

TORSI AKTUAL PADA SRPM SIMETRIS

Ade Faisal¹

¹*Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Jl. Mukhtar Basri 3 Medan
Email: adefaisal@yahoo.com*

ABSTRAK

Makalah ini membahas sebuah kebiasaan para perencana dalam pemodelan struktur. Struktur gedung umumnya dimodelkan dalam bentuk sistem rangka pemikul momen (SRPM) terbuka atau portal terbuka dengan lantai dianggap sebagai diafragma dan dinding pasangan bata umumnya dianggap sebagai elemen non struktural. Padahal keberadaan dinding ini menambah kekakuan lateral pada struktur tersebut. Kondisi ini juga menyebabkan terjadinya eksentrisitas antara pusat masa dan pusat kekakuan sehingga menimbulkan torsi pada lantai. Makalah ini bertujuan untuk menelusuri lebih dalam seberapa besar torsi pada lantai dapat terjadi dan mempengaruhi respon pada kondisi aktual, baik itu dalam kondisi linear maupun tidak linear.

Kata kunci: pemodelan, eksentristas, torsi, respon tidak linear

1. PENDAHULUAN

Sistem rangka pemikul momen (SRPM) adalah salah satu sistem struktur utama dalam menahan gaya-gaya lateral, baik itu gaya lateral akibat gempa maupun angin. SRPM ini dikenal cukup baik dalam memberikan sistem yang daktail namun sayangnya kurang baik dalam memberikan kekakuan lateral, khususnya untuk bangunan-bangunan yang tinggi. Untuk itu SRPM sering “dikawinkan” dengan sistem lain (*dual system*) agar kekakuan lateralnya menjadi lebih baik, seperti SRPM dengan dinding struktural ataupun SRPM dengan bresing. Simpangan antar-tingkat yang relatif besar pada tingkat-tingkat bawah di SRPM akan menjadi mengecil dengan *dual system*. Pemakaian dinding struktural ataupun struktur bresing harus hati-hati karena dapat memberikan masalah baru kepada sistem secara keseluruhan yaitu masalah torsi. Torsi ini terjadi akibat posisi pusat massa tidak lagi berhimpit dengan pusat kekakuan pada bidang lantai. Dengan kata lain torsi ditimbulkan oleh adanya eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan, sehingga gaya inersia yang terjadi di pusat massa harus ditahan oleh pusat kekakuan secara berjauhan sehingga menyebabkan rotasi pada lantai.

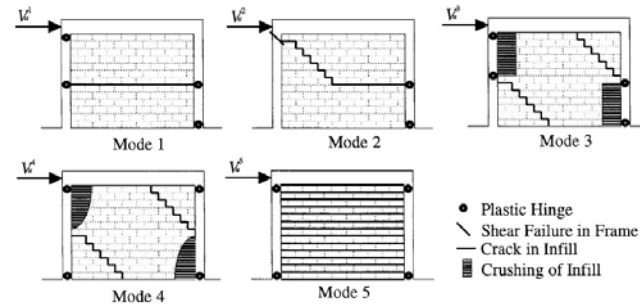
Dengan menganalogikan kondisi di atas, sebuah gedung bertingkat rendah yang memiliki kondisi geometri struktur horizontal yang simetris dapat juga mengalami masalah torsi pada kondisi aktualnya. Hal ini disebabkan oleh adanya persepsi dalam perencanaan yaitu selalu menganggap gedung sebagai SRPM terbuka (portal terbuka) tanpa memasukkan dinding pasangan bata (DB) sebagai elemen struktural. Pada umumnya DB dianggap sebagai elemen non struktural adalah karena kemampuannya yang dianggap kecil dalam memikul beban gravitasi dan juga beban lateral. Padahal bila DB terpasang sangat rapat dengan SRPM maka DB dapat memberikan kekakuan lateral tambahan untuk mengurangi simpangan akibat gaya lateral (Tomazevic, 1999). Makalah ini bertujuan untuk menjelaskan lebih dalam pengaruh DB pada SRPM bertingkat rendah dalam memberikan torsi pada lantai ditinjau dari respon linear maupun respon non linear.

2. RESPON SRPM DENGAN DINDING PENGISI TERHADAP GEMPA

Buonopane dan White (1999) menjelaskan bahwa SRPM dengan dinding pengisi (SRPM-DP) telah ramai diteliti baik itu secara analitik, numerik maupun eksperimental di laboratorium sejak tahun 50-an. Secara eksperimental SRPM-DP ber dinding penuh dan juga dengan bukaan telah diteliti, baik itu modelnya dalam bentuk skala penuh maupun model dalam bentuk yang diperkecil. Persamaan empiris untuk mengestimasi gaya lateral SRPM-DP (dinding pasangan bata) telah diperkenalkan pada era ini. Kemudian teknologi SRPM-DP terus berkembang di tahun 60-an dimana pada era ini diperkenalkan persamaan analitik untuk menentukan lendutan dan beban batas. Pada era ini juga diperkenalkan konsep strut tekan ekivalen sebagai elemen struktur untuk dinding pengisi (DP). Elemen strut tekan ekivalen telah ramai dipakai saat ini dalam analisa struktur model SRPM-DP.

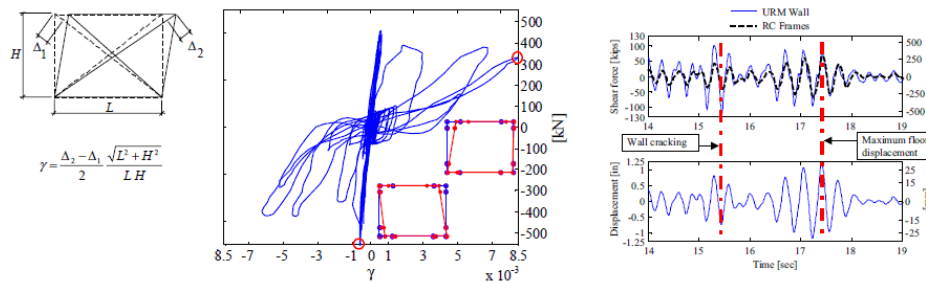
Kegagalan DP dalam merespon gaya lateral memiliki banyak ragam (Mehrabi dkk., 1996). Perilaku kegagalan ini umumnya dipengaruhi oleh gelinciran join (*joint sliding*), kehancuran bagian sudut (*corner crushing*) dan retak diagonal (*diagonal cracking*), atau kombinasi diantara ketiga faktor ini. Kegagalan ini sangat tergantung kepada properti bahan (kuat tekan, kuat geser, koefisien friksi), kondisi geometri (bukaan pada bidang muka antara dinding dan SRPM, bukaan untuk jendela/pintu) dan juga kualitas pelaksanaan pembuatan SRPM-DP. Mehrabi dkk.

menjelaskan ada 5 bentuk ragam kegagalan yang sering terjadi pada SRPM-DP, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Kegagalan struktur dapat terjadi akibat DP memberikan gaya lokal yang besar kepada SRPM di tempat yang tidak direncanakan menahan gaya tersebut. Contohnya pada Mode 1 (Gambar 1) tahanan lateral yang dimiliki DP hilang setelah retak horizontal terjadi sehingga menyebabkan terjadinya momen lentur yang cukup signifikan di daerah tengah kolom. Padahal daerah tengah kolom ini di dalam desain dikenal sebagai daerah yang memiliki momen yang tidak signifikan. Akibatnya sendi plastis dapat terjadi pada daerah ini di kedua kolom yang mengapit DP, yang dikenal dengan efek kolom pendek (*short column effect*). Efek kolom pendek ini dapat juga terjadi akibat retak diagonal (Mode 3) dan kombinasi horizontal-diagonal (Mode 2). Kondisi ini dapat menyebabkan ketahanan geser lateral struktur secara global menjadi melemah secara drastis sehingga meningkatkan gaya geser dan kemudian menyebabkan keruntuhan geser datang lebih awal (Mode 2).



Gambar 1. Ragam kegagalan struktur SRPM-DP yang sering terjadi (Mehrabi dkk., 1996).

Hashemi dan Mosalam (2006) menjelaskan perilaku kehancuran SRPM-DP ketika mendapat getaran gempa maximum atau *maximum considered earthquake* (MCE = probabilitas terlampaui 2% di dalam umur layan 50 tahun) yang dapat terjadi di USA. Hashemi dan Mosalam menjelaskan bahwa kekakuan SRPM-DP mengalami penurunan drastis ketika gempa MCE terjadi yang diakibatkan oleh retak yang terjadi pada DP dan hilangnya rekatan antara DP dan SRPM. Gambar 2 menjelaskan grafik histeresis gaya geser dan deformasi geser yang terjadi pada DP dan juga grafik riwayat waktu gaya geser dan simpangan yang terjadi pada SRPM dan DP hasil studi Hashemi dan Mosalam. Studi ini menyimpulkan bahwa DP memiliki peran penting di dalam SRPM-DP seperti meningkatkan kekakuan lateral struktur menjadi 3 kali lipat dan juga meningkatkan penyebaran energi. Peningkatan kekakuan ini menyebabkan perioda getaran alami SRPM-DP menjadi 50% lebih pendek dibanding SRPM tanpa DP. Artinya *seismic demand* aktual akan sangat berbeda bila SRPM-DP dimodelkan sebagai SRPM biasa.



Gambar 2. Respon SRPM-DP terhadap getaran gempa secara eksperimental (Hashemi dan Mosalam, 2006).

Walaupun DP menambah kekakuan lateral struktur, namun pada proses perencanaan umumnya DP pasangan bata tetap tidak dianggap sebagai elemen struktur. DP dianggap hanya memberi berat kepada elemen balok dan keberadaannya dipakai sebagai indikator kinerja global. Sebagai indikator kinerja untuk *collapse prevention*, ASCE 7-10 mensyaratkan pembatasan simpangan antar lantai (*story drift*) sebesar 2,0 % - 2,5% untuk SRPM yang berfungsi sebagai bangunan normal bila mengalami 2/3 gaya akibat gempa 2500 tahun. Pada SNI 1726:2012 batasan ini boleh dilampaui sampai mencapai 125%. Pada kondisi seperti ini DP dianggap akan mengalami kerusakan parah atau bahkan rubuh. Dalam proses evaluasi dan rehabilitasi struktur, DP dianggap sebagai elemen penahan gaya vertikal, (ASCE 41-06). Dokumen ini membatasi simpangan antar lantai sebesar 4% untuk kinerja *collapse prevention* dan 2% untuk *life safety*, dimana kondisi DP akan mengalami rusak sampai dengan rubuh.

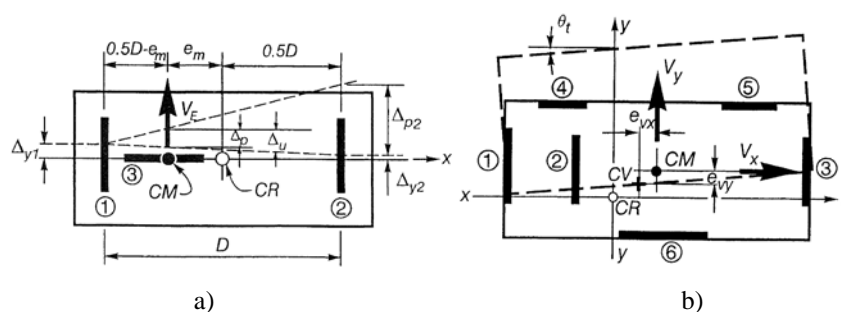
3. TORSI PADA BIDANG LANTAI STRUKTUR GEDUNG

Torsi pada bidang lantai struktur gedung umumnya dikaitkan kepada isu ketidakberaturan (*assymmetric*) bangunan secara horizontal akibat tidak berhimpitnya letak pusat massa dengan pusat kekakuan dan pusat kekuatan (gaya). Karena struktur direncanakan secara daktail maka letak pusat kekuatan menjadi isu penting juga di dalam masalah torsi. Hal ini disebabkan karena respon tidak elastis sebuah sistem SRPM, akibat terjadinya sendi plastis, dapat menimbulkan efek torsi pada lantai sehingga memperbesar peluang kegagalan struktur (Paulay, 1997). Torsi juga dikaitkan kepada isu ketidakpastian (*uncertainties*) dalam perencanaan seperti ketidakpastian eksentrisitas antara letak pusat massa, kekakuan, dan kekuatan. Ketidakpastian getaran juga dapat menimbulkan torsi seperti yang diakibatkan oleh getaran rotasi pada perletakan struktur yang mengakibatkan terjadinya getaran torsi. Torsi akibat ketidakpastian ini, disebut *accidental torsion* di dalam peraturan bangunan tahan gempa dan harus ditinjau bila analisa gaya lateral gempa menggunakan metode statik ekuivalen.

Di dalam sistem yang tidak simetris (tidak beraturan), bagian pada denah lantai dibagi kepada 2 bagian berdasarkan perilaku deformasinya yaitu sisi fleksibel dan sisi kaku. Sisi fleksibel adalah sisi yang terjauh dengan pusat kekakuan dan sisi ini akan mengalami deformasi lateral yang lebih besar dibanding dengan sisi kaku. Pada sistem yang tidak elastis, nilai daktilitas yang terjadi pada kedua sisi ini bisa berbeda 2 kali lipat sehingga tingkat kerusakan yang akan terjadi bila terkena gempa juga akan berbeda drastis (Stathopoulos dan Anagnostopoulos, 2005).

Paulay (1996) membedakan 2 jenis perilaku sistem yang memiliki torsi ketika menerima gaya gempa yaitu sistem yang torsinya terkekang (*torsionally restraint system*, disingkat TRS) dan sistem yang torsinya tidak terkekang (*torsionally unrestrained system* disingkat TURS). Kedua jenis ini dikaitkan kepada ketahanan elemen penahan gaya lateral setelah mengalami leleh dalam menahan gaya torsi. Jenis perilaku ini berbeda dengan penggolongan klasik yang diberikan untuk sistem torsi, yaitu sistem yang torsinya seimbang (*torsionally balanced system* atau TBS) dan sistem yang torsinya tidak seimbang (*torsionally unbalanced system* atau TUBS). TBS adalah sistem struktur yang simetris atau sistem yang memiliki letak pusat massa dan pusat kekakuan berhimpitan, sedangkan TUBS adalah struktur tidak simetris karena memiliki eksentrisitas antara letak pusat masa dan pusat kekakuan.

Ilustrasi TURS dan TRS menggunakan dinding struktural sebagai elemen penahan gaya lateral ditunjukkan pada Gambar 3. Sistem dikatakan TURS bila elemen (penahan gaya lateral) yang bekerja pada arah berlawanan dengan arah gaya akibat gempa, V_E , (elemen 3 pada Gambar 3a) tidak memiliki ketahanan terhadap torsi, setelah elemen lain yang searah gaya V_E (elemen 1 dan 2 pada Gambar 3a) mengalami leleh. Sistem dikatakan TRS bila ada elemen (penahan gaya lateral), dengan eksentrisitas ke pusat massa, yang bekerja pada arah yang berlawanan dengan arah gaya gempa memiliki ketahanan terhadap gaya lateral dan torsi (Gambar 3b). Pembagian ini diperkenalkan dalam masalah torsi adalah karena ada parameter lain selain kekakuan yang dapat mempengaruhi putaran pada lantai, yaitu parameter ketahanan atau gaya. Artinya bila gaya lateral nominal elemen, yang bekerja menahan gaya akibat gempa, tidak terdistribusi dengan merata (ada eksentrisitas terhadap letak pusat massa), maka gaya-gaya ini dapat mempengaruhi torsi pada lantai.



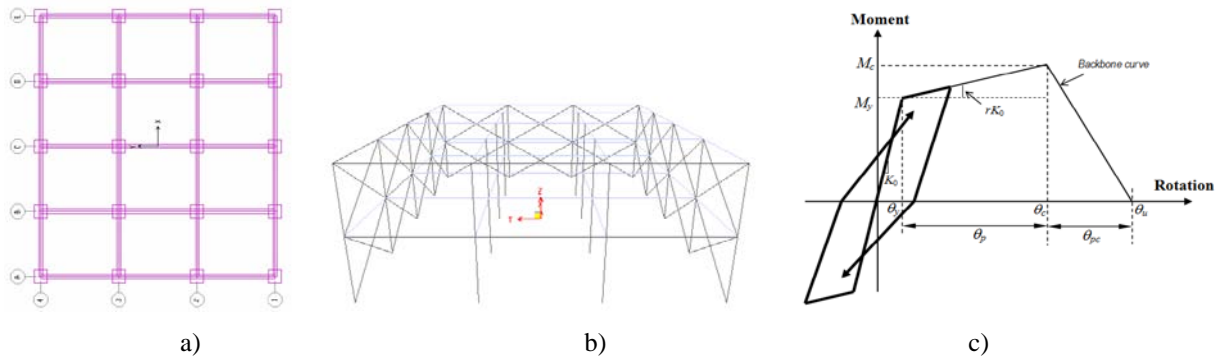
Gambar 3. Pembagian sistem yang memiliki torsi menurut Paulay (1996): a) TURS, dan b) TRS.

4. TORSI AKTUAL PADA SRPM SIMETRIS (TBS)

Sistem rangka pemikul momen (SRPM) yang simetris disebut juga sistem yang memiliki torsi seimbang (TBS). SRPM simetris sering diasumsikan pada banyak struktur yang memiliki rangkaian portal (balok/kolom) yang geometrinya tersusun secara merata. Sehingga letak titik berat rangkaian portal SRPM dapat dengan mudah diidentifikasi posisinya di tengah-tengah bidang denah struktur. Ini artinya struktur diasumsikan memiliki letak pusat kekakuan yang sama dengan letak pusat massa.

Letak DP umumnya berada pada garis perimeter terluar, tidak termasuk pintu masuk. DP juga umumnya dipakai untuk dinding kamar mandi (toilet). Untuk melihat pengaruh DP pasangan bata terhadap torsi aktual pada SRPM

simetris maka sebuah struktur SRPM 2 lantai dan 3 pintu dimodelkan seperti pada Gambar 4. Gedung ini direncanakan sebagai perkantoran untuk pelayanan bank yang terletak di zona gempa tinggi.



Gambar 4. Model yang dianalisa: a) denah model SRPM, b) model SRPM 2 lantai dalam 3D dengan DP memakai elemen bresing tekan; c) Kurva *backbone* untuk model material nonlinear.

DP pasangan bata dianggap terletak pada bagian perimeter terluar kecuali bagian depan (berbentuk U) dan dimodelkan sebagai strut diagonal ekuivalen dengan metode FEMA 356. Tinggi ekuivalen penampang DP pasangan bata, a , dihitung dengan Pers. 1.

$$a = 0,175(\lambda_l h_{col})^{-0,4} r_{inf} \quad (1)$$

dimana

$$\lambda_l = \sqrt[4]{\frac{E_{inf} t_{inf} \sin(2\theta)}{4E_{fr} I_{col} h_{inf}}} \quad (2)$$

λ_l = faktor untuk menghitung tinggi ekuivalen DP, h_{col} = tinggi kolom diantara *centerline* balok, h_{inf} = tinggi DP, E_{inf} = modulus elastisitas material DP, E_{fr} = modulus elastisitas material SRPM, I_{col} = momen inersia penampang kolom, r_{inf} = panjang diagonal DP, t_{inf} = tebal DP, θ = sudut yang dibentuk oleh balok/kolom SRPM yang diisi oleh DP.

Gaya aksial tekan *ultimate* (strut diagonal ekuivalen) DP pasangan bata dihitung memakai Pers. 3 (Saneinejad dan Hobs, 1995) dengan asumsi bahwa keruntuhan geser pada DP akan dominan.

$$P_H = \frac{\gamma \nu t_{inf} l'}{(1 - 0,45 \tan \theta') \tan \theta} < \frac{0,83 \gamma t_{inf} l'}{\cos \theta} \quad (3)$$

dimana γ = faktor beban, ν = tegangan geser dasar mortar penyambung (*bed joints*) yaitu 0,25 untuk DP bata tanpa mortar atau 0,41 MPa untuk DP pasangan bata dengan mortar, namun pada makalah ini memakai 0,39 MPa berdasarkan hasil studi Aryanto (2008); l' = panjang DP, $\tan \theta' = (1 - \alpha_c)(h_{inf}/l')$; dan α_c = persentase panjang bidang kontak DP ke kolom yang nilainya tidak lebih dari 0,4. Kekuatan material DP didasarkan kepada hasil pengujian kuat tekan pasangan bata merah hasil studi Aryanto (2008) yaitu sebesar 3,54 MPa dengan modulus elastisitas sebesar 1000 MPa. Tebal pasangan bata disesuaikan dengan pengujian yang dilakukan Aryanto yaitu sebesar 10 cm. Luas penampang ekuivalen DP adalah $A_d = 0,074$ m, sehingga tinggi ekuivalen DP adalah 0,74 m. Gaya tekan *ultimate* yang dimiliki oleh DP pasangan bata, P_H , adalah 481 kN. Strut diagonal ekuivalen DP ini kemudian dimodelkan sebagai elemen aksial tekan nonlinear pada program analisa struktur.

Nilai-nilai yang dipakai untuk pemodelan linear dan nonlinear SRPM (portal) terbuka 2 tingkat dan SRPM 3 tingkat dengan DP pasangan bata diuraikan di dalam Tabel 1. Elemen balok dan kolom dimodelkan sebagai balok Giberson untuk pemodelan elemen nonlinear. Properti material nonlinear ditunjukkan pada Tabel 1 dengan kapasitas rotasi pasca leleh (rotasi plastis) sebesar $\theta_p = 0,04$, kapasitas rotasi pasca kondisi plastis $\theta_{pc} = 0,06$ dan rotasi leleh dihitung dengan $\theta_y = M_y/K_0$. Nilai rasio antara momen maksimum dengan momen leleh adalah $M_u/M_y = 1,13$ (Gambar 4c) di bagian tumpuan. Kekakuan elemen dihitung dengan $K_0 = 6EI/L$ dan momen inersia efektif diasumsikan 40% dari momen inersia biasa $I_{ef} = 0,4 I$. Modulus elastisitas SPRM yang dipakai adalah $E = 25743$ MPa. Struktur SRPM diasumsikan terletak di atas tanah sedang di zona gempa tinggi, dalam studi ini dipilih Kota Banda Aceh. SNI 1726:2012 digunakan dalam penentuan spectra desain dan batasan perioda diabaikan dalam studi ini.

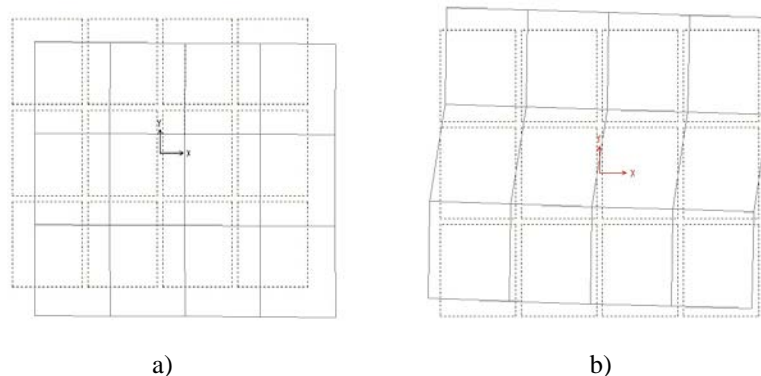
Tabel 1. Properti elemen balok dan kolom untuk pemodelan SRPM.

Elemen	Modulus Elastisitas Beton, E (kN/m ²)	Kekakuan Elemen, K_0 (kN/m)	Panjang elemen, L (m)	Momen Inersia I (m ⁴)	Momen Inersia Efektif, I_{ef} (m ⁴)	Momen Leleh, M_y (kN.m)	Rotasi leleh, θ_y
Kolom Lt 1	25742960	94131.0	3.5	0.00213	0.00085	326,9	0.00347
Balok Lt.2	25742960	49426.5	5,0	0.00160	0.00064	303,8	0.00615
Kolom Lt.2	25742960	94131.0	3.5	0.00213	0.00085	250,3	0.00266
Balok Atap	25742960	49426.5	5,0	0.00160	0.00064	215,0	0.00435

Analisa ragam getar menunjukkan bahwa perioda alami SRPM simetris adalah $T_1 = 0,49$ detik dan $T_1 = 0,46$ detik. Perioda alami SRPM dengan DP adalah $T_1 = 0,41$ detik dan $T_2 = 0,29$ detik. Tampak arah ragam getar (mode) 2 menjadi kaku secara drastis akibat diberikannya elemen strut untuk DP. Hasil ini dituangkan ke dalam Tabel 2 beserta hasil analisa linear dengan metode respon spektrum. Hasil simpangan dari analisa linear pada Tabel 2 menunjukkan terjadinya perubahan simpangan yang sangat signifikan dengan adanya DP yaitu berkurang mencapai 80% pada sumbu kuat (sumbu-x), namun hanya berkurang 60% pada sumbu-y. Rotasi lantai akibat adanya DP justru meningkat 45% sehingga bersama translasi yang ada mengakibatkan gaya torsi pada bidang lantai menjadi signifikan (Gambar 5). Hasil analisa elastis ini menunjukkan dua nilai yang berbeda. Simpangan yang lebih kecil adalah pengaruh dari tambahan kekakuan lateral akibat DP pasangan bata, sedangkan rotasi bidang lantai terjadi lebih besar adalah dikarenakan letak pusat kekakuan berpindah lebih jauh (eksentrisitas $e_x = 1,6$ m) dari letak pusat masa akibat susunan DP yang tidak seimbang pada sumbu-y. Besarnya deformasi torsi aktual elastis disini boleh jadi melebihi deformasi torsi *accidental*, bila susunan DP lebih ekstrim dan sangat tidak beraturan.

Tabel 2. Perioda alami model dan simpangan SRPM hasil analisa linear.

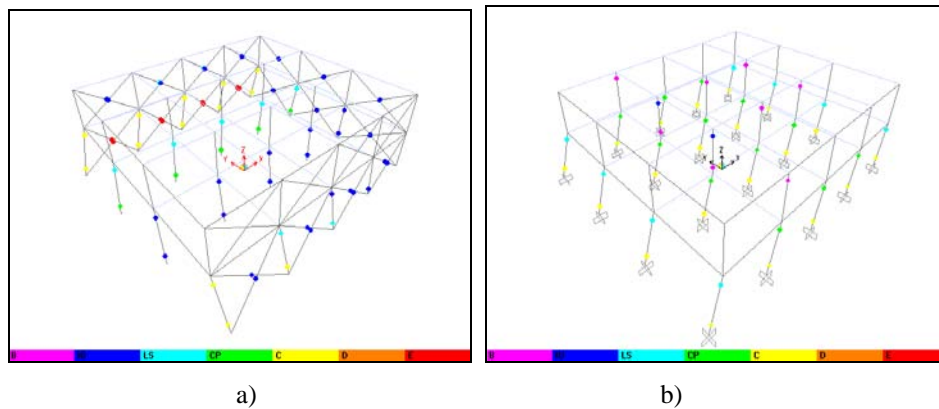
Model	T_1 (det)	T_2 (det)	e_x (m)	Δ_x (m)	Δ_y (m)	Rz
SRPM Simetris	0.49	0.46	~0,0	0.1360	0.1440	0.00072
SRPM dgn DP	0.41	0.29	1,6	0.0272	0.0584	0.00160



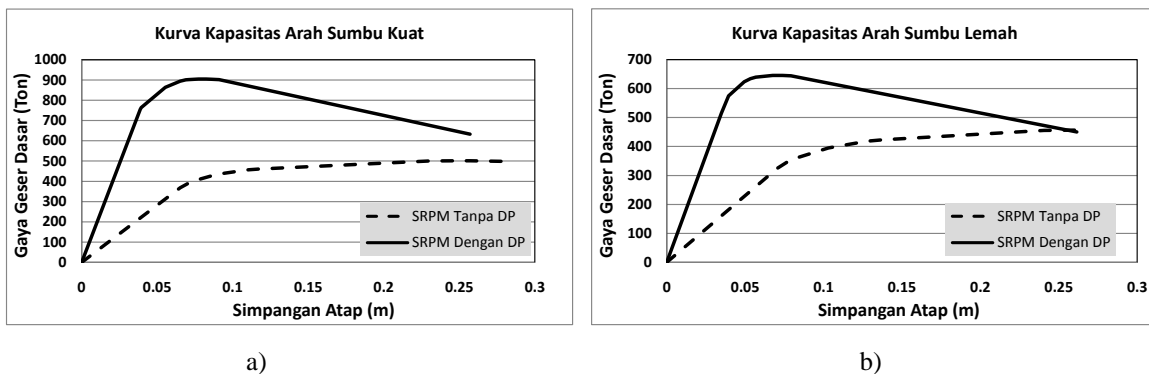
Gambar 5. Deformasi bidang model hasil analisa linear: a) model SRPM , b) model SRPM dengan DP.

Perilaku respon tidak linear SRPM dengan DP berdasarkan hasil analisa beban dorong (*pushover*) menunjukkan bahwa rangka pemikul momen pada sisi yang memiliki DP akan mengalami sendi plastis terlebih dahulu seketika setelah DP hancur (Gambar 6a). Sedangkan pada sisi lain yang memiliki DP hanya 2 kolom yang mengalami sendi plastis. Perilaku SRPM tanpa DP mengalami sendi plastis yang terjadi secara merata di seluruh kolom di lantai bawah (Gambar 6b). Kondisi ini menggambarkan adanya torsi aktual akibat kekakuan lateral yang tidak terdistribusi secara merata pada SRPM. Ketidakteraturan distribusi kekakuan lateral ini disebabkan oleh keberadaan DP pasangan bata. Kontribusi kekakuan DP juga ditunjukkan melalui kurva kapasitas pada Gambar 7 dimana tampak terjadi perbedaan kekakuan lateral antara SRPM tanpa DP dan SRPM dengan DP (diwakili oleh kemiringan garis linear sebelum titik leleh). Kapasitas tahanan terhadap gaya lateral juga tampak berbeda pada kedua arah sumbu bidang lantai akibat adanya DP yang tidak merata.

Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem yang dianggap simetris dalam pemodelan pada kondisi aktualnya dapat memiliki perilaku torsi pada lantai akibat adanya DP pasangan bata. Torsi aktual walaupun ada memang tidak mendominasi sampai mempengaruhi ragam getar (mode) pertama. Namun demikian perilaku daktail sistem dapat berbicara lain. Sistem dapat menjadi dominan torsi dikarenakan satu sisi DP yang mengalami sendi plastis terlebih dahulu dibanding sisi lain yang juga memiliki DP. Sehingga membuat rangka pemikul momen yang ada pada sisi yang sama mengalami gaya lateral yang lebih besar dibanding rangka pada sisi lain dan kemudian menyebabkan sendi plastis terlebih dahulu. Kondisi yang sama juga dilaporkan pada studi-studi yang sejenis (Paulay, 1997; Stathopoulos dan Anagnostopoulos, 2005).



Gambar 6. Sendi plastis pada SRPM tanpa dan dengan DP berdasarkan analisa beban dorong: a) sendi plastis pada arah sumbu kuat (sumbu-x), dan b) sendi plastis pada arah sumbu lemah.



Gambar 7. Respon nonlinear SRPM tanpa dan dengan DP berdasarkan analisa beban dorong: a) kapasitas pada arah sumbu kuat (sumbu-x), dan b) kapasitas pada arah sumbu lemah.

5. KESIMPULAN

Makalah ini menjelaskan secara singkat perilaku SRPM dengan DP dan kemungkinan torsi aktual yang dapat ditimbulkannya. Beberapa kesimpulan dapat dibuat seperti di bawah ini:

1. Pemasangan DP pasangan bata yang tidak merata pada SRPM yang dianggap simetris dapat menyebabkan kekakuan yang tidak merata pula pada sistem sehingga kemudian menimbulkan torsi pada bidang lantai pada kondisi aktual.
2. Torsi aktual yang terjadi pada bidang lantai pada kondisi elastis, walaupun secara persentase dapat dikatakan signifikan, namun belum dominan sampai mempengaruhi ragam getar pertama.
3. Torsi aktual kondisi elastis boleh jadi lebih besar dari torsi *accidental*, ataupun lebih kecil. Perlu penyelidikan lebih lanjut tentang hal ini.
4. Torsi aktual yang terjadi pada SRPM yang dianggap simetris pada kondisi sendi plastis bisa jadi lebih parah dibanding torsi aktual pada kondisi elastis.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryanto, A. (2008). *Kinerja portal beton bertulang dengan dinding pengisi bata ringan terhadap beban gempa*. Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Buonopane, S.G. dan White, R.N. (1999). *Seismic evaluation of a masonry infilled reinforced concrete frame by pseudodynamic testing*, Technical Report MCEER-99-0001, University at Buffalo, State University of New York.
- Hashemi, A., dan Mosalam, K.M. (2006). Shake-table experiment on reinforced concrete structure containing masonry infill wall. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 35(14), 1827-1852.
- Mehrabi, A. B., Benson Shing, P., Schuller, M. P., Noland, J. L. (1996). Experimental evaluation of masonry-infilled RC frames. *J. Structural engineering*, ASCE, 122(3), 228-237.
- Paulay, T. (1996). seismic design for torsional response of ductile buildings, *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 29(3), 178-198.
- Paulay, T. (1997). Are existing seismic torsion provision achieving the design aims. *Earthquake Spectra*, 13(2), 259-279.
- Stathopoulos, K.G. dan Anagnostopoulos, S.A. (2005). Inelastic torsion of multistorey buildings under earthquake excitations. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 34, 1449-1465.
- Saneinejad, A., dan Hobbs, B. (1995). Inelastic design of infilled frames. *Journal of Structural Engineering*, 121(4), 634-650.
- Tomazevic, M. (1999). *Earthquake-resistant design of masonry building*. Imperial College Press, London.