



Perbandingan Perilaku Struktur Gedung Beton Bertulang dengan Pelat Lantai Beton Konvensional dan Pelat Lantai Kalsi

*Ni Kadek Astariani, I Gusti Made Sudika

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Ngurah Rai Denpasar

*astariani@ymail.com

Received: 5 Oktober 2018 Revised: 28 November 2018 Accepted: 30 November 2018

Abstract

The Structure of Reinforced concrete building using kalsi floor plate is one alternative for reduced the weight of the building structure. The floor plate usually used conventional concrete, can be replaced with kalsi floor 20. The aim of the research is to analysis of the behavior of reinforced concrete building using conventional concrete slabs and kalsi floor 20. The building structure as the model in this research is the building structure of four floors and was designed to follow the rules of SNI 2847: 2013. Evaluation of seismic behavior in accordance with the SNI 1726: 2012 was conducted out by applying pushover analysis using SAP 2000 software. The analysis results showed that drift ratio of plates floor structure models smaller than the kalsi floor plate structure. The pushover analysis results show the level of performance of all structural models according to FEMA-356 / ATC-40 able to provide nonlinear behavior which is indicated by the initial phase of the majority of plastic joints on beam elements and beam sway mechanism. The performance level of the structure with conventional concrete slab includes at immediate occupancy level, while the performance level of the structure with with kalsi floor plate includes at life safety level.

Keywords: Pushover analysis, performance level, kalsi floor

Abstrak

Struktur gedung beton bertulang dengan menggunakan pelat lantai kalsi (kalsi floor) merupakan salah satu pilihan dalam mengurangi berat struktur bangunan. Pelat lantai yang biasanya menggunakan beton konvensional ini, dapat diganti dengan produk kalsi floor yang memiliki ketebalan 20 mm (kalsi floor 20). Pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap perilaku struktur gedung beton bertulang dengan menggunakan pelat lantai beton konvensional dan kalsi floor 20. Struktur gedung yang dijadikan model dalam penelitian ini adalah struktur gedung empat lantai dan didesain mengikuti peraturan SNI 2847 : 2013. Evaluasi perilaku seismic sesuai dengan Peraturan Gempa SNI 1726 : 2012 dilakukan dengan mengaplikasikan analisis beban dorong (pushover analysis) menggunakan software SAP 2000. Hasil analisis menunjukkan drift ratio model struktur pelat lantai beton lebih kecil daripada struktur pelat lantai kalsi. Hasil analisis pushover menunjukkan tingkat kinerja semua model struktur sesuai FEMA-356/ATC-40 mampu memberikan perilaku nonlinear yang ditunjukkan fase awal mayoritas terjadinya sendi-sendi plastis pada elemen balok baru kemudian elemen kolom (beam sway mechanism). Level kinerja struktur untuk gedung dengan pelat lantai beton konvensional berada pada level IO (immediate occupancy), sedangkan untuk gedung dengan pelat lantai kalsi berada pada level LS (life safety).

Kata kunci: Analisis pushover, level kinerja, pelat kalsi

Pendahuluan

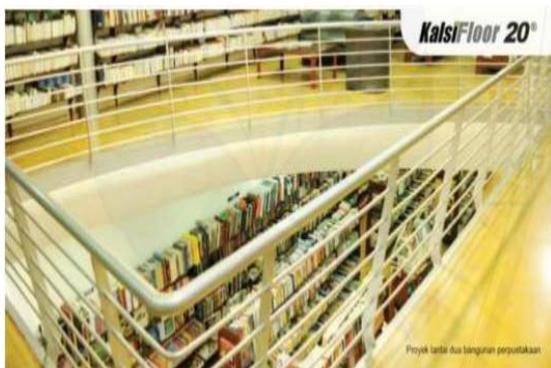
Perkembangan teknologi bahan bangunan sangat mempengaruhi terciptanya ide – ide atau gagasan baru di bidang konstruksi. Salah satunya adalah dengan diciptakannya papan kalsi. Beberapa kemungkinan aplikasi penggunaan kalsi adalah

untuk dinding, listplank bahkan untuk lantai (*kalsi floor*). Pelat lantai yang biasanya menggunakan beton konvensional, dapat diganti dengan produk kalsi *floor* yang memiliki ketebalan 20 mm (*kalsi floor 20*). *Kalsi floor 20* adalah papan fiber semen penutup lantai yang digunakan untuk aplikasi ruang dalam rumah, apartemen dan bangunan-

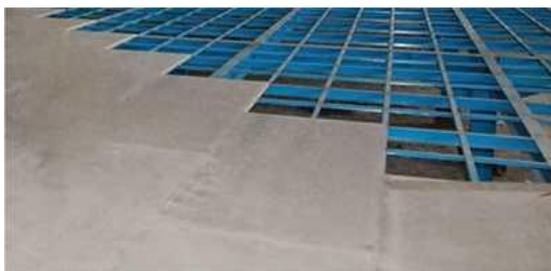
bangunan umum dengan beban yang besar (Siahaan, 2016). Adapun aplikasi penggunaan *kalsi floor 20* ditampilkan pada Gambar 1 sampai dengan 3.



