

PENEMPATAN DINDING GESER PADA BANGUNAN BETON BERTULANG DENGAN ANALISA PUSHOVER

H. Manalip

Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Pasca Sarjana UNSRAT Manado

E. J. Kumaat

Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Pasca Sarjana UNSRAT Manado

F.I Runtu

Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Pasca Sarjana UNSRAT Manado

ABSTRAK

Salah satu jenis bangunan tahan gempa adalah gedung beton bertulang menggunakan sistem rangka struktur yang dikombinasikan dengan dinding geser. Kinerja gedung akan bertambah dan menjadi optimal jika pola penempatan dinding geser serta metode analisisnya tepat. Desain berbasis kinerja dengan Analisa Pushover mengasumsikan struktur dalam kondisi inelastik, yang ditandai dengan terbentuknya sendi plastis pada balok dan kolom, kondisi ini dapat dicapai apabila struktur berperilaku daktail.

Kota Manado berada pada wilayah Hazard Gempa yang besar, sehingga diperlukan desain yang optimal dengan mengaplikasikan beban gempa yang bersesuaian dengan kondisi tanah di mana bangunan akan berdiri. Spektrum Gempa menunjukkan pola pembebanan yang berbeda untuk masing – masing kelas situs tanah. Pola penempatan dinding geser ditempatkan simetris terhadap titik berat bangunan dengan panel yang saling tegak lurus. Model struktur ditentukan dan dianalisa menggunakan software ETABS kemudian dilanjutkan dengan analisa pushover menggunakan software SAP 2000. Pola penempatan dinding geser berdasarkan hazard 2500 tahun, pada kelas Situs A mengikuti pola model 19, kelas situs B dan C mengikuti pola model 13, kelas situs D mengikuti pola model 12, dan kelas situs E mengikuti model 4. Berdasarkan hazard 500 tahun, seluruh kelas situs dari A sampai E mengikuti pola model 11. Berdasarkan hazard 1000 tahun, kelas Situs A mengikuti pola model 19 dan atau 20, kelas situs B dan C, mengikuti pola model 19 dan atau 4, kelas situs D, mengikuti pola model 11 dan atau 19, dan kelas situs E mengikuti pola model 4 dan atau 12.

Persamaan penempatan dinding geser untuk wilayah Manado yakni $Y = 1,057082X - 17,236$, di mana nilai X merupakan prosentase perbandingan antara besarnya base shear terhadap berat total struktur, nilai Y memenuhi $\{ Y \mid Y \in A, Y \leq 20 \}$. Prosentase simpangan inelastik terhadap simpangan elastik sangat signifikan, hal ini berarti informasi perilaku struktur yang didesain dengan Performance Basic Desain lebih mendekati kondisi sebenarnya pada saat terjadi gempa. Dengan demikian struktur sudah berada dalam kondisi yang optimal.

Kata kunci: penempatan, dinding geser, optimal

A. PENDAHULUAN

Bangunan dengan struktur rangka beton bertulang bisa dilengkapi dengan dinding geser, sebagai tambahan dari elemen pelat, balok, kolom dan dinding pengisi rangka. Bangunan struktur rangka beton bertulang dengan dinding geser menjadi pilihan yang populer karena lebih efektif dalam menyediakan keamanan terhadap gempa dan keruntuhan dapat dihindari. Struktur beton bertulang tahan gempa pada umumnya direncanakan dengan mengaplikasikan konsep daktilitas, dengan konsep ini struktur tidak lagi perlu direncanakan agar tetap dalam batas elastis saat memikul beban gempa terbesar yang diramalkan mungkin terjadi. Suatu taraf pembebanan dengan faktor reduksi terhadap beban gempa maksimum dapat dipakai sebagai beban gempa rencana, sehingga struktur dapat didesain secara lebih ekonomis

Metode analisis *pushover* merupakan salah satu komponen performance based design yang menjadi sarana untuk mengetahui kapasitas suatu struktur. Dasar dari metode ini sangat sederhana, yaitu memberikan pola beban statik tertentu dalam arah lateral yang besarnya ditingkatkan secara incremental sampai struktur tersebut mencapai pola keruntuhan tertentu.

Bangunan gedung di Kota Manado pada umumnya didesain berdasarkan kekuatan batas sedangkan kenyataannya jika terjadi gempa struktur akan berperilaku inelastik sehingga lebih cocok dengan desain berdasarkan kinerja (*Performance Basic Desain*). Spektrum Gempa Manado akan dibuat untuk merepresentasikan pembebanan akibat gempa yang akan disesuaikan dengan kelas situs tanah berdasarkan Peta Hazard Gempa Indonesia Tahun 2010.

Berdasarkan uraian di atas maka pada penelitian ini akan terlihat apakah kinerja dari struktur yang optimal dapat dicapai? Selain itu juga cara penempatan instrument dinding geser yang dilakukan berdasarkan kombinasi yang mungkin, apakah akan menghasilkan respon berupa pola-pola khusus?

B. LANDASAN TEORI

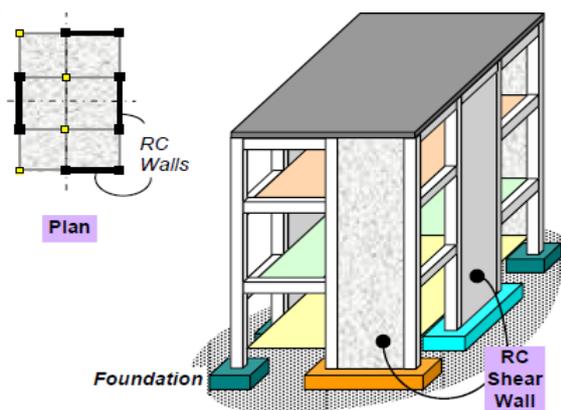
Peta Hazard Indonesia 2010

Pencegahan kerusakan akibat gerakan tanah dapat dilakukan melalui proses perencanaan dan konstruksi yang baik dan dengan memperhitungkan suatu tingkat beban gempa rencana. Salah satu cara untuk mengurangi dampak bencana gempa adalah dengan menyiapkan standar perencanaan infrastruktur tahan gempa dan menerapkannya pada prasarana yang dibangun di Indonesia. Sebagai bagian dari standar infrastruktur yang disusun, Peta Gempa Indonesia 2010 sangat diperlukan sebagai acuan dasar perencanaan dan perancangan infrastruktur untuk mendapatkan faktor gempa yang dibutuhkan dalam perencanaan.

