

STUDI PERBANDINGAN PERILAKU STRUKTUR GEDUNG DENGAN KOLOM BETON BERTULANG, KOLOM BAJA, DAN KOLOM KOMPOSIT

I Ketut Diartama Kubon Tubuh

Fakultas Teknik Universitas Mahasaraswati Denpasar

Email: diartama.k@gmail.com

ABSTRAK

Studi perbandingan perilaku struktur gedung dengan kolom beton bertulang, kolom baja, dan kolom komposit dilakukan dengan membuat enam buah model struktur. Satu buah model struktur beton bertulang (MC), satu buah model struktur baja (MS), dua buah model struktur baja dengan kolom *encased composite* dengan penampang lingkaran (MEC-C) dan persegi (MEC-S), dan dua buah model dengan struktur baja dengan kolom *filled composite* dengan penampang lingkaran (MFC-C) dan persegi (MFC-S). Perletakan struktur model MC dianggap terjepit pada tanah, sedangkan model lainnya dianggap sebagai sendi. Dimensi kolom lantai IV-V dibuat mengecil dari dimensi kolom di bawahnya. Perletakan struktur model MC dianggap terjepit di tanah, sedangkan perletakan struktur model dengan kolom baja ataupun komposit dianggap sebagai sendi. Perilaku struktur diamati dari hasil analisis elastis berupa simpangan yang kemudian menghasilkan simpangan antar lantai dan *drift ratio*. Hasil analisis menunjukkan, dengan kisaran rasio P-M maksimum dari kolom-kolom sebesar 0,79 sampai dengan 0,88, semua model struktur baja tidak memenuhi persyaratan simpangan antar lantai ijin di lantai I dan II. Orientasi semua kolom pada model MS semula dibuat searah menghasilkan ketimpangan kekakuan antara arah X dan Y, ditanggulangi dengan mengubah orientasi setengah dari jumlah total kolom (selanjutnya disebut model MS-R) juga tidak memenuhi ketentuan simpangan antar lantai ijin. Model MC yang merupakan model struktur beton bertulang menjadi satu-satunya model yang memenuhi aturan simpangan antar lantai tersebut. Selain karena sifat kaku dari material beton tersebut, juga karena pada model MC menggunakan asumsi perletakan jepit.

Kata kunci: Beton Bertulang, Baja, Kolom Komposit, Simpangan Antar Lantai, *Drift Ratio*

ABSTRACT

A comparative study of the behavior of building structures with reinforced concrete columns, steel columns and composite columns was carried out by making six structural models. One reinforced concrete structure model (MC), one steel structure model (MS), two steel structure models with encased composite columns with circular (MEC-C) and square sections (MEC-S), and two models with structure steel with filled composite column with circular (MFC-C) and square (MFC-S) sections. Placement of the structure of the MC model is considered to be pinched to the ground, while other models are considered as joints. The dimensions of the IV-V floor column are made smaller than the dimensions of the columns below. Placement of the structure of the MC model is considered to be wedged in the ground, while placement of the model structure with steel or composite columns is considered as a joint. Structural behavior was observed from the results of elastic analysis in the form of deviations which then resulted in deviations between floors and drift ratio. The analysis shows, with a

maximum P-M ratio range from columns of 0.79 to 0.88, all steel structure models do not meet the deviation requirements between permit floors on floors I and II. The orientation of all columns in the MS model was originally made in the same direction resulting in an imbalance of stiffness between the X and Y directions, overcome by changing the orientation of half of the total number of columns (hereinafter referred to as the MS-R model) also does not meet the deviation provisions between permit floors. The MC model, which is a reinforced concrete structure model, is the only model that meets the deviation rules between the floors. Apart from the rigid nature of the concrete material, it is also because the MC model uses the fixation fixation of the pins.

Keywords: Reinforced Concrete, Steel, Composite Column, Inter-Floor Deviation, Drift Ratio

PENDAHULUAN

Dalam dunia konstruksi, telah lumrah digunakan material beton bertulang, baja, ataupun komposit beton dengan baja sebagai material struktur. Penggunaan material-material tersebut lumrah untuk dipakai karena relatif mudah didapat di pasaran dan sudah terdapat tata cara penggunaan/pedoman dalam melakukan desain serta melaksanakan konstruksi. Selain itu, didukung juga oleh sumber daya manusia dalam hal keterampilan yang mendukung proses-proses *design* dan *build* tersebut.

