

PERHITUNGAN STRUKTUR TAHAN GEMPA GEDUNG PARKIR DI JALAN LETJEND SUPRAPTO PONTIANAK DENGAN PUSHOVER ANALYSIS

Estu Emma Apriliana¹⁾ Abdul Hamid²⁾ Gatot Setya Budi²⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Tanjungpura Pontianak

²⁾ Dosen Pembimbing Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Tanjungpura Pontianak

Email : estu.apriliana@gmail.com

ABSTRAK

Perhitungan Struktur Gedung Parkir di Jalan Letjend Suprpto Pontianak bertujuan untuk menganalisa perhitungan gaya geser dasar. Penulangan struktur bangunan gedung tahan gempa yang berpedoman pada SNI Gempa yaitu SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012. Evaluasi menggunakan *Pushover Analysis*. Pemodelan struktur menggunakan program bantu ETABS 2016 dengan dua pemodelan struktur dimensi struktur yang sama, berdasarkan SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012 yang selanjutnya dilakukan analisis statik non linier Pushover. Hasil respon spektrum nilai desain S_{DS} berdasarkan SNI 1726-2012 lebih rendah dibandingkan SNI 1726-2002. Hasil yang diperoleh berdasarkan analisis statik non linier menggunakan *software* ETABS berdasarkan SNI 1726-2002 dengan gaya geser sebesar 4427,149 kN dan diperoleh hasil kinerja struktur dengan gaya geser sebesar 1,606 kN, *displacement* (Dt) 0,142 mm. Hasil desain berdasarkan SNI 1726-2012 dengan gaya geser dasar sebesar 720,606 kN dan diperoleh hasil kinerja struktur dengan gaya geser sebesar 0,2242 kN, *displacement* (Dt) 0,149 mm. Batasan rasio *drift* atap dengan *software* ETABS diperoleh maksimum total *drift* sebesar 350 mm. Hasil perhitungan dengan bantuan *software* ETABS baik berdasarkan SNI 1726-2002 maupun SNI 1726-2012 menunjukkan bahwa gedung yang ditinjau termasuk dalam level kinerja *Full Operational (FO)*, hal ini berarti bahwa bila terjadi gempa gedung tidak mengalami kerusakan struktural dan non struktural

Kata kunci : struktur, gempa, pemodelan struktur, gaya dalam, respon spektrum, base shear, tulangan lentur, *Pushover Analysis*

ABSTRACT

The Calculation of Parking Building Structure on Jalan Letjend Suprpto Pontianak aims to analyze the calculation of basic shear forces. Reinforcement of earthquake resistant building structures that are guided by SNI Earthquake namely SNI 1726-2002 and SNI 1726-2012. Evaluate using Pushover Analysis. Structural modeling uses the ETABS 2016 auxiliary program with two structural structure models of the same structure, based on SNI 1726-2002 and SNI 1726-2012 which are then carried out by Pushover non-linear static analysis. The response results of the SDS design value spectrum based on SNI 1726-2012 are lower than SNI 1726-2002. The results obtained based on non-linear static analysis using ETABS software based on SNI 1726-2002 with a basic shear force of 4427,149 kN and the results of structural performance with a shear force of 1.606 kN, displacement (Dt) of 0.142 mm. The design results are based on SNI 1726-2012 with a basic shear force of 720.606 kN and the results of the structure performance with a shear force of 0.2242 kN, displacement (Dt) of 0.149 mm. Limitation of roof drift ratio with ETABS software obtained a maximum total drift of 350 mm. The calculation results with the help of ETABS software both based on SNI 1726-2002 and SNI 1726-2012 show that the buildings reviewed are included in the level of Full Operational (FO) performance, this means that if an earthquake occurs it does not experience structural and non-structural damage

Keyword: structure, earthquake, structure modelling, inner force, spectrum response, base shear, Pushover Analysis