Indonesia termasuk dalam wilayah yang sangat rawan bencana gempa bumi seperti halnya Jepang dan California karena posisi geografisnya menempati zona tektonik yang sangat aktif. Hal ini dikarenakan tiga lempeng besar dunia dan sembilan lempeng kecil lainnya saling bertemu di wilayah Indonesia serta membentuk jalur-jalur pertemuan lempeng yang kompleks (PU, 2010). Keberadaan interaksi antar lempeng-lempeng ini menempatkan wilayah Indonesia sebagai wilayah yang sangat rawan terhadap gempa bumi. Tingginya aktivitas kegempaan ini terlihat dari hasil rekaman dan catatan sejarah dalam rentang waktu 1900-2009 terdapat lebih dari 50.000 kejadian gempa dengan magnituda $M \geq 5.0$ dan setelah dihilangkan gempa ikutannya terdapat lebih dari 14.000 gempa utama (main shocks).

Dinding Geser

Bangunan beton bertulang, di dalam perilaku strukturnya, sangat didominasi oleh pelat, balok dan kolom, namun sering kali dilakukan satu tipe elemen yang lain yang serupa dengan pelat arah vertikal, dan elemen ini dinamakan dinding geser seperti terlihat pada gambar 1. Desain dan detailing yang cocok dari bangunan yang menggunakan dinding geser selama ini telah memperlihatkan kinerja yang sangat baik pada saat mengalami goyangan akibat beban gempa.



Gambar 1. Dinding Geser Beton Bertulang pada Bangunan

Sumber : C.V.R Murty, 2005

Sebenarnya, dinding geser yang dipasang pada bangunan yang berada di area gempa kuat memerlukan suatu detailing yang khusus. Namun, kenyataannya, bahkan gedung-gedung yang memiliki dinding geser yang tidak sepenuhnya didesain secara terperinci untuk menanggulangi kinerja akibat beban gempa justru sampai sekarang masih tetap berdiri dan jauh dari tahap keruntuhan.

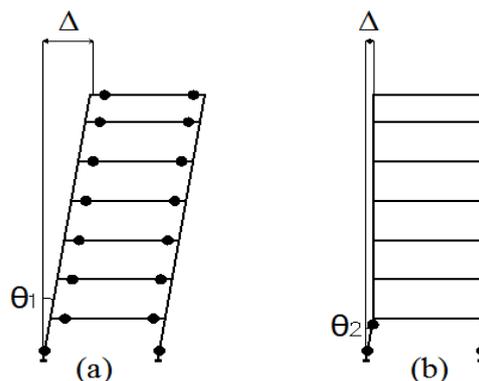
Sekarang ini, bangunan yang menggunakan dinding geser merupakan salah satu yang banyak diminati di negara-negara yang memiliki resiko terjadi gempa yang cukup tinggi sebaiknya menggunakan dinding geser, sebab dinding geser sangat mudah untuk dirancang oleh karena detailing penguatannya tidak terlalu rumit serta mudah diimplementasikan di area konstruksi. Dari segi efisiensi, dinding geser tergolong yang paling baik dari segi biaya konstruksi ataupun kemampuan meminimalisir kerusakan akibat gempa pada elemen struktural maupun non struktural dari suatu bangunan.

Perencanaan Struktur Tahan Gempa

Struktur bangunan normal (gedung perkotaan, bangunan sekolah, toko, dsb), pada umumnya tidak perlu di desain untuk menahan gaya gempa kuat dengan respon elastik tanpa mengalami kerusakan, oleh sebab itu, pada saat gempa kuat terjadi, resiko kerusakan tetapi tanpa keruntuhan struktur pada tingkat desain tertentu, harus dapat diterima.

Dengan konsep di atas, maka kerusakan struktur pada saat gempa kuat berlangsung harus

di desain pada tempat-tempat tertentu sehingga mudah diperbaiki setelah gempa kuat selesai. Mekanisme keruntuhan dengan desain kerusakan harus direncanakan sehingga struktur dapat rusak pada level desain tanpa keruntuhan. Lokasi kerusakan di desain pada balok dan kolom dasar yang disebut dengan sendi plastis. Sendi plastis ini harus mampu berdeformasi secara inelastik dengan cara memindahkan energi gempa secara baik melalui proses pembentukan sendi plastis.



Gambar 2. (a) Beam Sway Mechanism
 Gambar 2. (b) Column Sway Mechanism
 Sumber : ATC-40 1996

Mekanisme keruntuhan ini dikenal dengan *beam-sway mechanisms* dengan konsep balok lemah kolom kuat (*strong column weak beam*) seperti yang terlihat pada gambar 2. (a); sedangkan mekanisme *column sway* yang tampak pada bagian Gambar 2.(b) harus dihindarkan karena keruntuhan struktur akan bersifat getas (*brittle*).

Evaluasi Struktur dengan Analisis Statik Non Linier

Properti Analisis Statik Non Linier

Dua elemen kunci dari suatu prosedur desain berdasarkan kinerja adalah kebutuhan dan kapasitas. Kebutuhan adalah suatu representasi dari kemampuan struktur untuk menahan suatu kebutuhan gempa. Kinerja bergantung pada bagaimana cara dari kapasitas struktur untuk mampu menanggulangi kebutuhan. Dengan kata lain, struktur harus mempunyai kapasitas untuk menahan kebutuhan gempa seperti kinerja struktur yang adalah kompatibel dengan objektivitas dari desain. Prosedur analisis non linier sederhana menggunakan metode *pushover*, memerlukan penentuan dari tiga elemen utama

yaitu kapasitas (*Capacity*), kebutuhan (*displacement*) dan kinerja (*performance*).

Keseluruhan kapasitas dari struktur bergantung pada kapasitas kekuatan dan kapasitas deformasi dari komponen-komponen tunggal struktur.