Ketiga material tersebut dipilih untuk digunakan tentu karena terdapat kelebihan dan kekurangan. Penggunaan material beton bertulang dinilai lebih mudah untuk dilaksanakan dengan biaya yang lebih murah, namun memerlukan waktu pelaksanaan yang lebih lama dibandingkan dengan menggunakan material baja. Sedangkan penggunaan material baja dinilai lebih sulit untuk dilaksanakan karena memerlukan tenaga khusus dengan biaya yang lebih mahal, namun dengan waktu pengerjaan yang lebih singkat dibandingkan dengan material beton bertulang. Perpaduan penggunaan material beton dengan baja berupa komposit menghasilkan keunggulan-keunggulan yang menutupi kekurangan-

kekurangan masing-masing, namun dengan kemudahan yang relatif kurang karena tetap memerlukan tenaga khusus dan akan menjadi boros apabila hanya digunakan pada bangunan *low-rise* building khususnya di Bali.

Sebagai kolom, terdapat dua jenis komposit beton dengan baja, yaitu *encased* dan *filled composite*. Kolom *Encased Composite* (EC) adalah kolom komposit baja terbungkus beton bertulang, yang dibuat dengan membungkus profil *wide flange*(WF) dengan beton bertulang berpenampang persegi atau bundar. Sedangkan kolom *Filled Composite* (FC) adalah kolom baja terisi beton, yang dibuat dengan mengisi beton pada penampang *hollow structural section*(HSS) berpenampang persegi atau bundar. Antara kolom EC dan FC, tentu masing-masing memiliki keunggulan dan kelemahan. Kolom EC akan lebih terlindung dari api dan korosi, sedangkan kolom FC akan lebih rentan. Kolom EC memerlukan pembesian seperti layaknya kolom beton bertulang, namun kolom FC tidak. Meskipun tanpa tambahan pembesian, kolom FC justru memiliki karakteristik yang unik yang tidak dimiliki oleh kolom EC. Pada kolom FC, khususnya berpenampang bundar, akan terjadi fenomena efek saling mengekang. Pengekangan beton oleh

baja HSS akan meningkatkan kekuatan tekan beton mencapai 50% (Schneider, et al., 2004) dan pengekanan baja oleh beton akan mencegah tekuk lokal dinding profil HSS tersebut.

Banyak penelitian mengenai kolom FC dilakukan, namun belum ada yang membandingkan perilaku struktur dengan kolom beton bertulang, kolom baja, kolom FC, dan kolom EC. Maka dari itu dilakukan studi dengan membuat model struktur beton bertulang dan struktur baja menggunakan kolom komposit EC dan FC untuk dibandingkan perilakunya.

DESAIN STRUKTUR

Proses desain/ perancangan struktur umumnya diawali dengan melakukan estimasi dimensi. Kemudian hasil estimasi tersebut dilakukan pengecekan apakah memenuhi ketentuan-ketentuan yang telah diatur pada SNI. Salah satu parameter desain yang dikontrol adalah rasio tulangan longitudinal harus memenuhi syarat dari SNI 2847:2013 (Badan Standardisasi Nasional, 2013) yaitu:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{maks} \quad (1)$$

dengan rasio tulangan minimum dan maksimum untuk balok dihitung dengan persamaan berikut.

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2)$$

dengan

$$\rho_{maks} = 0,75\rho_b \quad (3)$$

$$\rho_b = \frac{0,85f'_c}{f_y} \beta \frac{600}{600+f_y} \quad (4)$$

Sedangkan rasio tulangan kolom harus memenuhi:

$$1\% \leq \rho \leq 6\% \quad (5)$$

Desain balok dan kolom pada struktur baja dilakukan dengan mengikuti peraturan desain komponen struktur penahan gaya gabungan lentur

dan aksial tekan. Proses desain tersebut dilakukan dengan mengontrol perbandingan rasio aksial-lentur (rasio P-M). Pada struktur rangka penahan momen, elemen balok dan kolom umumnya menggunakan profil baja *Wide Flange* (W) yang memiliki simetri ganda. Penamaan dan dimensi profil-profil W tersebut mengikuti standar yang tercantum pada AISC Steel Construction Manual (American Institute of Steel Construction, 2011). Kontrol rasio P-M untuk komponen struktur penahan gabungan lentur dan aksial bersimetri ganda tersebut dicantumkan pada Persamaan (6) untuk $\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$ dan pada Persamaan (7) untuk $\frac{P_r}{P_c} \leq 0,2$.