I. PENDAHULUAN

Selama gempa bumi, bangunan mengalami gerakan vertikal dan gerakan horizontal. Gaya inersia atau gaya gempa, baik dalam arah vertical maupun horizontal, akan timbul di titik-titik pada massa struktur. Dari kedua gaya ini, gaya dalam arah vertikal hanya sedikit mengubah gaya gravitasi yang bekerja pada struktur, sedangkan struktur biasanya direncanakan terhadap gaya

vertikal dengan faktor keamanan yang memadai. Oleh karena itu, struktur umumnya jarang sekali runtuh akibat gaya gempa vertikal. Sebaliknya, gaya gempa horizontal menyerang titik-titik lemah pada struktur yang kekuatannya tidak memadai dan akan langsung menyebabkan keruntuhan/kegagalan. Atas alasan ini, prinsip utama dalam perancangan tahan gempa (earthquake-resistant design) ialah meningkatkan

kekuatan struktur terhadap gaya lateral yang umumnya tidak memadai (Muto, 1987).

Adapun penelitian bertujuan untuk menganalisis hasil disain bangunan tahan gempa berdasarkan peraturan SNI 1726-2002 (Indonesia, 2002; Budiono and Supriatna, 2011) dan SNI 1726-2012 (Nasional, 2012; Umum, 2012) dan mampu menghasilkan desain elemen-elemen struktur yang efektif dan efisien agar mendapatkan struktur bangunan yang memenuhi persyaratan keseimbangan, kekuatan, dan semua persyaratan dari peraturan/pedoman perencanaan yang berlaku, serta melakukan evaluasi perhitungan struktur gedung parkir tahan gempa dengan Pushover Analysis.

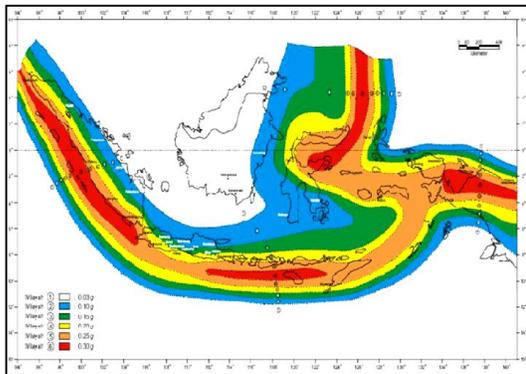
II. STUDI PUSTAKA

Spektrum Respons Desain SNI 03-1726-2002

Indonesia ditetapkan terbagi dalam 6 wilayah gempa, dengan wilayah gempa 1 adalah wilayah dengan kegempaan paling rendah dan wilayah gempa 6 dengan kegempaan paling tinggi. Pembagian wilayah gempa ini, didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh gempa rencana dengan perioda ulang 500 tahun, yang nilai rata-ratanya untuk setiap wilayah gempa ditetapkan dalam Tabel 1 dan Gambar 1.

Tabel 1 Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah untuk masing-masing Wilayah Gempa Indonesia (SNI 03-1726-2002)

Wilayah Gempa	Percepatan puncak batuan dasar ('g')	Percepatan puncak muka tanah A_0 ('g')			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,03	0,04	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,23	
3	0,15	0,18	0,22	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,29	0,33	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,36	



Gambar 1 Wilayah Gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan periods ulang 500 tahun

Spektrum Respons Desain Berdasarkan SNI 03-1726-2012

Dalam SNI 1726-2012 terdapat tahapan mendesain spektrum respons dengan menghitung persamaan-persamaan sesuai dengan periode. Dari parameter percepatan batuan dasar periode pendek (S_D) dan parameter percepatan batuan dasar periode 1 detik (S_1), didapat parameter spektrum respons dengan menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (1)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2)$$