Gambar 1. Proyek lantai dua bangunan pergudangan



Gambar 2. Proyek lantai dua bangunan perpustakaan

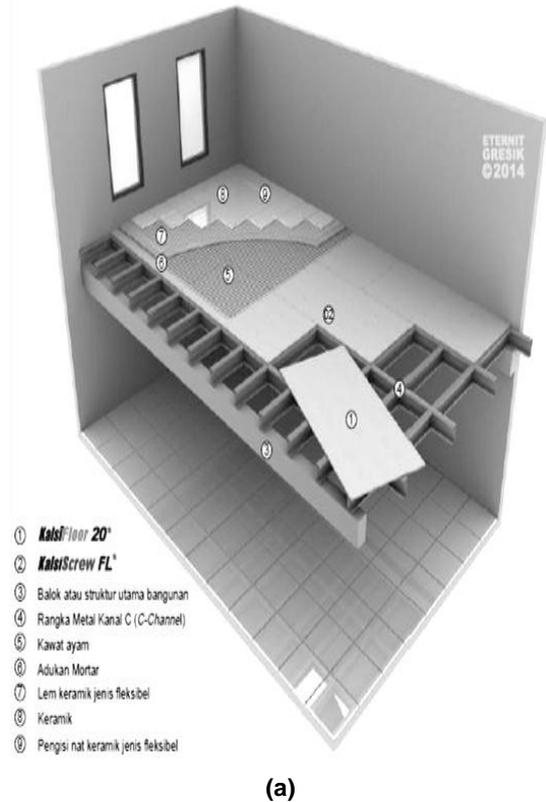


Gambar 3. Proyek gudang

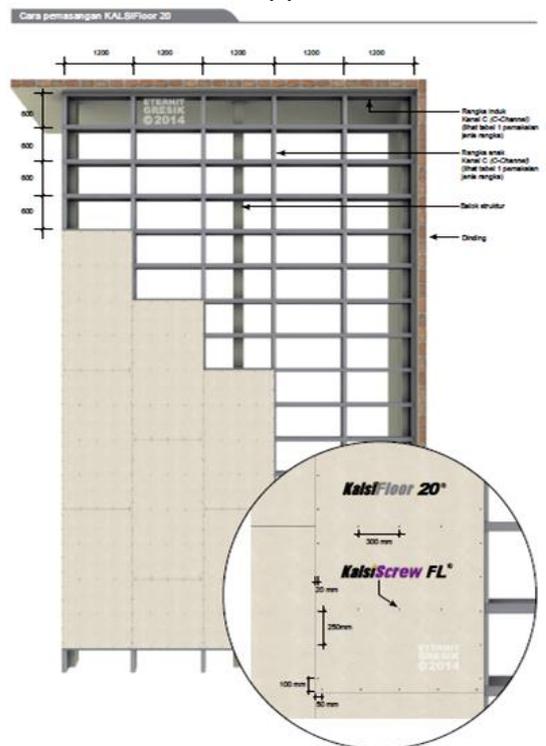
Keuntungan dari penggunaan *kalsi floor 20* adalah beban struktur lebih ringan, sistem pemasangan mudah, bersih, fleksibel dan tahan terhadap gempa. Jika digunakan untuk lantai dengan beban besar, *kalsi floor 20* harus dilapisi dengan adukan semen dan kawat ayam sebelum ditutup dengan keramik, karpet lantai vinyl, parket agar tidak terjadi gesekan dan beraturan (Gambar 4).

Struktur gedung beton bertulang dengan menggunakan pelat lantai kalsi (*kalsi floor*)

merupakan salah satu pilihan untuk mengurangi berat struktur bangunan secara keseluruhan. Dengan berkurangnya berat struktur secara keseluruhan perilaku struktur juga mengalami perubahan.