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (6)$$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \leq 1,0 \quad (7)$$

keterangan:

P_r : kuat aksial perlu (N)

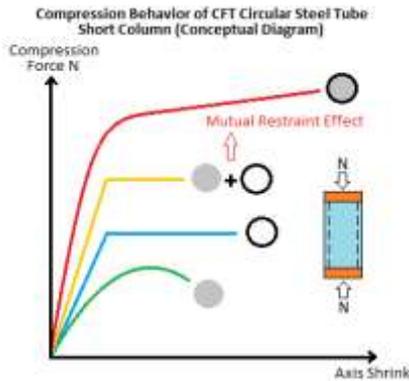
P_c : kapasitas kuat aksial (N)

M_r : kuat lentur perlu (N mm)

M_c : kapasitas kuat lentur (N mm)

x dan y : subskrip untuk pelenturan arah sumbu kuat dan sumbu lemah

Perbedaan karakteristik antara kedua jenis kolom komposit tersebut adalah adanya peningkatan kekuatan tekan beton akibat efek yang saling mengekang pada kolom komposit FC. Adanya efek pengekanan tersebut, kapasitas *ultimate* dari kolom komposit FC adalah lebih besar dari jumlah kekuatan masing-masing komponen beton dan profil baja berongga. Ilustrasi perbandingan kekuatan antara masing-masing komponen dan kolom komposit FC ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Efek Saling Mengekang pada Kolom FC

Sumber: Nakashima (2010)

Dari gambar dapat dilihat bahwa kekuatan kolom komposit FC akibat pengekanan oleh beton dan profil HSS menjadi lebih besar dari hanya penjumlahan kekuatan masing-masing komponen beton ditambah dengan profil HSS saja. Terdapat faktor yang membuat kekuatan beton meningkat akibat efek pengekanan tersebut. Selain itu, beton di dalam profil baja berongga menahan profil baja berongga tersebut mengalami tekuk lokal. Sedangkan profil baja berongga mengekang beton sehingga meningkatkan kekuatan dan kemampuan berdeformasi.

Pada studi yang dilakukan oleh Susantha, et al. (2001), besarnya peningkatan kuat tekan beton (f'_{cc}) akibat pengekanan dianalisis dari banyak eksperimen yang dilakukan oleh sejumlah peneliti. Penampang benda-benda uji tersebut ada yang berbentuk lingkaran, persegi, dan segi delapan. Namun, yang ditinjau pada studi ini adalah penampang lingkaran dan persegi. Parameter-parameter yang digunakan memprediksi peningkatan kuat tekan beton salah satunya adalah rasio mutu beton dengan mutu baja. Dari 19 buah dan 13 buah data prediksi peningkatan mutu beton untuk penampang lingkaran dan persegi yang bervariasi besarnya, dilakukan

pemilihan berdasarkan parameter rasio mutu beton dengan mutu baja. Didapat peningkatan kuat tekan beton untuk penampang lingkaran sebesar 49,9% dan untuk penampang persegi sebesar 21,7%. Selain itu, Schneider, et al. (2004) menyatakan kekuatan tekan beton di dalam profil baja berongga pada kolom komposit FC dapat meningkat akibat efek pengekanan dari profil baja berongga yang mencapai 50% dari kuat tekan silinder beton tanpa pengekanan.