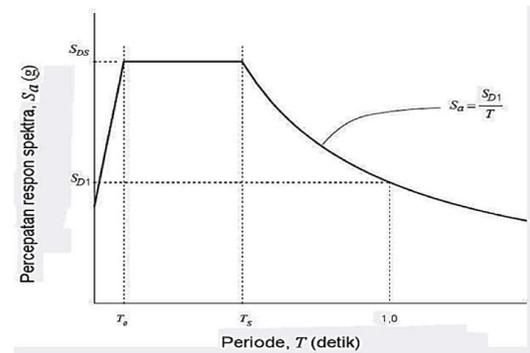
Setelah didapat parameter spektrum respons, dapat dilakukan perhitungan parameter percepatan spektrum desain dengan Persamaan 3 dan Persamaan 5.

$$\text{Untuk } T < T_0, \text{ maka } S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3)$$

$$\text{Untuk } T_0 < T < T_s, \text{ maka } S_a = S_{DS} \quad (4)$$

$$\text{Untuk } T > T_s, \text{ maka } S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (5)$$

Dengan menghitung parameter percepatan spektrum desain, grafik respons spektrum dapat dibuat. Grafik respons spektrum adalah hubungan antara periode dan percepatan respons spektrum yang ditunjukkan pada Gambar 2



Gambar 2 Respons Spektrum Desain

Gaya Geser

Gaya Geser berdasarkan SNI 1726-2002

Nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 80% nilai respons ragam yang pertama. Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal V1 maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan menurut persamaan 6 :

$$V \geq 0,8V1. \quad (6)$$

Dalam memenuhi persyaratan tersebut, maka gaya geser tingkat nominal akibat pengaruh gempa rencana sepanjang tinggi struktur gedung hasil analisis ragam spectrum respons dalam suatu arah

tertentu, harus dikali nilainya dengan suatu faktor skala, seperti Persamaan 7

$$\text{Faktor Skala} = \frac{0,8 \cdot W_1}{V_t} \geq 1 \quad (7)$$

Di mana V , adalah gaya geser dasar nominal sebagai respons dinamik ragam yang pertama saja dan V_t adalah gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respons yang telah dilakukan.

Gaya Geser Berdasarkan SNI 1726-2012

Analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi masa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horisontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model. Nilai untuk masing-masing parameter desain terkait gaya yang ditinjau, termasuk simpangan antar lantai tingkat, gaya dukung dan gaya elemen struktur individu untuk masing-masing ragam respons harus dihitung menggunakan properti masing-masing ragam dan spektrum respons dibagi dengan kuantitas (R/I_e). Kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen.

Performance Based Design

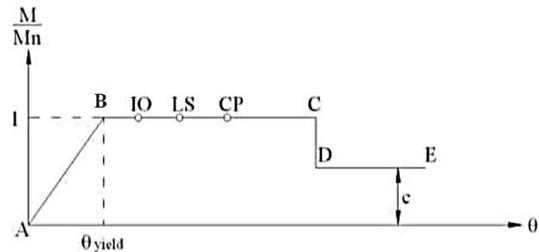
Saat ini, sebagian besar bangunan tahan gempa direncanakan dengan prosedur yang ditulis dalam peraturan perencanaan bangunan (*building codes*). Peraturan dibuat untuk menjamin keselamatan penghuni terhadap gempa besar yang mungkin terjadi, dan untuk menghindari atau mengurangi kerusakan atau kerugian harta benda terhadap gempa sedang yang sering terjadi. Meskipun demikian, prosedur yang digunakan dalam peraturan tersebut tidak dapat secara langsung menunjukkan kinerja bangunan terhadap suatu gempa yang sebenarnya, kinerja tadi tentu terkait dengan resiko yang dihadapi pemilik bangunan dan investasi yang dibelanjakan terkait dengan resiko diambil.

Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja (*performance-based seismic design*) merupakan proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkuatan (*upgrade*) bangunan yang sudah ada, dengan pemahaman yang realistis terhadap resiko keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang mungkin terjadi akibat gempa yang akan datang. Proses perencanaan tahan gempa berbasis kinerja dimulai dengan membuat model rencana bangunan kemudian melakukan simulasi kinerjanya terhadap berbagai kejadian gempa. Setiap simulasi memberikan informasi tingkat kerusakan (*level of damage*),

ketahanan struktur, sehingga dapat memperkirakan berapa besar keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang akan terjadi. Perencana selanjutnya dapat mengatur ulang resiko kerusakan yang dapat diterima sesuai dengan resiko biaya yang dikeluarkan (Lumantarna et al., 2004)

Menurut ATC-40 (Comartin et al., 1996), kriteria-kriteria struktur tahan gempa adalah sebagai berikut :

- a) *Immediate Occupancy (IO)*
Bila gempa terjadi, struktur mampu menahan gempa tersebut, struktur tidak mengalami kerusakan struktural dan tidak mengalami kerusakan non struktural. Sehingga dapat langsung dipakai.
- b) *Life Safety (LS)*
Bila gempa terjadi, struktur mampu menahan gempa, dengan sedikit kerusakan struktural, manusia yang tinggal / berada pada bangunan tersebut terjaga keselamatannya dari gempa bumi.
- c) *Collapse Prevention (CP)*
Bila gempa terjadi, struktur mengalami kerusakan struktural yang sangat berat, tetapi belum runtuh.

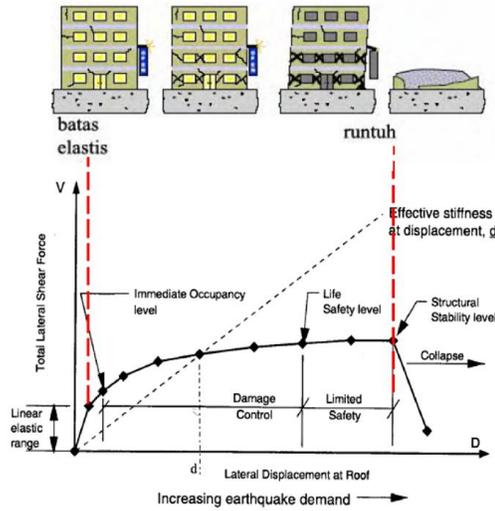


Gambar 3 Kurva Kriteria Kinerja

Bila struktur mengalami gempa atau gaya geser dasar (V_b), dengan kondisi gempa tersebut < gempa rencana (V_n), maka komponen struktur masih dalam keadaan elastis (A-B). Titik B menunjukkan keadaan leleh pertama. ketika $V_b > V_y$, struktur dalam keadaan plastis (B-C). Titik C merupakan batasan maksimum struktur dalam menahan gempa (V_b). V_b terus meningkat, maka terjadi degradasi pada struktur (C-D). Titik D menandakan bahwa struktur tidak mampu menahan gempa (V_b), tetapi masih mampu menahan beban gravitasi.

Secara kualitatif level kinerja FEMA 273 yang digambarkan bersama dengan suatu kurva hubungan gaya-perpindahan yang menunjukkan perilaku struktur secara menyeluruh terhadap pembebanan lateral. Kurva tersebut dihasilkan dari analisa statik non-linier yang dikenal sebagai analisa *pushover*, sehingga disebut juga sebagai kurva *pushover*. Sedangkan titik kinerja (*performance point*) merupakan besarnya

perpindahan titik pada atap pada saat mengalami gempa rencana, seperti Gambar 4



Gambar 4 Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja
Sumber: ATC40

Analisa Statik Nonlinier *Pushover*

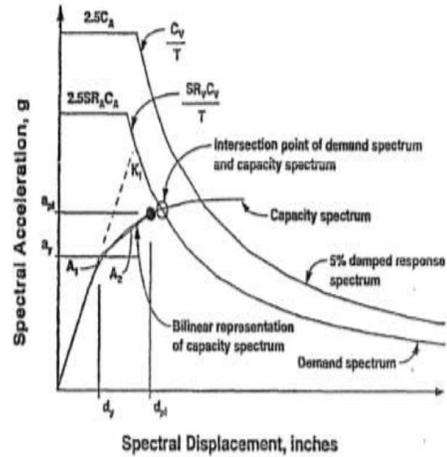
Analisis statik beban dorong (*pushover*) adalah suatu analisis nonlinier statik dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama didalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasc-elastik yang besar sampai mencapai target peralihan yang diharapkan atau sampai mencapai kondisi plastik.

Tujuan analisa *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana 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. (Pranata, 2006)

Performance Point

Performance point adalah titik dimana capacity curve berpotongan dengan response spectrum curve seperti yang dipergunakan dalam capacity spectrum method (ATC-40,1996). Untuk memperoleh gambaran lebih jelas, dapat dilihat pada Gambar 5. Pada performance point dapat

diperoleh informasi mengenai periode bangunan dan redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis. Berdasarkan informasi tersebut respons-respons struktur lainnya seperti nilai simpangan tingkat dan posisi sendi plastis dapat diketahui, seperti Gambar 5

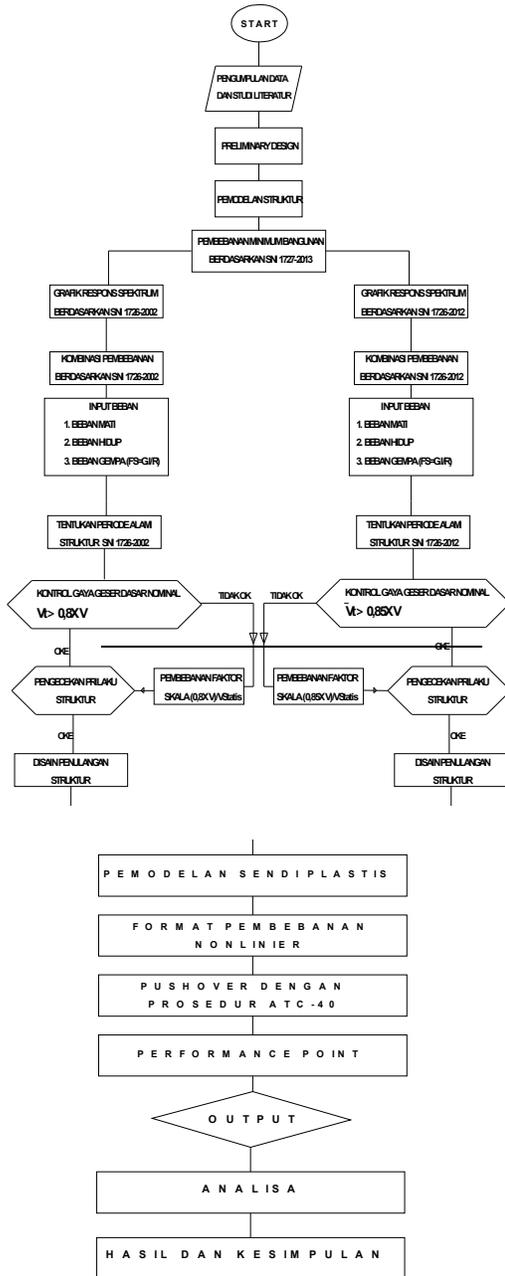


Gambar 5 Penentuan Performance Point (Comartin et al., 1996)

Secara garis besar, metode yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini terbagi menjadi:

1. Studi Pustaka (*Library Research*)
Merupakan metode yang digunakan untuk mendapatkan pengetahuan-pengetahuan dasar mengenai topik yang diangkat. Dalam pelaksanaannya, penulis mendapatkan bahan-bahan penulisan yang didasarkan pada kepustakaan dari berbagai literatur serta bahan-bahan lainnya yang berkaitan dengan tugas akhir ini.
2. Analisa gaya Gempa berdasarkan SNI 1726 tahun 2002 dan 2012 menggunakan bantuan program komputer ETABS 2016.
3. Pengecekan respons struktur dan ketidakberaturan horizontal dan vertikal akibat gaya gempa berdasarkan SNI 1726-2002 dan 1726-2012
4. Perhitungan gaya-gaya dalam berdasarkan SNI 1726 tahun 2002 dan 2012 menggunakan bantuan program komputer ETABS 2016.
5. Membandingkan hasil disain bangunan tahan gempa berdasarkan SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012.
6. Melakukan Evaluasi hasil disain bangunan tahan gempa berdasarkan SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012 dengan metode Pushover.

Bagan Alir Penelitian



Gambar 6 Bagan Alir (Flow Chart) Penelitian

III. HASIL ANALISA DATA

Respons Spektrum berdasarkan SNI 1726-2002

Berdasarkan SNI 03-1726-2002 kota Pontianak termasuk ke dalam kategori zona wilayah gempa 1 dengan percepatan puncak

batuan dasar sebesar 0,03g. Jenis tanah tempat model gedung adalah tanah Lunak.

Respons Spektrum berdasarkan SNI 1726-2012

Dalam pemodelan gedung ini, akan dilakukan analisa linier dinamis dengan *respons spektrum analysis* untuk pembebanan gempa. Parameter percepatan terpetakan (S_s dan S_1) bersumber dari aplikasi desain spektra Indonesia (PUSKIM & PPMB-ITB) dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun.

Untuk kota Pontianak, diketahui beberapa parameter sebagai berikut :

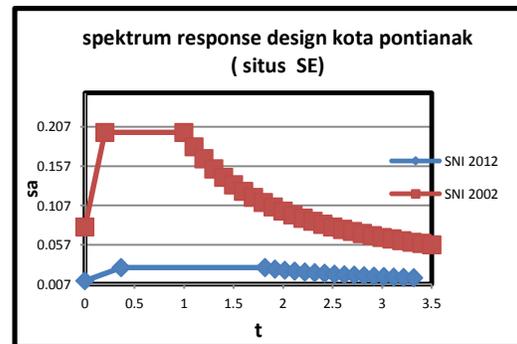
Tabel 2 Parameter Gempa Disain Spektra

TANAH LUNAK (SE)	
S_s (g)	0,017
S_1 (g)	0,022
Fa	2,5
Fv	3,5
S_{ms} (g)	0,041
S_{m1} (g)	0,075
SDS (g)	0,028
SD1 (g)	0,05
T0 (detik)	0,364
Ts (detik)	1,818

Pembahasan dan Perbandingan Spektrum Respons Desain SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012

Respons spektrum pada SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012 mengalami perbedaan percepatan respons gempa yang berbeda. Hal ini dapat terjadi karena perbedaan parameter yang digunakan oleh masing-masing SNI.

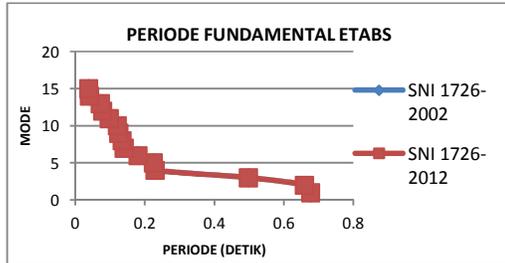
Percepatan respons gempa pada SNI 03-1726-2002 ditentukan oleh zona wilayah gempa dan jenis tanah. Sedangkan, pada SNI 03-1726-2012 ditentukan oleh parameter percepatan batuan dasar S_s dan S_1 serta faktor amplifikasi F_a dan F_v yang kemudian digunakan untuk menghitung nilai percepatan respons gempa.



Gambar 7 Grafik Respon Spektrum Antara SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012

Rasio Partisipasi Modal Massa

Periode fundamental merupakan waktu yang dibutuhkan dari suatu getaran ketika terjadi gempa terhadap sruktur. Pada analisis ETABS, periode fundamental di digambarkan dengan pola goyangan (mode shape). Periode getar struktur dan partisipasi massa ragam berdasarkan hasil ETABS menunjukkan bahwa pada mode shape ke-15 partisipasi massa ragam sudah melebihi 90%, sehingga sudah memenuhi syarat SNI 1726-2002 dan SNI 03-1726-2012.



