 Dan CE-3 Yang Dibebeani Eksentrik ($L/D=4$, $E/D=0,25$; $0,5$ Dan $1,0$)

Dari Gambar 14. dapat dilihat bahwa, beban-perpindahan lateral untuk yang dibebani eksentris ($e/D=0,25$; $0,5$ dan $1,0$) pada kolom CE-1, CE-2 dan CE-3 menunjukkan pola yang sama dengan arah aksial, tetapi untuk kolom yang dibebani sentris ($e/D=0$) pada kolom CL-1 menunjukkan perpindahan lateral yang jauh lebih kecil daripada arah aksial.

Perhitungan kapasitas aksial kolom komposit

Hasil perhitungan kapasitas aksial kolom komposit berdasarkan peraturan ACI 318 dan AISC berturut-turut disajikan pada Tabel 8. dan Tabel 9. Rangkuman hasil keseluruhan kemudian dicantumkan pada Tabel 5.8, yang selanjutnya disajikan dalam bentuk diagram batang pada Gambar 15.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Kapasitas Aksial Kolom Komposit Berdasarkan ACI 318

No	Kolom	P exp (kN)	P hit-ACI (kN)	Selisih		P hit/P exp
				(kN)	(%)	
1	CS-1	393,1	349,0	44,1	11,2	0,9
2	CS-2	443,6	403,1	40,5	9,1	0,9
3	CT-1	467,7	403,1	64,6	13,8	0,9
4	CT-2	517,5	442,9	74,6	14,4	0,8
5	CL-1	400,1	349,0	51,1	12,8	0,9
6	CL-2	352,4	349,0	3,4	1,0	0,9
7	CL-3	325,8	349,0	-23,2	-7,0	1

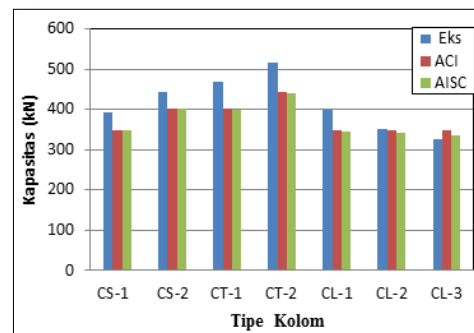
Tabel 9. Hasil Perhitungan Kapasitas Aksial Kolom Komposit Berdasarkan AISC

No	Kolom	P exp (kN)	P hit-AISC (kN)	Selisih		P hit/P exp
				(kN)	(%)	
1	CS-1	393,1	348,2	44,9	11,4	0,9
2	CS-2	443,6	402,1	41,5	9,3	0,9
3	CT-1	467,7	399,0	68,7	14,7	0,8
4	CT-2	517,5	438,6	78,9	15,2	0,8
5	CL-1	400,1	345,6	54,5	13,6	0,9
6	CL-2	352,4	341,4	11	3,1	0,9
7	CL-3	325,8	335,5	-9,7	-3,0	1

Dari Tabel 8. dan Tabel 9. dapat dilihat bahwa, kapasitas aksial kolom komposit berdasarkan peraturan ACI 318 dan AISC bila dibandingkan dengan hasil pengujian memiliki hasil yang hampir sama. Perbandingan kapasitas aksial kolom komposit hasil eksperimen dengan hasil analisis berdasarkan peraturan ACI 318 sebesar $0,8-1$. Perbandingan kapasitas aksial kolom komposit hasil eksperimen dengan hasil analisis berdasarkan peraturan AISC juga sebesar $0,8-1$.

Tabel 10. Rangkuman Hasil Perhitungan Kapasitas Aksial Kolom Komposit

No	Kolom	P exp (kN)	P hit-ACI (kN)	P hit-AISC (kN)
1	CS-1	393,1	349,0	348,2
2	CS-2	443,6	403,1	402,1
3	CT-1	467,7	403,1	399,0
4	CT-2	517,5	442,9	438,6
5	CL-1	400,1	349,0	345,6
6	CL-2	352,4	349,0	341,4
7	CL-3	325,8	349,0	335,5



Gambar 17. Kapasitas Aksial Kolom Komposit Berdasarkan Berbagai Peraturan

Pola Runtuh

Pola runtuh kolom komposit pipa baja-beton normal akibat beban sentris menunjukkan keruntuhan geser dan aksial dan bersifat lokal (*local buckling*). Pada kolom dengan $L/D=2$ bidang geser terjadi hampir ditengah panjang kolom, posisi keruntuhan kolom dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Pola runtuh kolom komposit dengan $L/D=2$

Kolom dengan $L/D=4$ bidang geser terjadi pada sepertiga panjang dari ujung kolom, yang terjadi pada salah satu ujung atau kedua ujungnya. Posisi keruntuhan kolom dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Pola runtuh kolom komposit dengan $L/D=4$

Kolom dengan $L/D=6$ keruntuhan geser terjadi pada sepertiga panjang, sedangkan pada benda uji yang lain terjadi pada seperempat panjang dari ujung. Posisi keruntuhan kolom dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Pola runtuh kolom komposit dengan $L/D=6$