PERILAKU STRUKTUR

Selain mendesain kekuatan elemen pada struktur baja, juga dilakukan kontrol simpangan antar lantai. SNI 1726:2012 pasal 7.8.6 mengatur simpangan antar lantai akibat gempa desain (Δ_l) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (8). Defleksi pusat massa di tingkat ke- x (δ_x) harus ditentukan sesuai dengan Persamaan (9).

$$\Delta_l = \delta_x - \delta_{x-1} \tag{8}$$

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \tag{9}$$

keterangan:

C_d : faktor amplifikasi defleksi dalam Tabel 9 SNI 1726:2012

δ_{xe} : defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastis

I_e : faktor keutamaan gempa

Simpangan antar lantai desain (Δ_l) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin. (Δ_a) sebesar 2% dari tinggi lantai, seperti didapatkan dari Tabel 16 pada SNI 1726:2012. Ketidakberaturan struktur vertikal tidak berlaku jika tidak ada rasio simpangan antar lantai per tinggi lantai (*drift ratio*) antar lantai

akibat gaya seismik lateral desain yang nilainya lebih besar dari 130% rasio simpangan antar lantai per tinggi lantai pada tingkat di atasnya. Hubungan drift ratio untuk dua tingkat teratas struktur bangunan tidak perlu dievaluasi. Terjadinya soft story pada suatu lantai apabila memenuhi Persamaan (10).

$$D_{r,i} > 1,3 \cdot D_{r,i+1} \quad (10)$$

keterangan:

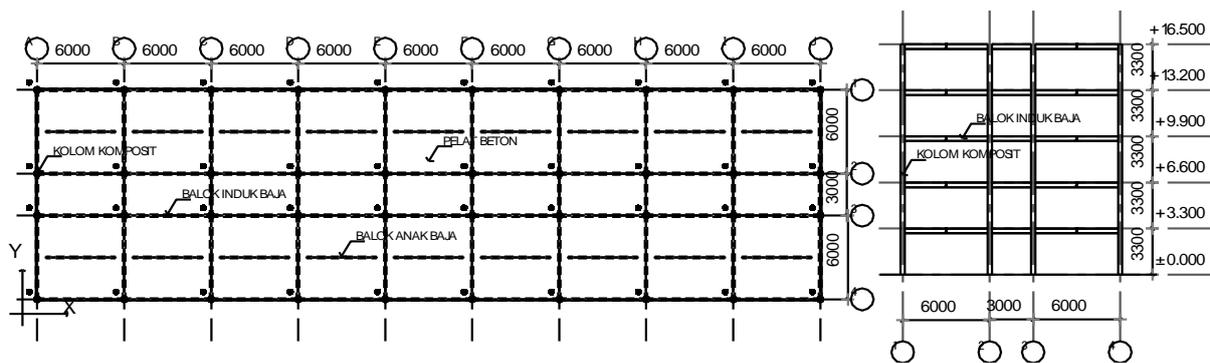
$D_{r,i}$: rasio simpangan antar lantai per tinggi lantai (Δ_i/h_i) ke- i

Δ_i : simpangan antar lantai ke- i

h_i : tinggi lantai ke- i

METODE

Ditinjau suatu struktur bangunan gedung kantor fiktif yang berlokasi di Denpasar, Bali. Gedung berlantai lima dengan denah tipikal dari lantai I sampai lantai V. Tinggi antar lantai adalah sama, yaitu setinggi 3,3 m. Gedung terdiri atas sepuluh buah portal melintang A sampai dengan J dengan Sistem Rangka Penahan Momen Khusus (SRPMK). Satu buah portal melintang terdiri atas tiga bentang. Panjang bentang-bentang ujungnya sebesar 6 m, sedangkan panjang bentang bagian tengah sebesar 3 m. Jarak antar portal melintang sebesar 6 m. Gambar denah tipikal untuk kelima lantai dan portal disajikan pada Gambar 2.

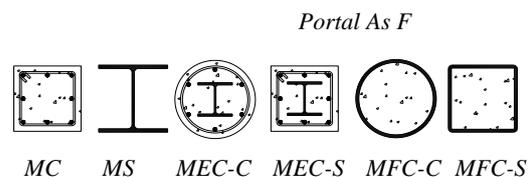


Denah Tipikal Lantai I - V

Gambar 2. Denah dan Portal Model Struktur

Gedung yang ditinjau dibuat menjadi lima buah model struktur. Balok induk dan balok anak semua model menggunakan material baja. Pelat menggunakan material beton bertulang yang dikompositkan balok anak baja. Sedangkan kolom, dibedakan tipenya untuk setiap model yaitu, model Concrete (MC), model Steel (MS) adalah model struktur yang menggunakan kolom-kolom baja profil Wide Flange (W), model ECcircular (MEC-C) dan square (MEC-S) adalah model struktur yang menggunakan kolom-kolom komposit baja profil W dibungkus beton bertulang lingkaran dan persegi. Model FCcircular (MFC-