(a)



(b)

Gambar 4. Cara pemasangan *kalsi floor*

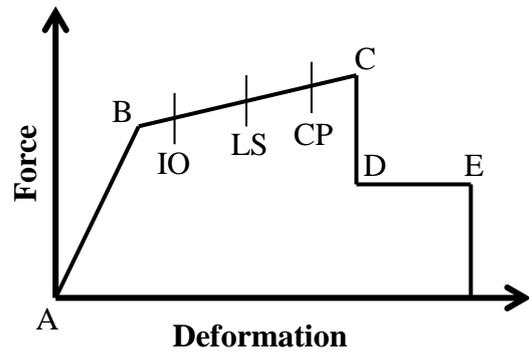
Perencanaan bangunan tahan gempa sekarang ini sudah umum menggunakan perencanaan bangunan berbasis kinerja atau *performance based design*. Menurut Oktopianto & Andayani (2013) perencanaan berbasis kinerja dapat memberikan informasi sejauh mana suatu gempa akan mempengaruhi struktur. Jadi sejak awal pemilik bangunan, perencana maupun pemakai mendapat informasi bagaimana bangunan tersebut berperilaku bila ada gempa. Dewobroto (2005) juga berpendapat bahwa perencanaan tahan gempa berbasis kinerja merupakan proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkuatan (*upgrade*) bangunan yang sudah ada.

Analisis statik nonlinier *pushover* merupakan salah satu komponen *performance base design* yang menjadi sarana untuk menghitung kapasitas dari suatu struktur. Dasar dari analisis *pushover* sebenarnya sangat sederhana yaitu memberikan pola beban statik tertentu dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap pada suatu struktur sampai struktur tersebut mencapai target displacement tertentu atau mencapai pola keruntuhan tertentu. Dari hasil analisis tersebut dapat diketahui nilai-nilai gaya geser dasar untuk perpindahan lantai atap tertentu. Nilai-nilai yang didapat tersebut kemudian dipetakan menjadi suatu kurva kapasitas dari struktur. Selain itu, analisis *pushover* juga dapat memperlihatkan secara visual perilaku struktur pada saat kondisi elastis, plastis, dan sampai terjadinya keruntuhan pada elemen-elemen strukturnya.

Analisis *pushover* dapat digunakan sebagai alat bantu perencanaan tahan gempa yang masih berupa pendekatan karena sebenarnya perilaku gempa adalah bersifat bolak balik melalui siklus tertentu sedangkan analisis *pushover* adalah statik monotonik (Mamesah *et al.*, 2014). Meskipun dasar dari analisis ini sangat sederhana, tetapi informasi yang dihasilkan akan menjadi berguna karena mampu menggambarkan respons inelastik bangunan ketika mengalami gempa.

Hasil dari analisis *pushover* berupa kurva kapasitas yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (*force*) terhadap perpindahan titik acuan pada atap (*deformation*) ditunjukkan pada Gambar 5.

Kurva berbentuk nonlinear menunjukkan peningkatan beban pasca elastik sampai kondisi plastik. Kurva *pushover* tidak selalu mencapai kondisi plastik bergantung pada target perpindahan yang ingin dicapai. Analisis *pushover* relevan dilakukan pada model stuktur dengan klasifikasi beraturan, karena beban statik diaplikasikan pada pusat massa tiap lantai.



Gambar 5. Kurva kapasitas analisis *pushover*

Dokumen ATC-40 dan FEMA-356 telah membuat prosedur dan kriteria yang bisa diterima untuk analisis *pushover*. Dokumen ini mendefinisikan kriteria deformasi yang digunakan dalam analisis *pushover*, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5. Lima titik yang diberi nama A, B, C, D dan E digunakan untuk mendefinisikan perilaku deformasi pada sendi plastis. Antara titik A dan B, struktur berdeformasi elastis selama pembebanan. Pada titik B, sendi plastis pertama mulai terbentuk begitu pula pada titik C dan D. Antara titik B dan C, struktur melewati batas elastis dan mulai berdeformasi inelastis. Selama deformasi inelastis ini, ATC-40 dan FEMA-356 mendefinisikan 3 kondisi struktur yakni IO = *immediate occupancy* (segera dapat dipakai), LS = *life safety* (keselamatan penghuni terjamin), dan CP = *collapse prevention* (terhindar dari keruntuhan total). Setelah berdeformasi inelastis, struktur akan memasuki kondisi plastis (D-E) hingga mencapai keruntuhan.

Beberapa penelitian telah dilakukan sebelumnya (Laesi, 2017; Muntafi, 2012; Nurdiyanti, 2013; Pranata 2006) dengan menggunakan analisis *pushover* dapat mengevaluasi kinerja bangunan gedung yang ditinjau. Dari analisis perhitungan tersebut diperoleh titik kinerja (target peralihan) yang merupakan parameter penting untuk evaluasi kinerja struktur baik itu termasuk dalam IO, LS dan CP.