Metode koefisien pada dasarnya merupakan suatu prosedur modifikasi displacement. Alternatifnya, prosedur modifikasi displacement menghitung displacement maksimum total dari osilator dengan mengalikan respon elastik, mengasumsikan properti linier awal dan redaman, dengan satu atau lebih koefisien. Koefisien-koefisien tipikalnya diturunkan secara empiris dari analisis respon riwayat waktu nonlinier dari osilator dengan periode dan kekuatan yang bervariasi. Suatu bentuk dari linearisasi ekuivalen dikenal sebagai metode kapasitas spektra. Kedua pendekatan ini menggunakan analisis statik non linier, pushover analysis, untuk menghitung karakteristik *force-deformation* lateral dari struktur. Pada kedua metode ini, kebutuhan deformasi global struktur dihitung dari respon suatu sistem SDOF ekuivalen yang mempunyai properti *load-deformation* yang ditentukan dari analisis pushover. Perbedaannya, pada teknik ini digunakan untuk menghitung kebutuhan deformasi maksimum (elastik dan inelastik).

Kurva Kapasitas Struktur

Analisa *statik nonlinier* merupakan prosedur analisa untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa. Analisa *statik nonlinier* juga dikenal sebagai analisa *pushover* atau analisa beban dorong statik. Analisa *pushover* dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur ,yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Biasanya titik tersebut adalah titik pada struktur bagian atas.

Analisa *pushover* menghasilkan kurva kapasitas, kurva yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar, V , terhadap perpindahan titik acuan pada struktur bagian atas, D . Pada proses *pushover*, struktur didorong sampai mengalami leleh disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut. Kurva kapasitas akan

memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku non-linier.

Kurva *pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong. Tujuan analisa *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagianmana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya. Cukup banyak studi menunjukkan bahwa analisa statik *pushover* dapat memberikan hasil mencukupi, ketika dibandingkan dengan hasil analisa dinamik nonlinier, untuk bangunan regular dan tidak tinggi.

C. METODOLOGI PENELITIAN

Data yang Dibutuhkan

Data lain yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data peta hazard gempa Indonesia yang disajikan dalam ini meliputi peta percepatan puncak dan respon spektra percepatan di batuan dasar (PU, 2010).

Di dalam pemodelan struktur maka pedoman yang digunakan yakni SNI 1726 – 2012 untuk bangunan tahan gempa. Untuk pedoman beton bertulang mengacu kepada SNI 2847 – 2012. Jenis sistem struktur yang digunakan yakni sistem struktur gedung dimana sistem struktur ini merupakan kombinasi antara sistem struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dengan dinding geser, sesuai dengan SNI 1726 – 2012 pasal pasal 7.2.2. Tabel 9b.

Untuk analisis struktur digunakan analisis respon spektrum dengan menggunakan spektrum gempa desain wilayah Manado sesuai dengan Peta Hazard Gempa Indonesia 2010. Beban spektrum yang digunakan terdiri dari tiga jenis, yakni :

1. Gempa kuat, dengan kala ulang 2500 tahun dan probabilitas terlampaui sebesar 2% untuk umur bangunan 50 Tahun.

2. Gempa sedang, dengan kala ulang 1000 tahun dan probabilitas terlampaui 10% untuk umur bangunan 100 Tahun.
3. Gempa lemah, dengan kala ulang 500 tahun dan probabilitas terlampaui 10% untuk umur bangunan 50 Tahun.

Penerapan ketiga jenis beban spektrum ini diterapkan pada lima jenis kondisi situs tanah yakni SA, batuan keras, SB, batuan biasa, SC, tanah sangat padat dan batuan lunak, SD, tanah sedang, dan SE, tanah lunak.

Untuk desain struktur digunakan kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 4.2.2.

Lokasi Tinjauan Penelitian

Lokasi tinjauan yang ditetapkan pada penelitian ini yakni di Kota Manado. Hal ini dilakukan berdasarkan dominansi tempat tinggal dari penulis. Adapun pengaruh pemilihan lokasi tinjauan penelitian ini terletak pada keadaan tanah dan wilayah gempa yang telah ditetapkan oleh pemerintah melalui SNI 03 1726 2012, dilain pihak penelitian tentang perilaku sebenarnya dari gedung pasca gempa masih jarang dilakukan di daerah ini.

Parameter – parameter untuk Penelitian

Penetapan pemodelan struktur merupakan bagian awal terpenting di dalam proses analisa. Hal ini disebabkan karena penentuan pemodelan diharapkan mampu mewakili atau merepresentasi struktur bangunan, dalam hal ini bangunan gedung. Jadi struktur dimodelkan paling tidak mampu untuk merepresentasikan perilaku pada saat pembebanan akibat beban gempa desain. Model strstruktur dirancang berdasarkan peraturan perencanaan yang berlaku yakni SNI 03 2847 2012 untuk perencanaan bangunan struktur beton bertulang. Selanjutnya dilakukan pengujian untuk bisa mencapai batasan-batasan yang diinginkan sehingga diharapkan mampu mewakili perilaku bangunan struktur gedung.

Teknik Analisa Data

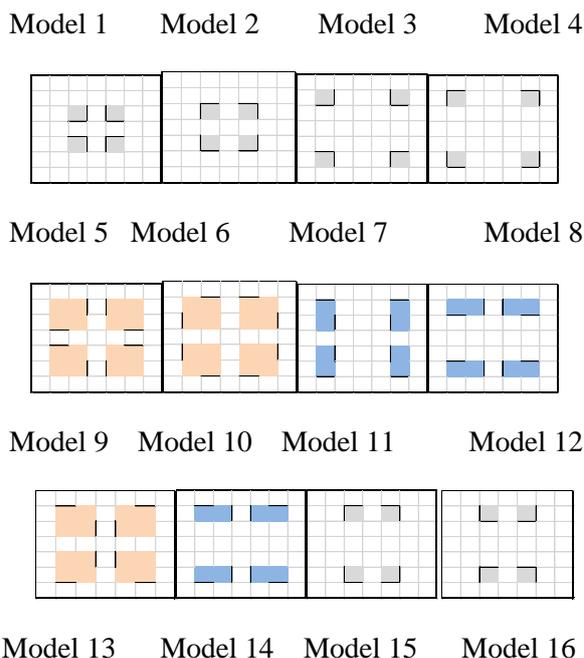
Struktur dimodelkan dengan menggunakan perangkat lunak ETABS 2013 dan dianalisa berdasarkan kekuatan batas. Untuk pembebanan akibat beban gempa, digunakan beban respon spektra. Pembentukan spektrum gempa rencana dilakukan berdasarkan SNI 03 1726 2012 khususnya di wilayah kota Manado. Pada akhirnya, hasil desain yang dicapai dilakukan analisis pushover dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *Structural Analysis Program*, SAP2000.

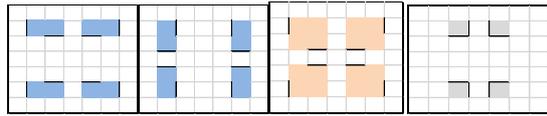
D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Fokus Analisis

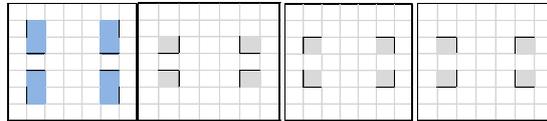
Berdasarkan kajian literatur mengenai dinding geser, maka untuk penempatan posisi dinding geser yang akan ditinjau, difokuskan pada jumlah model keseluruhan sebanyak 20 (dua puluh) tipe. Pada masing-masing studi kasus ini, akan ditinjau kombinasi-kombinasi yang telah diuraikan pada bab sebelumnya untuk mengkaji perilaku struktur menggunakan analisis *pushover* yang menggunakan metode Modifikasi Perpindahan (*FEMA-440*) atau *Displacement Modification Method*.

Pada pemilihan studi kasus ini maka ditentukan posisi dinding geser berdasarkan jumlah panel untuk letak dinding geser dengan tetap mempertahankan kesimetrisannya terhadap titik pusat masa gedung. (Gambar 3):





Model 17 Model 18 Model 19 Model 20



Gambar 3. Model Penempatan Dinding Geser

Hasil Analisa

Pada Tabel hasil analisis dapat dilihat besarnya *Base Shear* (Ton), *Target Displacement* (centimeter) untuk 3 (tiga) jenis hazard gempa Manado pada 5 (lima) situs tanah yang berbeda.

Tabel 1. Hasil Analisis Untuk Hazard Gempa 2500 Tahun

Model	V/TD	Satuan	SA	SB	SC	SD	SE
1	V	Ton	2969.29	2969.29	2969.29	2969.29	2969.29
	TD	cm	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84
2	V	Ton	3064.17	3922.54	4499.41	4730.58	4730.58
	TD	cm	5.298	6.939	8.74	10.17	10.549
3	V	Ton	3139.64	3794.49	4374.71	4374.71	4374.71
	TD	cm	5.289	6.597	8.629	10.024	10.19
4	V	Ton	3199.95	3860.2	4458.66	4878.71	4965.85
	TD	cm	5.459	6.779	8.729	10.098	10.382
5	V	Ton	2693.96	3087.48	3117.28	3117.28	3117.28
	TD	cm	5.684	7.03	9.3	10.836	11.722
6	V	Ton	2780.86	3147.07	3392.6	3392.6	3392.6
	TD	cm	5.677	6.947	9.326	10.84	12.026
7	V	Ton	2749.28	3154.68	3637.85	3955.07	4091.68
	TD	cm	5.632	7.13	9.444	10.964	12.408
8	V	Ton	2767.38	3157.53	3433.31	3433.31	3433.31
	TD	cm	5.632	7.01	9.236	10.753	11.166
9	V	Ton	2801.67	3008.08	3008.08	3008.08	3008.08
	TD	cm	5.717	7.18	9.51	11.108	11.604
10	V	Ton	2760.4	3070.25	3070.25	3070.25	3070.25
	TD	cm	5.631	7.082	9.359	10.914	11.34
11	V	Ton	3172.27	3946.6	4562.64	4861.86	4861.86
	TD	cm	5.906	7.021	8.967	10.4	10.599
12	V	Ton	3097.78	3948.79	4517.01	4931.54	4961.33
	TD	cm	5.356	6.974	8.943	10.38	10.483
13	V	Ton	3093.19	3961.7	4578.67	4616.01	4616.01
	TD	cm	5.354	7.018	8.923	10.378	10.517
14	V	Ton	2850.05	3167.86	3427.51	3427.51	3427.51
	TD	cm	5.784	7.045	9.496	11.035	12.071
15	V	Ton	2556.01	2556.01	2556.01	2556.01	2556.01
	TD	cm	5.155	5.155	5.155	5.155	5.155
16	V	Ton	2721.7	3109.51	3130.91	3130.91	3130.91
	TD	cm	5.737	7.09	9.395	10.962	11.366
17	V	Ton	2786.18	3166.46	3202.29	3202.29	3202.29
	TD	cm	5.815	7.354	9.676	11.238	12.543
18	V	Ton	3104.22	3787.51	4038.09	4038.09	4038.09
	TD	cm	5.441	6.833	8.908	10.481	9.997
19	V	Ton	3295.91	3880.29	4423.93	4423.93	4423.93
	TD	cm	5.626	6.867	8.919	10.348	10.471
20	V	Ton	3160.47	3829.7	4471.36	4913.25	4933.32
	TD	cm	5.386	6.736	8.836	10.282	10.348

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 2. Hasil Analisis Untuk Hazard Gempa 1000 Tahun

Model	V/TD	Satuan	SA	SB	SC	SD	SE
1	V	Ton	2445.56	2969.29	2969.29	2969.29	2969.29
	TD	cm	3.951	4.84	4.84	4.84	4.84
2	V	Ton	2280.14	2865.13	3494.79	4280.47	4730.58
	TD	cm	3.826	4.924	6.106	8.057	10.77
3	V	Ton	2344.33	2939.42	3568.12	4316.27	4374.71
	TD	cm	3.859	4.929	6.06	8.133	10.41
4	V	Ton	2352.1	2984.31	3666.48	4299.6	5049.44
	TD	cm	3.938	5.072	6.297	8.211	10.654
5	V	Ton	2043.2	2532.81	2922.99	3117.28	3117.28
	TD	cm	4.207	5.318	6.358	8.757	11.978
6	V	Ton	2083.42	2604.91	2991.83	3392.6	3392.6
	TD	cm	4.136	5.288	6.318	8.797	12.282
7	V	Ton	2078.34	2582.85	2980.5	3526.65	4091.68
	TD	cm	4.164	5.268	6.295	8.912	12.67
8	V	Ton	2127.84	2608.74	2994.95	3433.31	3433.31
	TD	cm	4.178	5.272	6.316	8.701	11.407
9	V	Ton	2125.92	2633.82	3008.08	3008.08	3008.08
	TD	cm	4.232	5.348	6.388	8.948	11.859
10	V	Ton	2124.64	2602.72	3010.87	3070.25	3070.25
	TD	cm	4.177	5.27	6.323	8.811	11.587
11	V	Ton	2334.57	2958.06	3635.77	4433.01	4861.86
	TD	cm	3.958	5.11	6.363	8.557	10.976
12	V	Ton	2303.12	2895.28	3534.35	4366.4	5042.08
	TD	cm	3.864	4.976	6.175	8.421	10.763
13	V	Ton	2300.29	2891.14	3528.79	4327.79	4616.01
	TD	cm	3.864	4.975	6.174	8.148	10.737
14	V	Ton	2132.5	2668.47	3007.34	3427.51	3427.51
	TD	cm	4.208	5.385	6.385	8.95	12.329
15	V	Ton	2161.37	2556.01	2556.01	2556.01	2556.01
	TD	cm	4.319	5.155	5.155	5.155	5.155
16	V	Ton	2063.86	2557.94	2941.27	3130.91	3130.91
	TD	cm	4.234	5.363	6.412	8.843	11.615
17	V	Ton	2121.15	2648.48	2944.05	3202.29	3202.29
	TD	cm	4.326	5.476	6.454	9.121	12.81
18	V	Ton	2322.33	2906.87	3525.15	4038.09	4038.09
	TD	cm	3.97	5.07	6.233	8.322	10.229
19	V	Ton	2404.54	3067.57	3741.43	4393.78	4423.93
	TD	cm	4.036	5.219	6.449	8.416	10.694
20	V	Ton	2359.44	2958.11	3592.54	4321.44	5004.05
	TD	cm	3.926	5.017	6.173	8.345	10.579

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 3. Hasil Analisis Untuk Hazard Gempa 1000 Tahun

Model	V/TD	Satuan	SA	SB	SC	SD	SE
1	V	Ton	2015.94	2560.29	2969.29	2969.29	2969.29
	TD	cm	3.222	4.146	4.84	4.84	4.84
2	V	Ton	1906.68	2379.62	4000.99	4635.27	4730.58
	TD	cm	3.124	4.012	7.184	9.164	10.549
3	V	Ton	1958.97	2446.277	3916.1	4374.71	4374.71
	TD	cm	3.166	4.043	6.955	8.893	10.19
4	V	Ton	1949.23	2459.52	3941.347	4577.96	4965.85
	TD	cm	3.214	4.13	7.043	9.118	10.382
5	V	Ton	1718.64	2128.13	3117.28	3117.28	3117.28
	TD	cm	3.471	4.4	7.494	10.208	11.722
6	V	Ton	1746.44	2172.66	3285.28	3392.6	3392.6
	TD	cm	3.391	4.333	7.508	10.502	12.026
7	V	Ton	1744.35	2165.79	3263.58	3936.8	4091.68
	TD	cm	3.433	4.356	7.651	10.876	12.408
8	V	Ton	1808.23	2211.36	3261.7	3433.31	3433.31
	TD	cm	3.451	4.368	7.455	9.737	11.166
9	V	Ton	1789.23	2214.05	3008.08	3008.08	3008.08
	TD	cm	3.492	4.425	7.621	10.088	11.604
10	V	Ton	1806.87	2207.68	3070.25	3070.25	3070.25
	TD	cm	3.451	4.367	7.514	9.874	11.34
11	V	Ton	2009.91	2565.25	4119.56	4704.81	4861.86
	TD	cm	3.357	4.384	7.567	9.416	10.75
12	V	Ton	1925.18	2403.42	4023.69	4594.26	4961.33
	TD	cm	3.155	4.053	7.233	9.211	10.483
13	V	Ton	1923.19	2400.37	4038.19	4616.01	4616.01
	TD	cm	3.155	4.052	7.254	9.156	10.517
14	V	Ton	1786.78	2224.08	3318.09	3427.51	3427.51
	TD	cm	3.449	4.409	7.662	10.54	12.071
15	V	Ton	1803.39	2255.22	2556.01	2556.01	2556.01
	TD	cm	3.56	4.518	5.155	5.155	5.155
16	V	Ton	1737.48	2149.41	3130.91	3130.91	3130.91
	TD	cm	3.488	4.43	7.544	9.892	11.366
17	V	Ton	1772.49	2212.45	3202.29	3202.29	3202.29
	TD	cm	3.566	4.525	7.808	10.955	12.543
18	V	Ton	1943.58	2422.21	3893.2	4038.09	4038.09
	TD	cm	3.257	4.158	7.152	8.658	9.997
19	V	Ton	1984.94	2516.43	3977.01	4423.93	4423.93
	TD	cm	3.287	4.235	7.159	9.114	10.471
20	V	Ton	1972.322	2461.64	3921.87	4518.04	4933.32
	TD	cm	3.22	4.112	7.037	8.989	10.348

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 4. Prosentase D/Dy Kelas Situs A

Model	Prosentase Kelas Situs A		
	2%-50 Thn	10%-100 Thn	10%-50 Thn
1	318.32%	241.49%	178.48%
2	329.06%	209.85%	153.00%
3	254.63%	158.75%	112.28%
4	356.06%	228.99%	168.50%
5	260.89%	167.11%	120.38%
6	301.68%	192.65%	139.93%
7	285.04%	184.68%	134.70%
8	178.26%	106.42%	70.50%
9	248.13%	157.70%	112.64%
10	175.80%	104.58%	69.03%
11	376.50%	242.54%	190.52%
12	334.99%	213.81%	156.23%
13	334.65%	213.69%	156.13%
14	311.35%	199.27%	145.29%
15	270.60%	210.50%	155.93%
16	305.38%	199.18%	146.47%
17	281.64%	183.91%	134.04%
18	257.73%	161.01%	114.14%
19	402.68%	260.61%	193.69%
20	263.43%	164.91%	117.27%

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 5. Prosentase D/Dy Kelas Situs B

Model	Prosentase Simpangan		
	2%-50 Thn	10%-100 Thn	10%-50 Thn
1	318.32%	318.32%	318.32%
2	607.81%	394.49%	481.79%
3	478.58%	306.33%	366.34%
4	629.24%	426.07%	488.39%
5	490.48%	303.68%	375.81%
6	559.87%	347.04%	431.24%
7	545.66%	330.37%	423.07%
8	356.32%	212.06%	268.33%
9	479.10%	288.99%	364.07%
10	358.39%	209.69%	268.03%
11	676.03%	450.67%	554.87%
12	626.31%	401.50%	487.43%
13	624.39%	401.22%	488.89%
14	575.34%	354.09%	444.91%
15	270.60%	270.60%	270.60%
16	563.86%	353.08%	433.07%
17	535.03%	323.57%	412.44%
18	485.67%	309.80%	370.22%
19	696.91%	476.22%	539.65%
20	496.22%	316.53%	374.83%

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 6. Prosentase D/Dy Kelas Situs C

Model	Prosentase Simpangan		
	2%-50 Thn	10%-100 Thn	10%-50 Thn
1	318.32%	318.32%	318.32%
2	607.81%	394.49%	481.79%
3	478.58%	306.33%	366.34%
4	629.24%	426.07%	488.39%
5	490.48%	303.68%	375.81%
6	559.87%	347.04%	431.24%
7	545.66%	330.37%	423.07%
8	356.32%	212.06%	268.33%
9	479.10%	288.99%	364.07%
10	358.39%	209.69%	268.03%
11	676.03%	450.67%	554.87%
12	626.31%	401.50%	487.43%
13	624.39%	401.22%	488.89%
14	575.34%	354.09%	444.91%
15	270.60%	270.60%	270.60%
16	563.86%	353.08%	433.07%
17	535.03%	323.57%	412.44%
18	485.67%	309.80%	370.22%
19	696.91%	476.22%	539.65%
20	496.22%	316.53%	374.83%

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 7. Prosentase D/Dy Kelas Situs D

Model	Prosentase Simpangan		
	2%-50 Thn	10%-100 Thn	10%-50 Thn
1	318.32%	318.32%	318.32%
2	754.31%	772.21%	754.31%
3	583.25%	598.00%	583.25%
4	767.34%	790.06%	767.34%
5	644.25%	660.51%	644.25%
6	750.92%	769.03%	750.92%
7	748.29%	766.21%	748.29%
8	451.68%	463.59%	451.68%
9	606.61%	622.14%	606.61%
10	455.42%	467.52%	455.42%
11	817.27%	849.89%	830.33%
12	751.38%	774.12%	751.38%
13	753.79%	771.65%	753.79%
14	758.47%	776.82%	758.47%
15	270.60%	270.60%	270.60%
16	703.14%	720.73%	703.14%
17	723.19%	740.72%	723.19%
18	557.26%	572.52%	557.26%
19	835.58%	855.50%	835.58%
20	598.25%	613.83%	598.25%

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 8. Prosentase D/Dy Kelas Situs E

Model	Prosentase Simpangan		
	2%-50 Thn	10%-100 Thn	10%-50 Thn
1	318.32%	318.32%	318.32%
2	723.62%	552.49%	642.14%
3	572.12%	445.33%	496.29%
4	743.61%	585.96%	661.74%
5	588.00%	456.00%	548.13%
6	667.00%	522.44%	643.08%
7	649.57%	509.28%	643.56%
8	431.27%	329.89%	381.08%
9	576.41%	444.88%	514.30%
10	434.55%	331.55%	383.62%
11	800.04%	640.55%	714.89%
12	743.01%	583.91%	648.07%
13	742.51%	561.47%	643.30%
14	684.79%	536.51%	649.59%
15	270.60%	270.60%	270.60%
16	674.59%	524.86%	598.98%
17	637.55%	498.61%	618.97%
18	589.09%	447.14%	469.23%
19	824.59%	651.97%	714.33%
20	593.79%	463.09%	506.55%

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 8. Prosentase D/Dy Kelas Situs E

Model	Prosentase Simpangan		
	2%-50 Thn	10%-100 Thn	10%-50 Thn
1	318.32%	318.32%	318.32%
2	723.62%	552.49%	642.14%
3	572.12%	445.33%	496.29%
4	743.61%	585.96%	661.74%
5	588.00%	456.00%	548.13%
6	667.00%	522.44%	643.08%
7	649.57%	509.28%	643.56%
8	431.27%	329.89%	381.08%
9	576.41%	444.88%	514.30%
10	434.55%	331.55%	383.62%
11	800.04%	640.55%	714.89%
12	743.01%	583.91%	648.07%
13	742.51%	561.47%	643.30%
14	684.79%	536.51%	649.59%
15	270.60%	270.60%	270.60%
16	674.59%	524.86%	598.98%
17	637.55%	498.61%	618.97%
18	589.09%	447.14%	469.23%
19	824.59%	651.97%	714.33%
20	593.79%	463.09%	506.55%

Sumber : Hasil Analisa

Pembahasan

Proses Awal

Seperti telah diketahui bahwa langkah-langkah yang diambil di dalam proses penelitian ini yakni bangunan yang ditetapkan sebagai model struktur yaitu sistem rangka gedung yang merupakan kombinasi antara sistem rangka pemikul momen khusus dengan dinding geser, sesuai dengan apa yang telah ditetapkan di dalam SNI 1726 tahun 2012. Pada awalnya, model struktur untuk tiap-tiap penempatan dinding geser didesain berdasarkan standar perencanaan nasional yang ada kemudian dievaluasi dengan menggunakan bantuan software ETABS 2013 yang merupakan tools yang cocok untuk mengevaluasi secara keseluruhan penampang-penampang elemen struktur yang ada. Selanjutnya proses analisis yang menggunakan pushover dilakukan dengan menggunakan bantuan software SAP2000 v.17.1.1.

Hasil Analisis

Model 4 menempati urutan pertama dalam hal besarnya gaya geser yang bekerja, dan model 15 menempati urutan yang terakhir. Prosentase gaya geser antara model 4 dan model 15 yakni sebesar 94,281%. Untuk model 12 terhadap 15 sebesar 94,104%, model 20 sebesar 93,009%, model 11 sebesar 90,213%, model 2 sebesar 85,077%, model 13 sebesar 80,594%, model 19 sebesar 73,080%, model 3 sebesar 71,154%, model 7 sebesar 60,081%, model 18 sebesar 57,984%, model 8 sebesar 34,323%, model 14 sebesar 34,096%, model 6 sebesar 32,730%, model 17 sebesar 25,285%, model 16 sebesar 22,492%, model 5 sebesar 21,959%, model 10 sebesar 20,119%, model 9 sebesar 17,687%, dan model 1 sebesar 16,169%.

Dari hasil yang telah diuraikan di atas maka terlihat bahwa pola penempatan dinding geser 1 (satu) panel cukup dominan di dalam ketahanan strukturnya, selanjutnya pola penempatan dinding geser 2 (dua) panel, dan yang terakhir 4 (empat) panel.

Untuk model penempatan dinding geser yang cukup signifikan pengaruhnya, berdasarkan hasil yang didapatkan maka terdapat 8 (delapan) model penempatan dinding geser yang cukup stabil signifikansinya terhadap kemampuan

memikul beban, yakni berturut-turut model 4, model 12, model 20, model 11, model 2, model 13, model 19, dan model 3.

Berdasarkan hasil distribusi frekuensi dan nilai gaya geser dasar dari masing-masing model (analisis terlampir), untuk perencanaan bangunan gedung di daerah Manado dan sekitarnya pada masing-masing jenis tanah yang dipakai serta berdasarkan spektrum gempa yang dipakai untuk masing-masing umur bangunan maka penulis merekomendasikan hal-hal sebagai berikut :

- Untuk perencanaan bangunan gedung tahan gempa berdasarkan hazard 2500 tahun, yakni probabilitas terlampaui 2% untuk umur bangunan 50 Tahun, maka penempatan dinding geser pada kelas Situs A mengikuti pola model 19, kelas situs B dan C mengikuti pola model 13, kelas situs D mengikuti pola model 12, dan kelas situs E mengikuti model 4. (Analisis terlampir).
- Untuk perencanaan bangunan gedung tahan gempa berdasarkan hazard 500 tahun, yakni probabilitas terlampaui 10% untuk umur bangunan 50 Tahun, maka penempatan dinding geser pada kelas seluruh kelas situs dari A sampai E mengikuti pola model 11. (Analisis terlampir)..
- Untuk perencanaan bangunan gedung tahan gempa berdasarkan hazard 1000 tahun, yakni probabilitas terlampaui 10% untuk umur bangunan 100 Tahun, maka penempatan dinding geser pada kelas Situs A mengikuti pola model 19 dan atau 20, kelas situs B dan C, mengikuti pola model 19 dan atau 4, kelas situs D, mengikuti pola model 11 dan atau 19, dan kelas situs E mengikuti pola model 4 dan atau 12. (Analisis terlampir).

Berdasarkan hasil yang didapatkan terlihat jelas bahwa terdapat 3 (tiga) ciri-ciri untuk rata-rata prosentase ratio simpangan inelastik terhadap simpangan elastik. Ciri yang pertama yaitu terlihat pada model-model yang berada pada kelas situs A dan kelas situs B. Disini terlihat bahwa peningkatan kinerja cenderung sesuai dengan karakteristik pembebanan gempa yang diaplikasikan, dari

gempa ringan ke gempa berat berturut-turut, SA : 138,46%, 190,08%, 292,34\$, dan SB : 204,87%, 268,39%, 383,05%. Ciri yang kedua terlihat pada kelas situs tanah C dan D, di mana rata-rata prosentase ratio simpangan inelastik terhadap elastik terjadi dari aplikasi pembebanan gempa ringan terlihat lebih besar dibanding aplikasi pembebanan gempa sedang, SE : 408,12%, 339,72%, 518,71%, SD : 553,34%, 483,74%, 613,25%. Dan ciri yang ketiga yakni pada kelas situs E, rata-rata prosentase ratio simpangan inelastik terhadap elastik sangatlah besar, 643,12%, 658,70%, 642,47% untuk ketiga jenis aplikasi pembebanan gempa yang diterapkan. Berdasarkan hasil-hasil ini terlihat jelas bahwa peningkatan kinerja dari suatu bangunan cenderung turut dipengaruhi oleh kelas situs tanah tempat struktur ini dibangun. Semakin kelas situs tanah mengarah kepada ketidakstabilan, maka cenderung kinerja struktur gedung beton bertulang bertambah secara signifikan, dan diiringi dengan satu fenomena yang terjadi dimana aplikasi gempa ringan relatif terhadap gempa sedang cenderung akan lebih meningkat untuk jenis tanah yang semakin labil.

Untuk penetapan tipe model penempatan dinding geser, maka direkomendasikan persamaan $Y = 1,057082X - 17,236$ dengan nilai X merupakan prosentase perbandingan antara besarnya base shear terhadap berat total struktur.

Fungsi kekangan yang dipakai dari persamaan ini yakni tinggi bangunan per luas satu lantai, dengan asumsi struktur bangunan gedung beraturan. Untuk nilai Y memenuhi $\{ Y | Y \in A, Y \leq 20 \}$.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Model penempatan dinding sesuai dengan kelas situs tanah dan hazard gempa adalah sebagai berikut :
 - a. Untuk hazard gempa 2500 tahun, penempatan dinding geser pada kelas Situs A mengikuti pola model 19, kelas situs B dan C mengikuti pola model 13, kelas situs D mengikuti pola model 12, dan kelas situs E mengikuti model 4.
 - b. Untuk hazard gempa 500 tahun, penempatan dinding geser pada kelas seluruh

kelas situs dari A sampai E mengikuti pola model 11.

c. Untuk hazard gempa 1000 tahun, penempatan dinding geser pada kelas Situs A mengikuti pola model 19 dan atau 20, kelas situs B dan C, mengikuti pola model 19 dan atau 4, kelas situs D, mengikuti pola model 11 dan atau 19, dan kelas situs E mengikuti pola model 4 dan atau 12.

d. Tipe model penempatan dinding geser direkomendasikan persamaan $Y = 1,057082X - 17,236$ di mana nilai X merupakan prosentase perbandingan antara besarnya base shear terhadap berat total struktur, nilai Y memenuhi $\{ Y | Y \in A, Y \leq 20 \}$.

2. Kombinasi antara desain berbasis kinerja dan penempatan dinding geser yang tepat menghasilkan desain struktur yang optimal.

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian untuk variasi terhadap dimensi dinding geser.
2. Desain berbasis kinerja dengan metode pushover dapat digunakan dalam perencanaan struktur gedung tahan gempa dan untuk menguji struktur gedung yang sudah ada dalam rangka perbaikan maupun penambahan jumlah lantai.

DAFTAR PUSTAKA

Ali, M., M., Moon, K., 2007, *Structural Developments in Tall Building: Current Trends and Future Prospects*, University of Sydney

ATC-40, 1996, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume I*, ASCE, Virginia, USA

ATC, 2010, *Modeling and Acceptance Criteria for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings*, PEER Report 2010/111

BSN, 2012, "SNI 1726 : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung", Jakarta, Indonesia

BSN, 2013, "SNI-2847 :Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung", Bandung, Jakarta, Indonesia

Chopra, A., K., Goel, R., K., *Modal Pushover Analysis of SAC Buildings*, Berkeley, California

Comittee 3 CTBUH, 1995, *Structural Systems for Tall Buildings*, McGraw Hill, Singapore

CSI, 2013, *ETABS2013 :Shear Wall Design Manual*, CSA A23.3-04, Barkeley, California, USA

CSI, 2013, *ETABS2013 : Shear Wall Design Manual*, ACI 318-08, Barkeley, California, USA

C.V.R Murty., 2005, *IITK-BMTPC Earthquake Tip 23 Learning Earthquake Design and Construction*, Indian Institute Of Technology Kanpur – India

FEMA-356, 2000, *Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*, ASCE, Virginia, USA

FEMA-440, 2005, *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*, ATC-55, NEHRP, FEMA, California and Washington D.C, USA

FEMA-451, 2008, *Seismic Design of Reinforced Concrete Structures*, FEMA, Washington D.C, USA

Habibullah. A, 1998, *Practical Three Dimensional Nonlinear Static Pushover Analysis* Structure Magazine, Winter.

Hagen, G., R., 2012, *Performance-Based Analysis of A Reinforced Concrete Shear Wall Buildings*, California, USA

H. Manalip., Recky. S Windah., S.O. Dapas, 2014, *Analisa Pushover Pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium*, UNSRAT Manado, Indonesia.

Imran.I, et al, 2008, *Aplicability Metoda Desain Kapasitas pada Perancangan Struktur Dinding Geser Beton Bertulang*, Seminar HAKI.

Kementrian Pekerjaan Umum, 2010, "Peta Hazard Gempa Indonesia 2010", Jakarta, Indonesia

- Maffei, Joe, Noelle Y., 2011, *Seismic Performance and Design Requirements for High-Rise Concrete Buildings*, Structure Magazine (2007)
- M. D. J. Sumajow., S. O. Dapas., R. S. Windah, 2013, Pengaruh Penempatan dan Posisi Dinding Geser Terhadap Simpangan Bangunan Beton Bertulang Bertingkat Banyak Akibat Gempa, UNSRAT Manado, Indonesia
- Moehle, Jack P., et al, 2010, *Seismic Design of Cast-in-Place Concrete Diaphragms, Chords, and Collectors*, NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 3. U.S. Department of Commerce Building and Fire Research Laboratory National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
- Orakcal, Kutay, Massone, Leonardo M., John W. Wallace, 2006, *Analytical Modeling of Reinforced Concrete Walls for Predicting Flexural and Coupled Shear-Flexural Responses*, PEER Report 2006/2007
- Powell, G., 2007, *Detailed Example of a Tall Shear Wall Building*. Computers & Structures, Inc., Berkeley, California
- Priestley, M., J., N., Calvi, G., M., Kowalsky, M., J., 2007, *Displacement-based Seismic Design of Structures*. Pavia, Italy: IUSS
- Purwono, R., 2010, "Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa", Edisi Keempat, ITS Press, Surabaya, Indonesia
- SEAOC, 1999, *Recommended Lateral Force Requirements and Commentary*, Seismology Committee, SEAOC
- Sev, A., Ozgen, A., 2009, *Space Efficiency in High-rise Office Building*. METU JFA 2009/2 (26:2) 69-89
- Sheth, A., 2008, *Effect of Perimeter Frames in Seismic Performance of Tall Concrete Buildings with Shear Wall Core and Flat Slab System*, World Conference on Earthquake Engineering. Beijing, China
- Smith, B., S., Coull, A., 1991, *Tall Building Structures: Analysis and Design*
- Sritharan, S., 2006, *Force Based vs Displacement-Based Design of Jointed Precast Post-Tensioned Wall Systems*, Precast/Prestressed Concrete Institute
- Vanderbilt, M., D., Corley, W., G., 1983, *Frame Analysis of Concrete Buildings*, Concrete International, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, V. 5, No.12, pp.33-43
- Zou, XK., Chan, CM., 2001, *Optimal drift performance design for nonlinear pushover response of concrete structures*, In: WCSMO - 4: Proceedings of the fourth world congress of structural and multidisciplinary optimization