C) dan square (MFC-S) adalah model struktur yang menggunakan kolom-kolom komposit beton dibungkus profil baja berongga atau *Hollow Structural Section* (HSS) lingkaran dan persegi. Selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Penampang Kolom untuk Masing-masing Model Struktur

Dimensi kolom-kolom dibuat mengecil semakin ke atas, sehingga menjadi dua kelompok kolom yaitu kolom lantai I-III dan kolom lantai IV-V. Profil baja yang digunakan sesuai dengan standar AISC seperti W dan HSS, dengan standar material sesuai ASTM A992 dan A618. Begitu juga dengan tulangan yang menggunakan material sesuai ASTM A615. Sedangkan material beton yang digunakan adalah beton normal standar ASTM C94 dengan kekuatan tekan 4000 psi. Pemodelan, analisis, dan desain menggunakan ETABS® dengan pembebanan sesuai PPIUG 1983 dan SNI 1727:2013, serta pembebanan gempa sesuai SNI 1726:2012 atau ASCE 7-05. Preferensi desain berdasarkan SNI 2847:2013 atau ACI318-11 untuk beton bertulang, SNI 1729:2015 atau AISC 360-10 dan ANSI/AISC 341-05 untuk material baja dan komposit baja beton.

HASIL DAN PEMBAHASAN
Dimensi Elemen Struktur

Dimensi balok induk semua model kecuali model MC adalah W14×36 untuk lantai I-IV dan W14×26 untuk lantai V. Dimensi balok induk model MC adalah 25cm×50cm untuk lantai I-IV dan 25cm×45cm untuk lantai V. Sedangkan dimensi balok anak semua model selain MC adalah W10×15 dan W10×12 untuk lantai I-IV dan lantai V. Dimensi balok anak untuk model MC adalah 25cm×35cm untuk lantai I-IV dan 25cm×30cm untuk lantai V. Rasio interaksi aksial-lentur (rasio P-M) balok baja yang paling kecil adalah sebesar 0,525. Sedangkan penulangan balok induk maupun balok beton bertulang, ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Luas Tulangan Perlu Balok Model MC

Balok (cm)	Pembesian (mm ² ; mm ² /mm)		
	Posisi	Tumpuan	Lapangan
25×50	Atas	920	287
	Bawah	460	574
	Senggang	0,892	0,892
25×45	Atas	245	109
	Bawah	123	218
	Senggang	0,208	0,208
25×35	Atas	433	201
	Bawah	217	402
	Senggang	0,427	0,427
25×30	Atas	203	77
	Bawah	102	154
	Senggang	0,208	0,208

Luas tulangan bawah pada tumpuan dan luas tulangan atas pada lapangan bukan hasil langsung dari *software*. Angka tersebut dihitung dengan asumsi sebesar setengah dari luas tulangan di posisi seberangnya. Luas tulangan sengkang perlu yang ditampilkan adalah yang menghasilkan jarak yang paling rapat, yang umumnya berada pada daerah tumpuan dari balok.

Untuk kolom, dengan rasio P-M paling kecil sebesar 0,7 didapat dimensi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Kolom-kolom pada model MS tidak memenuhi batasan tekuk lokal untuk elemen yang sangat daktail sesuai preferensi desain ketahanan terhadap gempa AISC 341-05 untuk sistem SRPMK. Rasio-rasio P-M untuk kolom dapat ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Dimensi Kolom Semua Model Beserta Rasio P-M

Model	Lantai	Kolom	Rasio P-M
-------	--------	-------	-----------

MC	IV-V	35cm×35cm	0,881
	I-III	45cm×45cm	0,832
MS	IV-V	W12×45	0,804
	I-III	W14×90	0,719
MEC-C	IV-V	W6×16 + Beton D=350 mm	0,790
	I-III	W10×45 + Beton D=450 mm	0,863
MEC-S	IV-V	W6×16 + Beton S=300 mm	0,851
	I-III	W10×45 + Beton S=400 mm	0,867
MFC-C	IV-V	HSS10×0,250 + Beton Pengisi	0,824
	I-III	HSS14×0,375 + Beton Pengisi	0,808
MFC-S	IV-V	HSS10×10×3/16 + Beton Pengisi	0,825
	I-III	HSS14×14×1/4 + Beton Pengisi	0,882

Pemasangan pembesian kolom-kolom model MC ditampilkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Pembesian Kolom Model MC

Ko- lom (cm)	Pembesian		
	Posisi	Tumpuan	Lapangan
25×50	Utama	12 D16	12 D16
	Sengkang	d8-100	d8-150
25×45	Utama	8 D16	8 D16
	Sengkang	d8-100	d8-150

Rasio luas penampang baja pada kolom model komposit memenuhi ketentuan rasio minimum 1% dengan rasio paling kecil sebesar 3,2%.

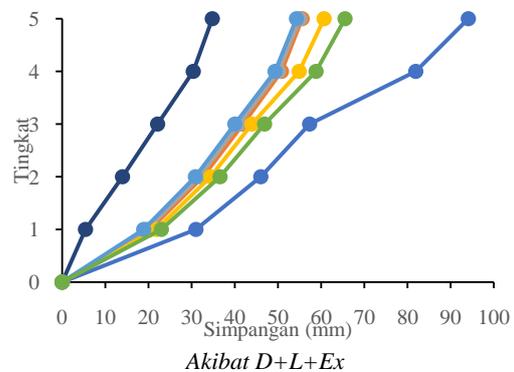
Simpangan

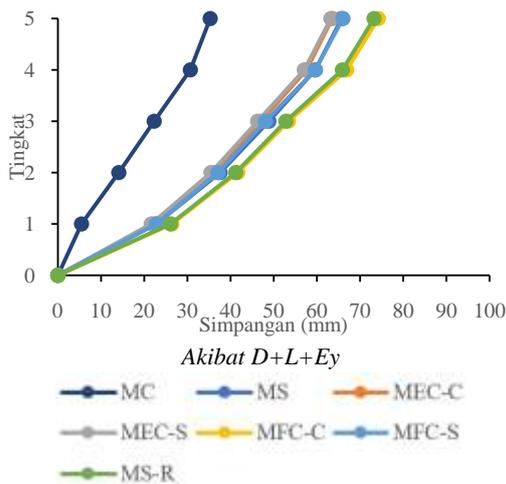
Simpangan elastis struktur dihitung pada arah X dan arah Y, akibat kombinasi beban mati, beban hidup, dan

beban gempa arah X (Ex) maupun gempa arah Y (Ey). Besarnya gaya lateral tingkat semua model kecuali MC adalah sama besar karena dilakukannya penyetaraan massa bangunan, yaitu sebesar 395 kN, 450 kN, 323 kN, 200 kN, dan 86 kN berturut-turut pada lantai teratas hingga lantai terbawah. Sedangkan pada model MC tidak dilakukan penyetaraan massa bangunan karena perbedaan massa bangunan yang ekstrim dengan model lainnya. Besarnya gaya lateral tingkat model MC sebesar 456 kN, 992 kN, 1374 kN, 1611 kN, dan 1712 kN berturut-turut pada lantai teratas hingga lantai terbawah.

Simpangan arah Y pada puncak lantai model MS adalah yang paling besar, yaitu 94,1 mm. Namun, simpangan arah X-nya hanya sebesar 65,7 mm.

Perbedaan simpangan arah X dan Y model MS yang ekstrim disebabkan oleh ketimpangan inersia momen kolom model MS arah X dengan arah Y. Sehingga semua kolom as-1 dan 4 dilakukan perubahan orientasi sebesar 90° (selanjutnya disebut model Steel-Rotated atau MS-R) dan memberikan hasil simpangan yang ditunjukkan Gambar 4.





Gambar 4. Simpangan Elastis Struktur Semua Model Akibat D+L+E

Dari gambar di atas dapat diamati bahwa simpangan model MS-R arah Y berkurang dan grafiknya simpangannya mendekati grafik simpangan model-model lainnya. Dengan perubahan orientasi tersebut menyebabkan simpangan arah X menjadi lebih besar dibandingkan sebelum dilakukan perubahan orientasi (model MS). Simpangan puncak arah X dan Y model MC adalah yang terkecil, yaitu sebesar 34,8 mm dan 35,3 mm. Hal ini juga

dipengaruhi oleh asumsi perletakan struktur pada model MC yang berupa jepit. Simpangan arah Y model lainnya pada kisaran 54 mm sampai dengan 61 mm. Sedangkan simpangan arah X di puncak lantai model MFC-C adalah yang terbesar, yaitu sebesar 74,2 mm. Model-model lainnya berimpit dengan besar simpangan berkisar dari 63 mm sampai 66 mm.

Simpangan Antar Lantai

Pemeriksaan simpangan antar lantai dilakukan untuk mengetahui apakah ada yang melebihi simpangan antar lantai ijin berdasarkan SNI 1726:2012 sebesar 2% tinggi lantai. Ketidakberaturan tingkat lunak juga diperiksa untuk mengetahui apakah ada lantai yang mengalami *soft story* dengan cara membandingkan kekakuan suatu lantai dengan lantai di atasnya apakah ada yang melebihi 130% atau tidak. Pemeriksaan simpangan antar lantai semua model ditampilkan pada Tabel 4 dan pemeriksaan ketidakberaturan tingkat lunak disajikan pada Tabel 5.

Tabel 4. Simpangan Antar Lantai (Δ_l)

Lt. ke-x	Simpangan Antar Lantai (Δ_l) Akibat D+L+E (mm)											
	MC		MS-R		MEC-C		MEC-S		MFC-C		MFC-S	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
5	24,2	25,3	40,2	36,9	32,5	26,4	33,6	27,5	40,2	31,9	35,2	27,5
4	45,7	46,2	72,1	65,5	58,3	49,0	59,4	50,1	74,3	60,0	63,3	51,2
3	44,6	45,1	63,8	56,7	59,4	51,2	59,4	50,6	64,4	52,8	60,5	50,1
2	47,3	47,3	83,1	74,8	77,6	67,1	76,5	66,6	84,2	69,3	78,7	66,0
1	29,7	30,3	143,6	126,5	121,6	112,2	118,8	108,4	145,2	119,9	125,4	104,0

Catatan: -Simpangan antar lantai ijin (Δ_a)= 66 mm
 -Nilai yang dicetak tebal melampaui simpangan antar lantai ijin

Tabel 5. Perbandingan *Drift* Antar Lantai

Lt. ke-x	h_s (m)	Perbandingan <i>Drift</i> Akibat D+L+E (%)											
		MC		MS-R		MEC-C		MEC-S		MFC-C		MFC-S	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
5	3,3												
4	3,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	3,3	98	98	89	87	102	104	100	101	87	88	96	98

2	3,3	106	105	130	132	131	131	129	132	131	131	130	132
1	3,3	63	64	173	169	157	167	155	163	173	173	159	158

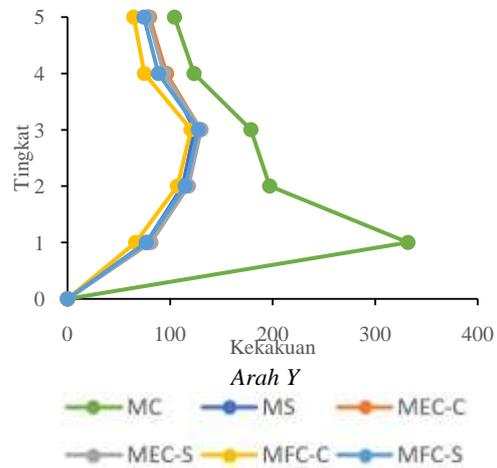
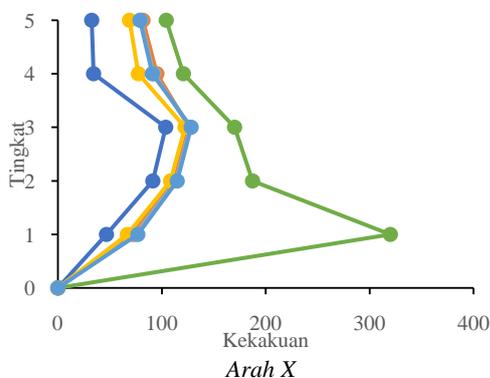
Catatan: -Perbandingan *drift* maksimum = 130%

-Nilai yang dicetak tebal melampaui perbandingan *drift* maksimum

Dari Tabel 4 dapat diamati lantai I dan II semua model, kecuali model MC, melebihi simpangan antar lantai ijin. Simpangan antar lantai IV, yang mana mengalami pengecilan dimensi kolom, model MS-R dan MCFTC juga melebihi 66 mm.

Dapat diamati juga pada Tabel 5, lantai I semua model, kecuali model MC, pada kedua arah mengalami *soft story*. Hal ini akibat dari perletakan sendi yang menyebabkan simpangan pada lantai tersebut sangat besar dan membuat kekakuan lantai I menjadi lemah. Perbandingan tidak dilakukan antara dua lantai teratas (lantai IV dengan V) seperti yang ditentukan pada SNI 1726:2012, sehingga pada tabel diberi tanda strip (“-“).

Model MC adalah satu-satunya model yang memenuhi persyaratan simpangan antar lantai ijin dan memenuhi persyaratan *drift* maksimum. Hal ini disebabkan selain karena asumsi perletakan yang terjepit di tanah, juga model MC memiliki kekakuan struktur terhadap beban lateral yang besar. Perbandingan besarnya kekakuan lantai antara MC dengan model lainnya disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kekakuan Tingkat Struktur Semua Model (dalam $\times 10^3$ kN/m)

Dapat diperhatikan kekakuan tingkat struktur model MC adalah yang terbesar, baik arah X maupun Y.

Penggunaan asumsi perletakan berupa jepit pada model MC mengakibatkan kekakuan tingkat/lantai ke-1 adalah yang maksimum di antara kekakuan tingkat lainnya pada model tersebut, yaitu sebesar 319883 kN/m untuk arah X dan sebesar 331892 kN/m untuk arah Y. Model lainnya selain model MC yang menggunakan asumsi perletakan sendi memiliki kekakuan tingkat dengan besaran yang hampir sama besar, dapat dilihat dari grafik yang hampir berimpit.

KESIMPULAN

Pada studi ini telah dianalisis perilaku dari struktur gedung dengan sistem Struktur Rangka Penahan Momen Khusus (SRPMK) menggunakan kolom dan balok beton bertulang (model MC), kolom dan balok baja (model MS), kolom komposit *Encased Composite* dengan

balok baja (model MEC-C dan MEC-S), serta kolom komposit *Filled Composite* dengan balok baja (model MFC-C dan MFC-S). Dari hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa:

1. Model struktur MC adalah yang paling kaku. Selain karena elastisitas beton yang lebih kecil dibandingkan baja, juga dipengaruhi oleh penggunaan asumsi perletakan jepit.
2. Dengan rasio P-M maksimum pada kolom sebesar 0,79 sampai dengan 0,88, semua model kecuali model MC tidak memenuhi persyaratan simpangan antar lantai ijin dan mengalami ketidakberaturan tingkat lunak (*soft story*).

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute. (2011). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11)*. Farmington Hills, Michigan: ACI.
- American Institute of Steel Construction. (2010). *Specification for Structural Steel Buildings*. Chicago, Illinois: AISC.
- American Institute of Steel Construction. (2011). *Steel Construction Manual* (14th ed.). Chicago, Illinois: AISC.
- American Society of Civil Engineers. (2006). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Reston: ASCE.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012)*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2013)*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI 1729:2015)*. Jakarta: BSN.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Nakashima, H. (2015). *Steel Construction Technologies in Japan*. Tokyo: HIDA Japan.
- Schneider, S. P., Kramer, D. R., & Sarkkinen, D. L. (2004). *The Design and Construction of Concrete-Filled Steel Tube Column Frames*. Vancouver: 13th World Conference on Earthquake Engineering.
- Susantha, K., Ge, H., & Usami, T. (2001). *Uniaxial Stress-Strain Relationship of Concrete Confined by Various Shaped Steel Tubes*. *Elsevier Engineering Structures*, 23, 1331-1347.