Untuk struktur gedung apabila menerima beban gempa pada tingkatan atau kondisi tertentu akan terjadi sendi plastis (*hinge*) pada balok gedung tersebut. Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan elemen struktur balok dan kolom menahan gaya dalam. Dalam SAP 2000 tingkat kerusakan struktur akibat terbentuknya sendi plastis diuraikan pada Tabel 1. Perencanaan suatu bangunan harus sesuai dengan konsep desain kolom kuat balok lemah. Apabila terjadi suatu keruntuhan struktur maka yang runtuh

adalah baloknya terlebih dahulu. Seperti beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (Febriana & Wibowo, 2016, Mamesah *et al.*, 2014, Oktopianto 2013, Manalip *et al.*, 2014,) menyebutkan bahwa distribusi sendi plastis telah sesuai dengan yang diharapkan yaitu sesuai dengan sistem kolom kuat balok lemah. Menurut SNI 1726-2012, penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diijinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a). Untuk semua tingkat ijin dimuat dalam Tabel 2.

Penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana perilaku struktur gedung pelat lantai beton konvensional dan pelat lantai kalsi dengan menggunakan analisa *pushover*. Dalam penelitian ini dibahas perubahan perilaku struktur antara struktur konvensional dengan pelat lantai beton dibandingkan dengan struktur beton pelat lantai kalsi. Selain membahas tentang perbandingan

perilaku struktur gedung dengan pelat lantai beton konvensional dan pelat lantai kalsi, juga membahas tentang kinerja struktur gedung terhadap gempa dengan menggunakan FEMA-356 dan ATC-40.

Metode

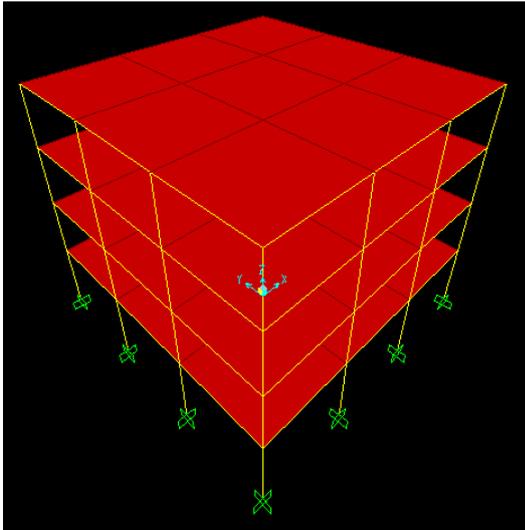
Dalam penelitian ini dilakukan analisis terhadap perilaku struktur gedung beton bertulang dengan menggunakan pelat lantai beton konvensional dan *kalsi floor* dengan analisis beban dorong (*pushover analysis*). Analisis perilaku seismik dilakukan dengan SAP 2000 (CSI,2013) yang mengacu pada peraturan SNI 2847: 2013, dan gempa SNI 1726-2012, metode koefisien perpindahan FEMA-356 dan metode spektrum kapasitas ATC-40. Model struktur bangunan dibuat lantai empat dan simetris terhadap arah x dan arah y. Masing-masing arah x dan y terdiri dari tiga bentang dengan jarak antar bentang enam meter. Tinggi tiap lantai masing – masing 3,6 meter kecuali untuk lantai 1-2 tingginya 4 meter. Pemodelan struktur gedung untuk pelat lantai beton konvensional ditunjukkan pada Gambar 6 dan untuk pemodelan struktur gedung dengan pelat lantai kalsi ditunjukkan pada Gambar 7.

Tabel 1. Tingkat kerusakan struktur akibat terbentuknya sendi plastis dalam program SAP 2000

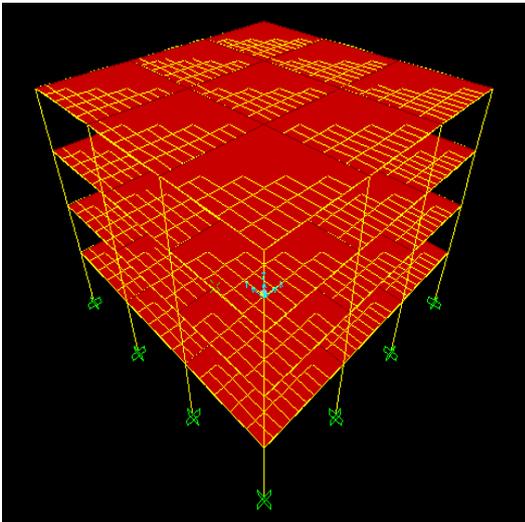
Keterangan	Simbol	Warna	Penjelasan
B	●	Merah muda	Menunjukkan batas linier yang kemudian diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur
IO	●	Biru tua	Terjadinya kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada struktur, kekakuan struktur hampir sama pada saat belum terjadi gempa
LS	●	Biru muda	Terjadi kerusakan mulai dari kecil hingga tingkat sedang. Kekakuan struktur berkurang tetapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan
CP	●	Hijau	Terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak
C	●	Kuning	Batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung
D	●	Coklat	Terjadinya degradasi kekuatan struktur yang besar, sehingga kondisi tidak stabil dan hampir collapse
E	●	Merah	Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur

Tabel 2. Simpangan antar lantai ijin

Struktur	Kategori resiko		
	I atau II	III	IV
1. Struktur selain dari struktur dinding geser batu bata empat tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan system dinding <i>eksterior</i> yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat	0,025h _{sx}	0,020h _{sx}	0,015h _{sx}
2. Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010h _{sx}	0,010h _{sx}	0,010h _{sx}
3. Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007h _{sx}	0,007h _{sx}	0,007h _{sx}
4. Semua struktur lainnya	0,020h _{sx}	0,015h _{sx}	0,010h _{sx}



Gambar 6. Pemodelan struktur gedung 4 lantai dengan pelat beton konvensional



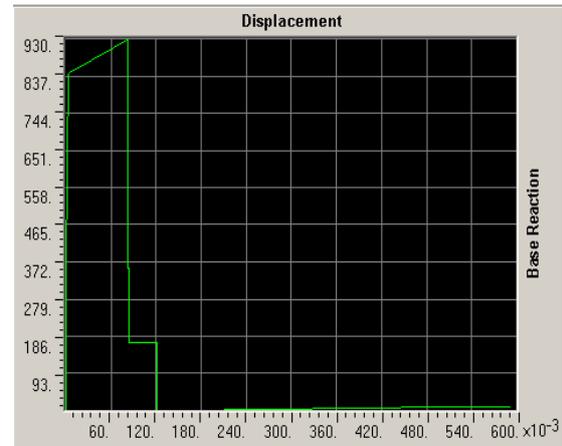
Gambar 7. Pemodelan struktur gedung 4 lantai dengan pelat kalsi 20 (kalsi floor 20)

Hasil dan Pembahasan

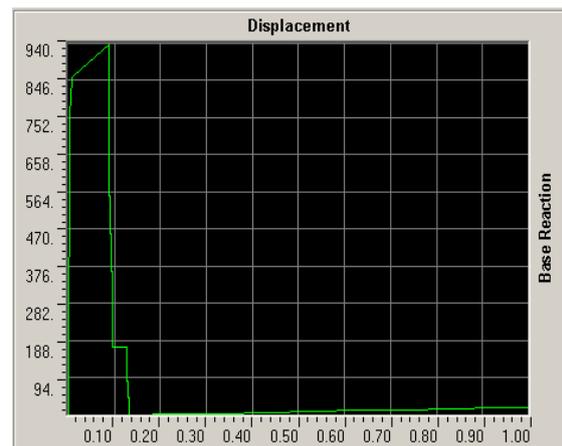
Kuva kapasitas

Dari analisis *pushover* dengan program SAP 2000 didapat kurva kapasitas. Berikut ini ditampilkan kurva kapasitas masing-masing tipe struktur. Pada Gambar 8 dan 9 masing-masing menampilkan kurva kapasitas gedung akibat *push-x* pada gedung dengan pelat lantai beton konvensional dan pelat lantai kalsi. Kurva yang ditampilkan hanya dalam arah x karena bangunan bersifat simetris.

Dari kurva kapasitas pada Gambar 5 dan 6 didapatkan hasil perpindahan dan gaya geser dasar seperti terlihat pada Tabel 3.



Gambar 8. Kurva kapasitas gedung akibat *push-x* pada gedung dengan pelat lantai beton konvensional



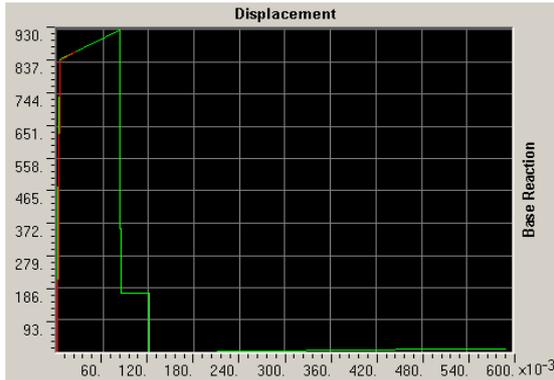
Gambar 9. Kurva kapasitas gedung akibat *push-x* pada gedung dengan pelat lantai kalsi.

Metode koefisien perpindahan FEMA-356

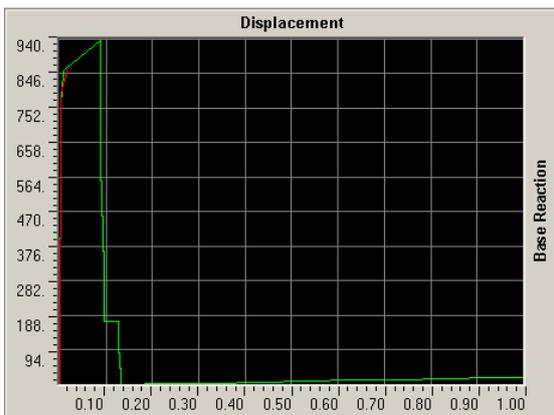
Dari hasil analisis dengan program SAP 2000 didapat kurva kapasitas FEMA-356 yang hanya meninjau arah sumbu x saja karena bangunan bersifat simetris. *Performance point* didapat dari titik perpotongan antara *biliner force curve* (garis merah) paling besar dengan *capacity curve* (garis hijau). Kurva kapasitas dapat dilihat pada Gambar 10 dan 11. Target perpindahan dengan metode koefisien perpindahan setiap pemodelan ditampilkan dalam Tabel 4

Tabel 3. Perpindahan dan gaya geser dasar

Tipe gedung	Perpindahan U_1 (m)	Perpindahan U_2 (m)	Perpindahan U_3 (m)	Gaya geser dasar maks. (kN)
Pelat beton konvensional	0,592	0,000	0,000	58,297
Pelat lantai kalsi	1,000	0,000	0,001	59,465



Gambar 10. Kapasitas FEMA-356 akibat *push-x* pada pelat beton konvensional



Gambar 11. Kapasitas FEMA-356 akibat *push-x* pada pelat kalsi

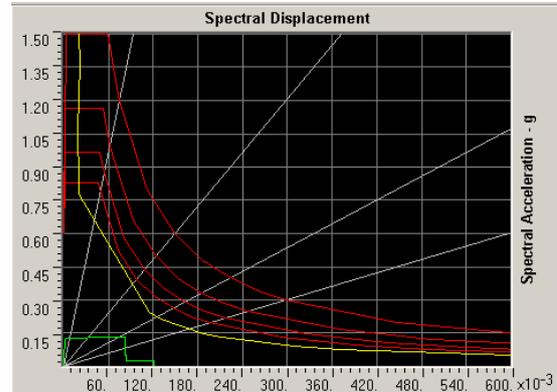
Tabel 4. Target perpindahan dengan FEMA-356

Keterangan	Gedung dengan tipe pelat lantai	
	Pelat beton konvensional	Pelat lantai kalsi
C0	1,12	1,13
C1	1,35	1,40
C2	1,00	1,00
C3	1,00	1,00
Sa	1,10	1,10
Te	0,24	0,20
Ti	0,24	0,18
Ki	368.939,80	360.509,10
Ke	341.306,20	306.616,46
Alpha	0,00	0,02
R	9,20	5,75
Vy	838,17	793,43
Weight	7.009,20	4.150,68
Cm	1,00	1,00
V	426,06	864,31
D	0,02	0,02

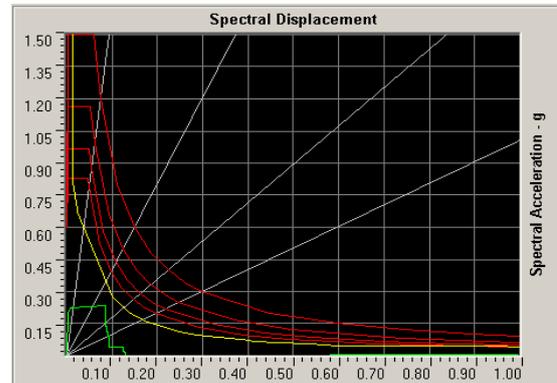
Metode spektrum kapasitas ATC-40

Dari program SAP 2000 didapat pula kurva spectrum kapasitas ATC-40 yang hanya meninjau arah sumbu x saja karena bangunan bersifat simetris. *Performance point* didapat dari titik

perpotongan antara *demand spectra* (garis biru) dengan *capacity curve* (garis hijau). Kurva spectrum kapasitas dapat dilihat pada Gambar 12 dan 13.



Gambar 12. Spektrum kapasitas ATC-40 akibat *push-x* pada pelat beton konvensional



Gambar 13. Spektrum kapasitas ATC-40 akibat *push-x* pada pelat kalsi

Drift ratio

Dari besaran deformasi yang telah diketahui, maka dapat dihitung besaran *drift ratio* yang terjadi. Sebagai contoh perhitungan *drift ratio*, dihitung besaran *drift ratio* yang terjadi pada pemodelan beton akibat beban *pushover* seperti terlihat pada Tabel 5 dan 6. Sedangkan rangkuman grafik untuk masing-masing pemodelan ditampilkan pada Gambar 14 dan 15. Dari hasil analisis, simpangan antar tingkat maksimum masing masing pemodelan adalah untuk pelat beton konvensional sebesar 7,80 mm dan pelat kalsi sebesar 27,00 mm. Nilai ini masih lebih kecil dari nilai syarat batas layan sesuai SNI 1726-2012, untuk struktur gedung dengan ketinggian kurang dari 4 tingkat adalah $0,025 \cdot h_{sx}$ ($0,025 \cdot 3600\text{mm} = 90\text{ mm}$).

Level kinerja dan mekanisme sendi plastis

Berdasarkan analisis *pushover* pada program SAP 2000 yang telah ditampilkan dalam gambar maka level kinerja untuk struktur gedung dengan pelat

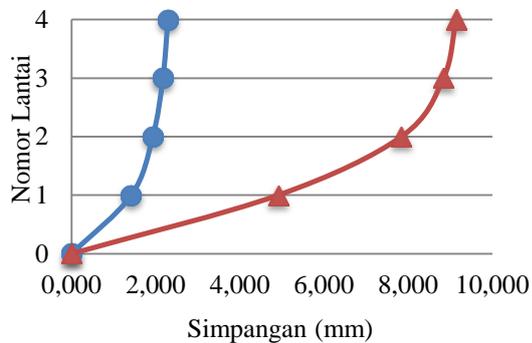
Tabel 5. Perbandingan *drift ratio* untuk pelat lantai beton konvensional

Keterangan		Pelat lantai beton konvensional			
Lantai ke	Li (mm)	δ_i (mm)	$\delta_t \cdot Cd/Ie$	Δ_i (mm)	Rasio Δ_i/Li
4	3.600,0000	2,2900	12,5950	0,6600	0,0002
3	3.600,0000	2,1700	11,9350	1,3200	0,0004
2	3.600,0000	1,9300	10,6150	2,8050	0,0008
1	4.000,0000	1,4200	7,8100	7,8100	0,0020

Tabel 6. Perbandingan *drift ratio* untuk pelat lantai kalsi

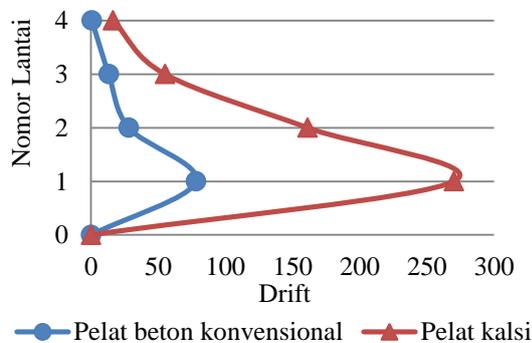
Keterangan		pelat lantai kalsi			
Lantai ke	Li (mm)	δ_i (mm)	$\delta_t \cdot Cd/Ie$	Δ_i (mm)	Rasio Δ_i/Li
4	3.600,0000	9,1400	50,2700	1,6450	0,0005
3	3.600,0000	8,8410	48,6260	5,5060	0,0015
2	3.600,0000	7,8400	43,1200	16,1150	0,0045
1	4.000,0000	4,9100	27,0050	27,0050	0,0068

lantai beton bertulang berada pada level IO sedangkan pada pelat lantai kalsi berada pada level LS. Sedangkan untuk mekanisme sendi plastis ini akan ditampilkan pada Gambar 16 dan 17 yang menggambarkan pola distribusi sendi plastis pada masing-masing pemodelan struktur gedung dengan pelat lantai beton konvensional dan pelat lantai kalsi pada arah sumbu x.



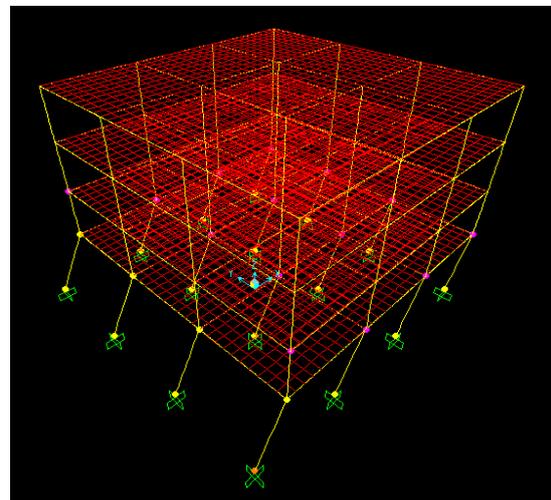
—●— Pelat beton konvensional —▲— Pelat kalsi

Gambar 14. Simpangan masing-masing pemodelan

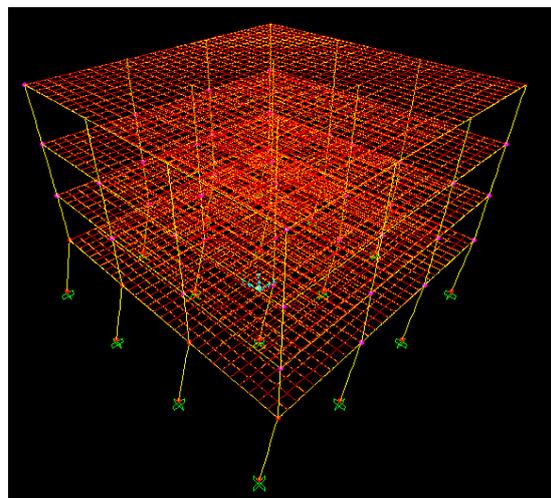


—●— Pelat beton konvensional —▲— Pelat kalsi

Gambar 15. *Drift ratio* masing-masing pemodelan



Gambar 16. Distribusi sendi plastis tipe gedung dengan pelat beton konvensional (step 11)



Gambar 17. Distribusi sendi plastis tipe gedung dengan pelat kalsi (step 27)

Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan terhadap 2 pemodelan pelat yaitu gedung dengan pelat lantai beton konvensional dan pelat lantai kalsi, dapat diambil kesimpulan bahwa pada gedung dengan pelat lantai beton konvensional memiliki gaya geser maksimum sebesar 58,297 kN, sedangkan pada gedung dengan pelat lantai kalsi memiliki nilai gaya geser maksimum 59,465 kN.

Simpang antar tingkat (*drift ratio*) untuk struktur gedung dengan pelat lantai beton konvensional lebih kecil dibandingkan dengan gedung dengan pelat lantai kalsi. Simpangan maksimum yang terjadi sebelum keruntuhan pada setiap bangunan memenuhi syarat sesuai peraturan SNI 1726-2013.

Level kinerja struktur berdasarkan target perpindahan dari metode spectrum kapasitas ATC-40 dan FEMA 356 menunjukkan bahwa struktur gedung dengan pelat lantai beton konvensional berada pada level IO sedangkan struktur gedung dengan pelat lantai kalsi berada pada level LS. Distribusi sendi plastis yang terjadi pada masing-masing pemodelan sudah sesuai dengan yang diharapkan yaitu sistem *strong column weak beam* (kolom kuat balok lemah), karena terjadi keruntuhan pada balok dahulu baru kemudian diikuti pada kolom.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada LPPM (Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat) UNR serta segenap pimpinan di Fakultas Teknik dan Universitas Ngurah Rai atas dukungan moril dan materilnya.

Daftar Pustaka

ATC-40. (1997). *Seismic evaluation and retrofit of concrete building (Volume 1)*. Applied Technology Council, California:

Badan Standarisasi Nasional. (2012). *SNI.03-1726-2012 : Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non Gedung*. BSN, Jakarta:

Badan Standarisasi Nasional. (2013). *SNI.03-2847-2013: Persyaratan beton struktural untuk bangunan Gedung*. BSN, Jakarta:

Computer and Structure Inc. (2013). *Analysis reference manual for SAP 2000*. Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA:

Dewobroto, W. (2005). *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover*. Di presentasikan pada Civil Engineering National Conference. Universitas Kristen Soegijapranata, Semarang.

Febriana, A., & Wibowo, A. (2016). Analisis Pushover Untuk Performance Based Design (Studi Kasus Gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya). *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, 1(2), PP-676.

FEMA 356. (2000). *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*. American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.

Laresi, Y.T. (2017). Analisis Pushover Terhadap Ketidakberaturan Struktur Gedung Universitas 9 Lantai. *Skripsi*, Jakarta: Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Bakrie.

Manalip, H., Windah, R. S., & Dapas, S. O. (2014). Analisis Pushover pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium. *Jurnal Sipil Statik*, 2(4), 201-213.

Mamesah, H. Y., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2014). Analisis Pushover pada Bangunan dengan Soft First Story. *Jurnal Sipil Statik*, 2(4), 214-224.

Muntafi, Y. (2012). *Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung DPU Wilayah Kabupaten Wonogiri Dengan Analisis Pushover*. Yang dipresentasikan pada Simposium Nasional RAPI IX (pp 68-75). Fakultas Teknik UMS, Surakarta.

Nurdiyanti, U. (2013). Studi Keandalan Struktur Gedung Tinggi Tidak Beraturan Menggunakan Pushover Analisis pada Tanah Medium. *Skripsi*. Makassar: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Oktopianto, Y., & Andayani, R. (2013). Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang dengan Pushover Analysis. *Proceeding*, 64-72, PESAT Bandung.

Pranata, Y. A. (2006). Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440). *Jurnal Teknik Sipil*, 3(1), 41-52.

Siahaan, Y.J. (2016). Perbandingan Pekerjaan Pelat Lantai Kalsifloor20 dengan Pelat Lantai Konvensional di Rumah Susun Sederhana (Rusunawa) Putri Universitas Jember, *Skripsi*, Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.