Kolom dengan $D/L=8$, keruntuhan geser terjadi didekat salah satu ujung, sejauh seperlima panjang kolom. Nampak bahwa lokasi kerusakan geser dapat terjadi secara random, dan tidak selalu terjadi di tengah atau di ujung kolom komposit. Posisi keruntuhan kolom dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Pola runtuh kolom komposit dengan $L/D=8$

Kolom dengan tabung baja yang tebal, kerusakan terjadi berupa penggembungan tabung pada salah satu ujungnya, meskipun penggembungan di tengah panjang kolom juga dimungkinkan. Posisi keruntuhan kolom dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. Pola runtuh kolom komposit dengan $D/t=57$ mm dan $D/t=45$ mm

Keruntuhan kolom tubular komposit akibat beban eksentris serupa dengan akibat kosentrik, kecuali hanya satu sisi penampang saja yang tabung bajanya mengalami tekuk ke luar bersamaan dengan inti beton mengalami *spall* di lokasi yang sama. Pola runtuh kolom komposit akibat beban eksentris dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Pola runtuh kolom akibat beban eksentris

Pola runtuh tabung baja kosong berupa tekuk lokal (*local bucling*), yang terjadi pada salah satu ujung kolom, sementara sebagian besar tabung masih nampak utuh. Posisi keruntuhan kolom dapat dilihat pada Gambar 24.



Gambar 24. Pola Runtuh Kolom Tabung Baja Kosong

Pola runtuh inti beton yang terbuat dari beton normal menunjukkan bentuk retak columnar, dengan retak memanjang searah beban. Posisi keruntuhan kolom dapat dilihat pada Gambar 25.



Gambar 25. Pola runtuh kolom dari inti beton saja

Kesimpulan

- 1) Kapasitas dukung aksial pada kolom komposit dibandingkan jumlah kapasitas komponen-komponennya (inti beton dan tabung baja) menunjukkan nilai peningkatan sebesar 7-26%. Jika dibandingkan dengan hasil hitungan yang berupa penjumlahan kapasitas inti beton dan tabung baja. Hasil pengujian kolom komposit menunjukkan kapasitas yang berkisar 3 – 5%
- 2) Pola runtuh kolom komposit pipa baja-beton normal akibat beban sentris menunjukkan keruntuhan geser dan bersifat lokal (*local buckling*). Pada kolom dengan $L/D=2$ bidang geser terjadi hampir ditengah panjang kolom. Pada kolom dengan $L/D=4$ bidang geser terjadi pada sepertiga panjang dari ujung kolom, yang terjadi pada salah satu ujung atau kedua ujungnya. Kolom dengan $L/D=6$ keruntuhan geser terjadi pada sepertiga panjang, sedangkan pada benda uji yang lain terjadi pada seperempat panjang dari ujung. Kolom dengan $D/L=8$, keruntuhan geser terjadi didekat salah satu ujung, sejauh seperlima panjang kolom. Nampak bahwa lokasi kerusakan geser dapat terjadi secara random, dan tidak selalu terjadi di tengah atau di ujung kolom komposit.
- 3) Keruntuhan kolom komposit akibat beban eksentris serupa dengan akibat kosentrik, tetapi hanya satu sisi penampang saja yang tabung bajanya mengalami tekuk ke luar bersamaan dengan inti beton mengalami *spall* di lokasi yang sama.
- 4) Pola runtuh tabung baja kosong berupa tekuk lokal (*local bucling*), yang terjadi pada salah satu ujung kolom, sementara sebagian besar tabung masih nampak utuh.
- 5) Pola runtuh inti beton yang terbuat dari beton normal menunjukkan bentuk retak columnar, dengan retak memanjang searah beban.

Daftar Pustaka

- Giakoumelis, G, Dennis. L., (2004). *Axial Capacity of Circular Concrete-Filled Tube Column*, ELSEVIER Journal of Constructional Steel Research, Vol. 60, No. 7, 1049-1068
- Iskandar, R.M., (2013). *Analisis Perilaku Kolom Tabung Baja Berisi Beton Non Pasir Akibat Beban Aksial dan Momen*, Universitas Gadjah Mada.
- Muslikh, (2005). *Pengaruh Kekangan Beton Terhadap Interaksi Gaya Aksial dan Momen Ultimit pada Kolom Tubular Komposit Lingkaran*. Disertasi Program Dr ITB, Bandung.
- Nawy G. Edward. (1985). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar* (diterjemahkan oleh Bambang Suryatmono), Bandung : Rafika Aditama.
- Salmon, Charles & E.Johnson, John.(1996). *Struktur Baja Desain Dan Perilaku* Jilid 1 Edisi Kedua. Diterjemahkan oleh: Ir. Wira M.S.CE. Jakarta : Erlangga.
- Schneider, S.P. (1998). *Axially Loaded Concrete-Filled Steel Tubes*. ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 124, No. 10. October, 1125-1138
- Srinivasan, C. N. (1999). Discussion : *Axially Loaded Concrete-Filled Steel Tubes*. ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 125, No. 10. October, 1202-1206
- Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, Bandung (SNI 03 – 2834 -1992).
- Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung, (SNI 03 – 1729 – 2002)
- Tjokrodinuljo Kardiyo. (2007). *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada.