

Efek *Wall-Frame Ratio* Pada Respon Inelastik Struktur Beton Bertingkat Banyak Termasuk Rotasi Fondasi

Widodo

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia
Jl Kaliurang Km 14, Telp : 895042, Fax 895330, Yogyakarta.

Abstract

The combination between frames and walls is frequently used in the earthquake resistant design of multistorey reinforced concrete buildings. Frames are relatively flexible, it will deform according to the shear mode. Meanwhile walls are usually very stiff and it will deform with the flexural one. Accordingly, between frames and walls will have a conflict of deformation modes. There is no clear guidance regarding the appropriate ratio between the number of walls and frames. In addition, effects of the rocking foundation to the structural response need to be investigated.

The seismic behavior of the multistorey reinforced concrete building has been investigated. Three types of structure i.e 2 Walls +5 Frames or 2W+5F, 2W+7F and 2W+9F have been used for the structural models. The corresponding structural models are 12-storey buildings with 2 symmetrical beam's span and symmetrical building's plan. The North-South Component of the 1940 El Centro earthquake record has been used for the input motion. The stiffness and damping interaction between the soil and the foundation according to the Lumped Parameter Method are also used.

The results of investigation show that the smaller the wall-frame ratio, the bigger the base shear coefficient resisted by walls, the smaller the plastic hinge rotation of the column's bases, the smaller the total plastic hinge rotation and the hysteretic energy dissipation of every frame. In general, the structural response of the rocking structures are smaller than those the fixed base structures. The appropriate wall-frame ratio can not be defined definitely without any clear requirement of the design criteria.

Key-words : wall-frames ratio, base shear, plastic hinge rotation, interstorey drift, curvature ductility demand, energy dissipation.

1. Pendahuluan

Terdapat beberapa jenis struktur utama bangunan yang dapat dipakai pada struktur beton bertingkat banyak. Struktur portal kaku (*moment resisting frames*) banyak disukai karena fungsinya yang cukup baik, bentuknya cukup sederhana dan tidak mengganggu pemanfaatan ruangan. Walaupun demikian, struktur portal ini mempunyai beberapa keterbatasan. Pada struktur *wall-frames*, struktur dinding beton (*structural wall*) adalah salah satu pilihan untuk mengatasi kekurangan-kekurangan yang dijumpai pada portal. Struktur *wall-frames* yang dimaksud adalah bangunan yang struktur utamanya merupakan kombinasi antara *frames* dan *walls*. Kedua jenis struktur ini akan bekerja secara bersama-sama dalam menahan beban baik beban gravitasi maupun beban gempa.

Tidak terdapat aturan yang jelas seberapa besar ratio antara jumlah atau kemampuan *walls* terhadap *frames*. Aktan dan Bertero (1984b) mengatakan bahwa struktur *frames* diharapkan paling tidak menahan 25 % gaya geser total suatu bangunan. Paulay dan Priestley (1992) mengatakan bahwa apabila struktur dinding terlalu lemah maka sebagian besar gaya geser termasuk gaya geser dasar akan ditahan oleh *frames*. Pada ukuran *walls* tertentu fungsi *walls* dalam menahan gaya geser menjadi dominan. Rasio antara gaya geser yang ditahan oleh *walls* terhadap gaya geser total sering disebut *wall shear ratio*.

Selain ukuran *walls* yang dapat mempengaruhi *wall shear ratio* maka jumlah *wall* relatif terhadap jumlah *frame* (*wall-frame ratio*) dapat dipakai untuk mengetahui sejauh mana kontribusi *frames* untuk menahan gaya geser atau respon-

respon struktur yang lain. Aktan dan Bertero (1984a) mengatakan bahwa anggapan jepit sempurna pada ujung bawah *walls* adalah kurang tepat dan cenderung kontroversial. Godsir (1985) telah meneliti *inelastic response* struktur beton bertingkat tetapi terbatas pada struktur dengan anggapan jepit sempurna dengan *wall to frame ratio* tetap. Paulay dan Godsir (1986) mengatakan bahwa akan sulit/mahal sekali membuat sistim fondasi yang dapat menjepit kaku/sepurna terhadap dasar struktur dinding. Oleh karena itu anggapan jepit sempurna pada struktur dinding adalah kurang realistik. Oleh karena itu pengaruh rotasi fondasi perlu diselidiki.

Tulisan ini akan menyajikan hasil penelitian tentang efek *wall to frame ratio* terhadap respon inelastik struktur beton bertingkat bertingkat banyak akibat beban gempa. Tiga kombinasi model struktur telah dipakai dan beberapa respon parameter akan ditinjau /didiskusikan.

2. Interaksi Antara Wall dengan Frame

Salah satu diantara kekurangan struktur portal adalah timbulnya simpangan antara tingkat (*storey drift*) yang cukup besar terutama untuk bangunan bertingkat banyak. Hal ini terjadi karena kolom-kolom cukup fleksibel sehingga pola goyangan struktur portal mengikuti prinsip bangunan geser (*shear building*). Pada bangunan bertingkat sangat banyak kebutuhan daktilitas lengkung balok (*curvature ductility demand*) menjadi cukup besar dan hal ini cenderung membuat kerusakan balok.

Pada struktur *wall-frames*, antara struktur dinding dan portal mempunyai karakter yang berlawanan. Portal mempunyai pola goyangan yang didominasi prinsip geser. Hal ini terjadi karena kolom-kolom relatif fleksibel sehingga akibat akumulasi gaya geser tingkat, simpangan pada tingkat-tingkat bawah menjadi cukup besar. Pada struktur dinding, karena bentuknya yang masif dan mempunyai kekakuan yang sangat besar maka pola goyagannya akan menurut prinsip lentur (*flexure*). Simpangan pada

tingkat-tingkat bawah akan kecil dan membesar pada tingkat-tingkat atas. Hal ini seperti pada struktur kantilever biasa.

Akibat adanya konflik bentuk simpangan, maka struktur dinding akan mendesak portal pada tingkat-tingkat bawah tetapi akan menarik portal pada tingkat-tingkat atas. Oleh karena itu terhadap portal, struktur dinding akan mempunyai pengaruh positif pada tingkat-tingkat bawah dan sebaliknya pada tingkat-tingkat atas.

Interaksi Antara Fondasi Dengan Tanah

Apabila ujung bawah struktur dinding dianggap dijepit secara sempurna, maka analisis struktur telah mengabaikan pengaruh tanah dasar terhadap respon struktur. Analisis semacam ini memang umum dipakai karena relatif sederhana. Dalam hal ini pengaruh gempa dianggap langsung menerpa struktur atas. Semua energi akan diakomodasi oleh struktur atas dan direpresentasikan dalam bentuk energi kinetik, regangan, viskos dan histeretik. Respon struktur yang terletak pada tanah keras ataupun terletak pada tanah lunak dianggap sama saja karena pengaruh interaksi antara tanah dengan fondasi diabaikan.

Apabila terjadi gempa bumi gerakan tanah tidak sepenuhnya sama dengan gerakan fondasi. Hal ini terjadi karena antara keduanya berbeda properti dan tidak menyatu secara erat. Tanah tidak dapat menjepit fondasi bangunan secara sempurna. Fondasi hanya terletak diatas tanah berdasarkan gaya gravitasi. Oleh karena itu apabila terjadi gempa fondasi bangunan memungkinkan untuk berotasi (*rocking*) terhadap tanah dasar. Apabila pengaruh ini diperhitungkan maka terdapat interaksi antara tanah dengan fondasi. Gaya gempa tidak langsung menerpa struktur atas tetapi melalui interaksi antara tanah dengan fondasi dan seterusnya baru ke struktur atas. Sebagian energi akan saluran kembali ke tanah menuju takterhingga yang umumnya disebut redaman spatial (*spatial damping*) atau redaman radiasi (*radiation damping*). Analisis seperti ini biasa disebut *soil-structure interaction*. Hal ini tidak

dujumpai pada struktur yang dijepit secara sempurna.

3. Kekakuan dan Redaman Interaksi Antara Tanah dengan Fondasi

Beberapa metode dapat dipakai untuk keperluan *soil structure interaction*. Metode-metode tersebut diantaranya adalah *Sub-structure* dan *Discrete Methods* (Widodo, 1999). Metode *Lumped Parameter* adalah salah satu dari metode *sub-structure*. Pada metode *Lumped Parameter*, interaksi antara tanah dengan fondasi dinyatakan dengan adanya kekakuan dan redaman interaksi sebagaimana tampak pada Gambar 1.c. Pada struktur jepit, kekakuan interaksi besarnya adalah takterhingga dan nilai redaman radiasinya sama dengan nol. Sedangkan pada *soil structure interaction*, kedua nilai tersebut tidak mempunyai harga yang mutlak

Kekakuan dan redaman interaksi antara tanah dengan fondasi paling tidak dapat dinyatakan dalam bentuk *complex impedance* dan *explicit formulations*. Banyak peneliti yang menyampaikan formulasi kekakuan dan redaman dalam bentuk *complex impedance* yaitu mulai dari Veletsos dan Verbic (1973), Gazetas (1983), Wolf dan Somaini (1986) sampai Wolf (1992). Formulasi dalam bentuk ini umumnya dipakai pada model fondasi dan model tanah yang relatif sederhana. Kekakuan dan Redaman dinyatakan dalam bentuk,

$$K_{i,d} = K_{i,s} (k + ia_o c) \quad (1)$$

$$a_o = \frac{\omega r}{V_s} \quad (2)$$

dengan $K_{i,d}$ dan $K_{i,s}$ berturut-turut adalah kekakuan dinamik dan statik pada mode vibration ke-I, k dan c berturut-turut adalah koefisien kekakuan dan redaman dinamik, I adalah bilangan imajiner, a_o adalah frekuensi non-dimensi, ω adalah frekuensi sudut getaran, r adalah radius atau ekivalen

radius dan V_s adalah kecepatan gelombang geser.

Bagian yang riil pada Persamaan 1) akan menunjukkan kekakuan interaksi, sedangkan bagian imajiner akan menunjukkan redaman radiasi. Nilai koefisien kekakuan dan redaman dinamik k dan c merupakan fungsi dari frekuensi beban dan akan berbeda-beda nilainya bergantung pada model fondasi, model dan properti tanah. Nilai kekakuan statik $K_{i,s}$ hanya dipengaruhi oleh model fondasi dan model tanah. Wolf dan Somaini (1986) dan Wolf (1992) menyajikan kekakuan dan redaman interaksi termasuk pengaruh dari redaman material (*complex shear modulus*).

Kekakuan dan redaman yang dinyatakan dalam *explicit formulae* umumnya menyangkut pada model fondasi dan model tanah yang lebih kompleks, sehingga agak sulit apabila dinyatakan dalam *complex impedance*. Kekakuan dan redaman interaksi menurut Fotopoulo dkk (1989), Gazetas dkk.(1985), Gazetas dan Tasoulas (1987a, 1987b) dan Hatzikonstantinou dkk.(1989) dipakai pada penelitian ini, yaitu kekakuan dan redaman interaksi pada fondasi langsung.

4. Model Tanah dan Fondasi

Banyak model tanah yang dapat dipakai untuk keperluan analisis interaksi antara tanah dengan fondasi. Model-model itu diantaranya bergantung pada kondisi/geometri lapisan tanah, jenis fondasi, kedalaman endapan maupun regangan geser tanah saat terjadinya pembebanan. Dengan memperhatikan beberapa kaidah dalam pemodelan, maka model tanah yang dipakai dalam penelitian ini adalah *fictitious layer over an elastic half-space*. Adanya lapisan *fictitious* adalah untuk memodel regangan geser tanah didekat permukaan yang biasanya relatif lebih besar dibanding dengan tanah yang lebih dalam. Regangan geser yang semakin besar akan berpengaruh terhadap meningkatnya redaman material.

Pada awalnya, formula kekakuan dan redaman interaksi berdasar pada fondasi yang terbangun lingkaran dan terletak di

atas permukaan tanah. Pada keadaan yang lebih realistis bentuk fondasi dapat bersifat sembarang dan terpendam didalam tanah. Dengan keadaan seperti ini kekakuan dan redaman interaksi harus dirumuskan berdasarkan keadaan yang lebih khusus. Beberapa pustaka seperti yang disebut pada Butir 3 di atas telah menyajikan rumus-rumus serta grafik-grafik tentang kekakuan dan redaman interaksi antara tanah dengan fondasi. Rumus-rumus dan grafik-grafik tersebut jumlahnya cukup banyak sehingga tidak disajikan dalam tulisan ini. Model fondasi yang dipakai adalah *square partially embedded foundation*.

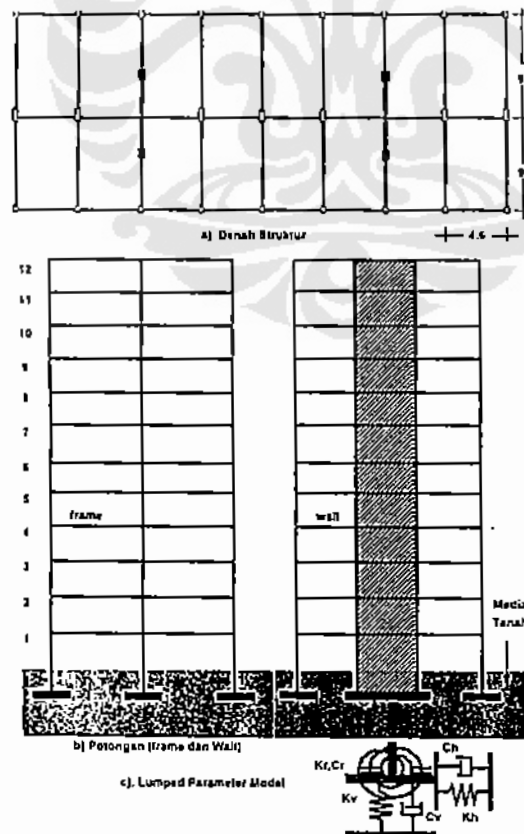
5. Metode Penelitian

a. Model Struktur

Struktur yang dipakai sebagai model analisis pada penelitian ini adalah struktur *wall-frames* beton bertingkat 12-tingkat dengan 2 bentangan balok yang simetri

masing-masing 9.20 meter. Tinggi tingkat tipikal 3.90 meter dan tingkat bawah sampai dengan *poer* fondasi adalah 5.20 meter. Struktur direncanakan terletak diatas tanah baik sehingga memungkinkan menggunakan fondasi dangkal. Jarak antara portal dibuat seragam yaitu 9.20 meter. Model struktur (denah dan potongan) adalah seperti pada Gambar 1, mempunyai denah simetri dalam dua arah sehingga analisis dilakukan secara 2 dimensi. Struktur didisain berdasarkan prinsip disain kapasitas.

Seperti disebut sebelumnya bahwa *wall-frame ratio* akan dipakai sebagai parameter penentuan *wall shear ratio*. Pada penelitian ini dipakai 3 kombinasi struktur utama yaitu bangunan yang mempunyai 2 walls + 5 frames (2W-5F), 2 walls + 7 frames (2W-7F) dan 2 walls + 9 frames (2W-9F). Akan dibandingkan respon struktur antara sistim fondasi jepit (*Fix*) dengan sistim fondasi berotasi (*Flex*).



Gambar 1. Model Struktur (Denah dan Potongan)

b. Input Data

Untuk memperhitungkan efek rotasi fondasi terhadap respon inelastik struktur maka diperlukan sejumlah data baik data tanah maupun data konfigurasi, properti dan *strength* setiap elemen. Semua data yang berhubungan dengan tanah dipakai untuk menghitung kekakuan dan redaman interaksi antara tanah dengan fondasi. Dalam hal ini dipakai tanah jenis *c-φ soil* dengan $\phi = 22^\circ$ dan *Poisson ratio* $\nu = 0.36$. Dipakai nilai modulus geser tanah maksimum $G_m = 420 \text{ kg/cm}^2$ yang sepadan dengan kecepatan gelombang geser $V_s = 120 \text{ m/dt}$. Dengan memperhatikan besarnya nilai regangan geser tanah dekat di bawah fondasi maka dipakai nilai modulus geser tanah akibat gempa $G = 0.70G_m$. Dengan berdasar pada geometri fondasi dan properti statik dan dinamik tanah maka kekakuan dan redaman inetraksi dapat dihitung.

Data konfigurasi struktur seperti disajikan pada Butir 5.a di atas. Data tentang *strength* setiap elemen didasarkan atas disain elemen. Dalam penelitian ini dipakai model elemen Giberson dengan model histeretik Modifikasi Takeda. Pengaruh P-delta tidak diperhitungkan dan struktur dianggap berdeformasi relatif kecil. Data struktur atas, kekakuan dan redaman interaksi akan dipakai untuk menyusun input data.

c. Alat yang Dipakai

Penelitian yang dilakukan termasuk investigasi teoritik yang mana respon inelastik struktur bangunan akibat gempa dilakukan dengan jalan simulasi perilaku struktur di laboratorium komputasi. Sebagaimana disebut sebelumnya, rotasi fondasi diperhitungkan dalam pelaksanaan simulasi. Paket program komputer RUAUMOKO (Carr, 1993) dipakai pada penelitian ini yang mana analisis inelastik struktur dilakukan secara 2-dimensi. Gempa yang dipakai sebagai input adalah komponen utara-selatan gempa EL Centro, 1940.

d. Cara Penelitian

Sebelum simulasi perilaku inelastik struktur bangunan dilakukan, input data untuk keperluan tersebut harus disiapkan. Input data komputer terdiri atas 2 bagian utama yaitu data berdasar struktur atas dan data kekakuan dan redaman interaksi. Data kekakuan dan redaman interaksi dicangkokkan pada input data standar struktur atas dan secara keseluruhan akan merupakan data sistim struktur. Proses simulasi dilakukan untuk setiap kombinasi struktur utama yaitu 2W+5F, 2W+7F dan 2W+9F.

6. Hasil dan Pembahasan

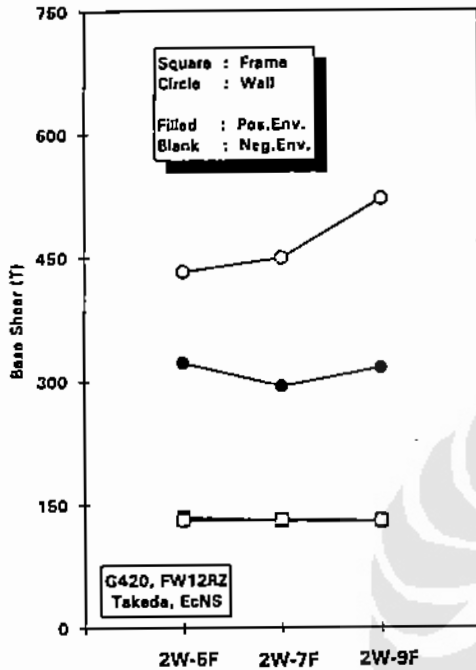
Keluaran proses simulasi ditunjukkan oleh beberapa respon parameter. Respon yang dimaksud meliputi respon inelatik setiap titik nodal dan ujung-ujung elemen untuk setiap *time step* dan arah goyangan. Namun demikian yang perlu diolah menjadi hasil bersih adalah respon-respon maksimum.

6.a Gaya Geser Dasar

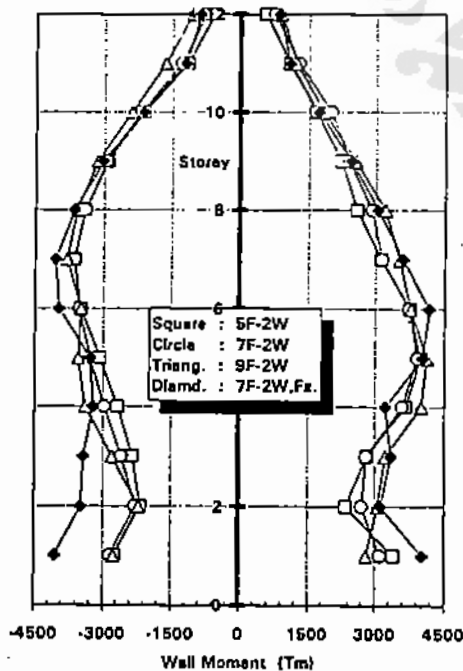
Gaya geser dasar merupakan respon awal yang sering digunakan sebagai indikasi bagi respon-respon berikutnya. Gambar 2 adalah plot antara jenis kombinasi struktur utama yang ditinjau lawan gaya geser dasar pada struktur dengan fondasi berotasi. Widodo (1995) mengatakan bahwa rotasi fondasi struktur *wall-frames* hampir 8-kali lebih besar daripada rotasi fondasi *frames*. Hal ini berpengaruh secara signifikan terhadap respon struktur.

Gaya geser dasar yang ditahan oleh 1 *frame* pada struktur *Flex* untuk 2W+5F, 2W+7F dan 2W+9F berturut-turut adalah 135,65 ton, 132,3 ton dan 130,5 t.on. untuk struktur *Flex* dan 104,3 ton, 115,6 ton dan 126,9 ton untuk struktur *Fix*. Dilain fihak, gaya geser yang harus ditahan oleh 1 *wall* berturut-turut adalah 433,1 ton, 448,5 ton dan 521,2 t.on untuk struktur *Flex* dan 666,0 ton, 667,6 ton dan 710,8 ton untuk struktur *Fix*. Tampak bahwa pada *wall-frame ratio* semakin kecil, gaya geser yang ditahan oleh 1 *wall* semakin besar. Hal ini

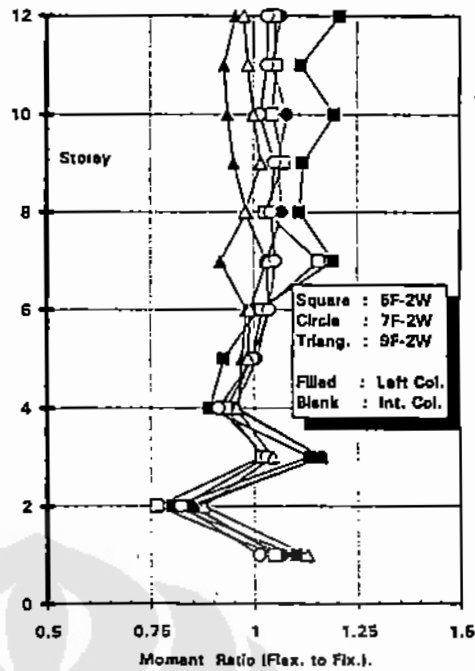
terjadi karena *wall* harus mengakomodasi beban gempa dari banyak *frames*, walaupun rotasinya ditahan oleh banyak *frames* juga. Perubahan gaya yang diterima oleh 1 frame tidak begitu signifikan. *Wall-shear ratio* akan bergantung pada *wall-frame ratio*.



Gambar 2. Jenis Struktur dan Gaya Geser Dasar



Gambar 3. Momen Pada Struktur Dinding



Gambar 4. Rasio Momen Kolom

6.b Wall Moment dan Column Moment Ratio

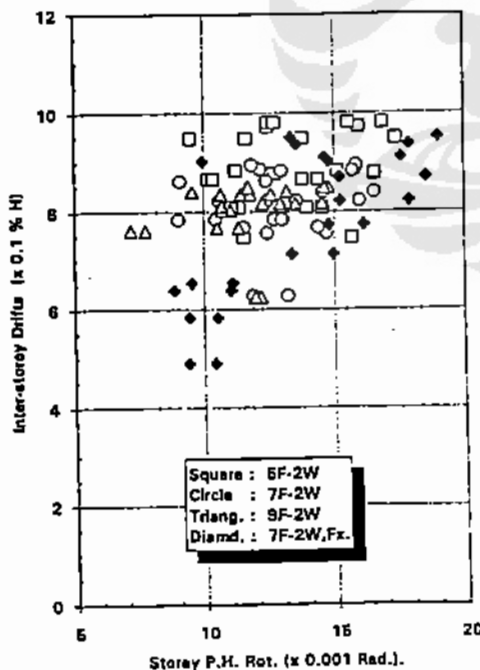
Gambar *wall moment envelopes* dan rasio momen kolom dengan fondasi berotasi terhadap momen kolom pada fondasi jepit (*Flex to Fix*) disajikan berturut-turut pada Gambar 3 dan 4. Tampak pada Gambar 3 bahwa pada *wall-frame ratio* yang semakin kecil akan mengakibatkan momen pada *wall* yang semakin besar. Hal ini senada dengan Butir 6.a di atas karena *wall* harus menahan beban gempa dari banyak *frames*. Tampak juga dalam gambar tersebut bahwa *wall moment* pada struktur jepit (*Fix*) lebih besar daripada struktur dengan fondasi berotasi (*Flex*). Hal ini terjadi karena struktur *Fix* mempunyai periode getar yang lebih kecil daripada struktur *Flex* (struktur 2W+7F, $T = 2.325$ dt dan $T = 2.77$ dt berturut-turut untuk struktur *Fix* dan *Flex*).

Pada Gambar 4 tampak bahwa momen pada ujung bawah struktur *Flex* lebih besar daripada struktur *Fix* (rasio momen > 1). Ukuran/luasan fondasi kolom tidak jauh berbeda dengan luasan fondasi struktur dinding sehingga kekakuan interaksi antara

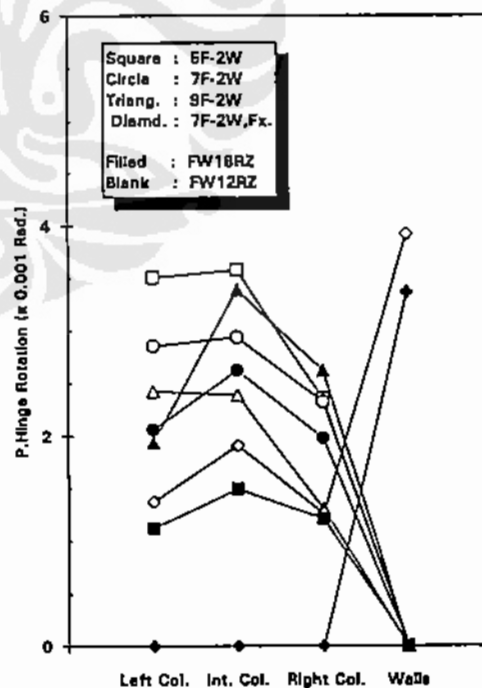
tanah dengan fondasi untuk keduanya juga tidak jauh berbeda. Namun demikian struktur dinding mempunyai kekakuan yang jauh lebih besar daripada kolom. Oleh karena itu rotasi fondasi struktur dinding jauh lebih besar daripada rotasi fondasi kolom. Akibat yang terjadi adalah kolom justru menahan struktur dinding untuk tidak berotasi lebih besar. Dengan kondisi seperti ini momen ujung bawah kolom struktur *Flex* lebih besar daripada struktur *Fix*. Momen yang terjadi pada tingkat-tingkat atas struktur *Flex* juga besar terutama pada *wall-frame ratio* tinggi. Hal ini terjadi karena disamping adanya perbedaan pola simpangan juga pada 2W+5F hanya terdapat relatif sedikit jumlah *frames* yang menghambat laju simpangan *walls*.

6.c Drifts, Rotasi Sendi Plastik Tingkat dan *Curvature Ductility*

Plot antara rotasi sendi plastik tingkat lawan *storey drifts* (simpangan antar tingkat) struktur *Fix* dan *Flex* disajikan pada Gambar 5. Walaupun hubungan yang terjadi sangat menyebar, namun demikian terdapat sedikit kecenderungan bahwa semakin besar nilai *drift* maka semakin besar pula rotasi sendi plastik tingkat yang terjadi. Struktur 2W+5F tampak mengalami *drift* yang paling besar dibanding dengan struktur 2W+9F. Hal ini terjadi disamping periode getarnya paling kecil juga jumlah *frames* yang menahan rotasi *walls* relatif lebih sedikit. Juga terdapat kecenderungan bahwa nilai-nilai hubungan untuk struktur *Flex* cenderung bergerak keatas. Ini berarti bahwa pada *drift* yang sama, rotasi sendi plastik pada struktur *Flex* akan lebih kecil. Hal ini disebabkan oleh terjadinya rotasi pada fondasi.



Gambar 5. Rotasi Sendi Plastik Lawan Drift



Gambar 6. Rotasi Sendi Plastik Dasar Kolom

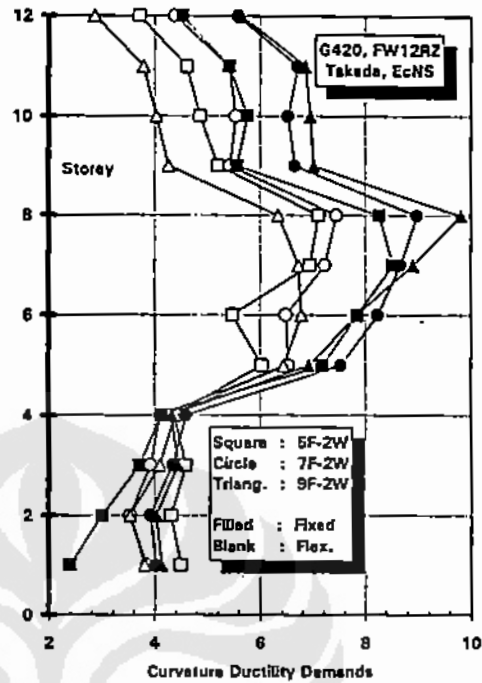
Rotasi sendi plastik yang terjadi pada ujung bawah kolom/wall tingkat dasar disajikan pada Gambar 6. Hasil tersebut sangat menarik karena terjadi sesuatu hal yang kontradiktif antara struktur *Fix* dan struktur *Flex*. Label 7F-2W, Fx seperti tampak pada gambar adalah rotasi sendi plastik ujung bawah kolom/wall tingkat dasar untuk struktur *Fix*. Tampak pada gambar bahwa ujung bawah kolom tingkat dasar masih elastik, sebaliknya terjadi rotasi sendi plastik pada *wall* yang cukup signifikan. Namun sebaliknya *walls* masih elastik pada struktur *Flex*, sementara rotasi sendi plastik ujung bawah kolom rekatif besar. Rotasi sendi plastik ujung bawah kolom tingkat dasar struktur *Flex* 2W+5F tampak lebih besar dibanding dengan struktur 2W+7F atau 2W+9F. Alasannya, selain periode getar (periode getar struktur 2W+5F paling kecil), pada *frames* yang jumlahnya sedikit harus bekerja lebih keras dalam menahan rotasi fondasi *walls*.

Distribusi *curvature ductility demand* balok untuk model struktur yang ditinjau disajikan pada Gambar 7. Tidak terdapat konsistensi terhadap *demand* yang dimaksud pada model struktur yang ditinjau. Namun demikian dapat diketahui bahwa *curvature ductility demand* untuk struktur *Flex* lebih kecil daripada struktur *Fix*. Nilai maksimum *demand* masih lebih kecil dari 10 yaitu suatu *demand* yang relatif mudah untuk dipenuhi.

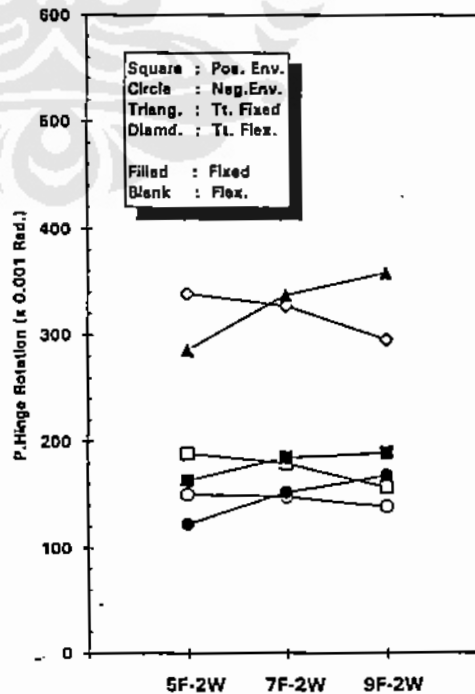
6.d Rotasi Sendi Plastik Total dan Disipasi Energi

Rotasi sendi plastik total (total 1 bangunan) untuk ketiga jenis struktur baik untuk struktur *Fix* maupun *Flex* disajikan pada Gambar 8. Tampak bahwa total rotasi sendi plastik struktur 2W+9F adalah paling kecil dibanding dengan jenis struktur yang lain. Rotasi sendi plastik total untuk 1 *frame* pada struktur 2W+5F, 2W+7F dan 2W+9F (dalam 10^{-3}) berturut-turut adalah 57,1 rad, 49,1 rad dan 39,5 rad untuk struktur *Fix* dan 67,6 rad, 47,0 rad dan 32,8 rad untuk struktur *Flex*. Tampak bahwa semakin kecil *wall-frame ratio* semakin kecil rotasi sendi plastik yang terjadi. Selain pengaruh dari periode getar, pada *wall-*

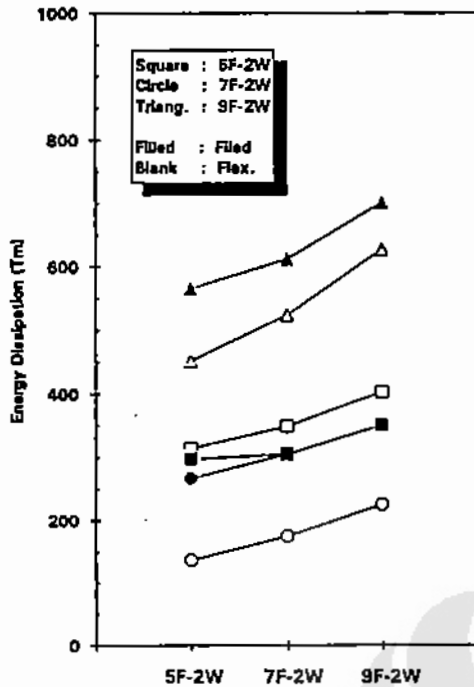
frame ratio yang kecil akan mengakibatkan *drifts* yang kecil. Apabila *drifts* kecil maka rotasi sendi plastik juga kecil.



Gambar 7. Curvature Ductility Demand



Gambar 8. Jenis Struktur dan Rotasi Sendi Plastik



Gambar 9. Jenis Struktur dan Disipasi Energi

Gambar 9 adalah plot tentang disipasi energi total (viskos an histeretik) pada tiap-tiap model struktur. Antara struktur *Fix* dan *Flex* mempunyai kecenderungan yang sama, yaitu semakin banyak *frames* semakin besar disipasi energi yang terjadi. Namun demikian disipasi energi struktur *Fix* lebih besar daripada struktur *Flex*. Disipasi energi viskos untuk struktur *Flex* lebih besar daripada struktur *Fix*, tetapi disipasi energi histeretiknya lebih kecil. Hal ini dipengaruhi oleh rotasi fondasi. Disipasi histeretik energi 1 *frame* untuk struktur 2W+5F, 2W+7F dan 2W+9F berturut-turut adalah 53,4 tm, 43,7 tm dan 38,8 tm untuk struktur *Fix* dan 24,5 tm, 24,9 tm dan 24,5 tm untuk struktur *Flex*. Ada kecenderungan bahwa semakin kecil *wall-frame ratio* karena periode getarnya semakin besar disipasi histeretik energinya lebih kecil.

Berdasarkan respon parameter seperti yang ditinjau di atas jelas bahwa *wall-frame ratio* akan memberikan efek yang berbeda-beda terhadap masing-masing parameter. Tanpa adanya disain kriteria yang jelas tentang batasan-batasan kritis setiap respon

parameter, maka *wall-frame ratio* yang layak sulit ditetapkan secara definitif.

7. Kesimpulan

Perilaku inelastik struktur beton bertingkat akibat beban gempa dengan memperhatikan beberapa model struktur dan sistim fondasi telah dilakukan. Khususnya berkaitan dengan nilai *wall-frame ratio* maka dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

1. Terhadap *wall*, semakin kecil nilai *wall-frame ratio* (semakin banyak *frame*) gaya geser yang harus ditahan oleh *wall* semakin besar. Hanya terjadi sedikit perubahan gaya geser dasar pada *frame* untuk berbagai nilai *wall-frame ratio* yang ditinjau.
2. Semakin kecil nilai *wall-frame ratio* rotasi sendi plastik pada ujung bawah kolom tingkat dasar semakin kecil.
3. Semakin kecil nilai *wall-frame ratio*, periode getar struktur semakin besar dan akibatnya rotasi sendi plastik total untuk 1 *frame* menjadi lebih kecil.
4. Semakin kecil nilai *wall-frame ratio*, kebutuhan disipasi histeretik energi untuk tiap *frame* juga menjadi lebih kecil.
5. Sebagian besar respon parameter yang ditinjau, respon struktur *Flex* lebih kecil daripada struktur *Fix*, karena struktur yang disebut pertama mempunyai periode getar yang lebih besar.
6. *Wall-frame ratio* yang layak akan bergantung pada kriteria disain yang ditetapkan.

Daftar Pustaka

1. Aktan E.A, Bertero V.V, *Seismic Response of R/C Frame-Wall Structures*, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.110, No.8, 1984, pp.1803-1821
2. Aktan E.A, Bertero V.V, *Conceptual Seismic Design of Frame-Wall Structures*, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.110, No.11, 1984, pp.2778-2797

3. Carr A.J, *Ruaumoko Computer Library*, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, New Zealand, 1993
4. Fotopoulou M, KotsanPoulos P, gazetas G, Tassoulas J.L, *Rocking damping of Arbitrary Shaped Embedded Foundation*, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.115, No.4, 1989, pp.473-490
5. Gazetas G, Dobry R.D, Tassoulas J.L, Vertical response of Arbitrary Shaped Embedded Foundations, Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE Vol.111, No.6, 1985, pp.750-771
6. Gazetas G, Tassoulas J.L, *Horizontal Stiffness of Arbitrary Shaped Embedded Foundations*, Journal of Geotechnical Engineering ASCE, Vol.113, No.5, 1987, pp.440-475
7. Gazetas G, Tassoulas J.L *Horizontal Damping of Arbitrary shaped Embedded Foundations*, Journal of Geotechnical Engineering ASCE, Vol.133, No.5, 1987
8. Godsir W.J, *The Design of Coupled Frame-Walls Structures for Seismic actions*, Ph.D Thesis, University of Canterbury, 1985.
9. Gazetas G, *Analysis of Machine Foundations : State of the Art*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.2, No.1, 1982, pp.2-42
10. Hatzikonstantinou E, Tassoulas J.L, Gazetas G, KotsanPoulos K, Fotopoulou M, *Rocking Stiffness of Arbitrary Shaped Embedded Foundation*, Journal of Geotechnical Engineering ASCE, Vol.115, No.4, 1989, pp.457-491
11. Paulay T, Godsir W.J, *The Capacity Design of Structural Walls*, The Bulletin of NZSEE, Vol. 19, N0.1, 1986, pp.1-17.
12. Paulay T, Priestley M.J.N, *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Wiley & Sons Inc, 1992
13. Veletsos A.S, Verbic B, *Vibration of Viscoelastic Foundations*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.2, 1973, pp.87-102
14. Widodo, *Rocking of Multistorey Buildings*, Ph.D Thesis, University of Canterbury, New Zealand, 1995
15. Widodo, *Model-model Analisis Untuk Interaksi Antara Tanah Dengan Inelastik Struktur Bangunan*, Jurnal Teknologi, Fakultas Teknik, Unibversitas Indonesia, Jakarta, Edisi No.2, Tahun XIII, Juni 1999, hal.125-137
16. Wolf J.P, Somaini , *Approximate Dynamic Model of Embedded Foundation in Time Domain*, EESD, Vol.13, 1986, pp.683-703
17. Wolf, J.P, *Soil Structure Interaction Analysis in Time Domain*, Prentice Hall, 1968