Gambar 8 Grafik Periode Fundamental Etabs

Partisipasi massa ragam terkombinasi memenuhi syarat yang ditentukan, dengan arah X sebesar 99 % dengan periode 0,712 detik dan arah Y sebesar 99% dengan periode 0,685 detik. Dari rekapitulasi tersebut juga dapat dilihat bahwa kedua bentuk ragam pertama pada struktur adalah translasi arah X dan arah Y, kemudian diikuti dengan mode torsional Z.

Periode fundamental untuk SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012 memiliki periode fundamental yang sama, hal ini karena peneliti hanya mengambil satu jenis gedung saja.

Perbandingan Faktor Skala Gaya

Gaya geser dasar yang diperoleh pada SNI 03-1726-2012 mengalami penurunan. Walaupun dalam hal ini nilai besaran skala pada SNI 03-1726-2012 lebih besar daripada SNI 03-1726-2002, namun terjadi penurunan percepatan batuan dasar yang menyebabkan parameter respons sepektrum pada SNI 03-1726-2012 lebih kecil dibandingkan dengan SNI 1726-2002. Berikut merupakan Tabel perbandingan perhitungan faktor skala gaya

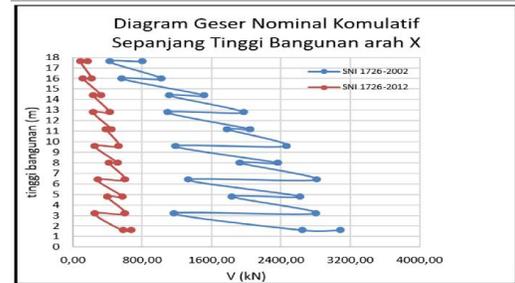
Perbandingan Gaya Geser Lantai (Story Shear)

Gaya geser lantai yang diperoleh pada SNI 03-1726-2012 mengalami penurunan. Pada Tabel 5.5 menunjukkan penurunan yang terjadi pada gaya geser lantai dari SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012.

Perbandingan faktor skala gaya geser lantai disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Perbandingan Faktor Skala Gaya

	PERBANDINGAN	
	SNI 1726-2002	SNI 1726-2012
I	1	1
R	3.5	3
Hn (m)	17.6	17.6
faktor skala	2,803	3,27
Tarah x	0,712	0,712
Tarah Y	0,685	0,685
Carah x (0,2/T)	0,281	-
Carah Y (0,2/T)	0,292	-
Cs (C1/R)- SNI 2002 arah x		0,0803
Cs (C1/R)- SNI 2002 arah Y		0,0834
Cs (Sds/(R/I))- SNI 2012 arah x		0,0093
Cs (Sds/(R/I))- SNI 2012 arah Y		0,0093
Wt (kN)	120002,56	120002,56
V arah X (kN) (Cs.Wt)	9631,02	1120,02
V arah Y (kN) (Cs.Wt)	10010,64	1120,02
VTARAH X ETABS (kN)	4427,15	720,61
VTARAH Y ETABS (kN)	4982,72	812,58
0,8 x V arah X (SNI 1726-2002)		7704,82
0,8 x V arah Y (SNI 1726-2002)		8008,51
0,85 x V arah X (SNI 1726-2012)		952,02
0,85 x V arah Y (SNI 1726-2012)		952,02
cek arah x	DIKALI FAKTOR SEKALA	DIKALI FAKTOR SEKALA
cek arah Y	DIKALI FAKTOR SEKALA	DIKALI FAKTOR SEKALA
Faktor Skala Arah x	1,740	1,321
Faktor Skala Arah Y	1,607	1,176



Gambar 9 Diagram Geser Nominal Kumulatif Sepanjang Tinggi Bangunan arah X



Gambar 10 Diagram Geser Nominal Kumulatif Sepanjang Tinggi Bangunan arah Y

Perbandingan Simpangan Antar Lantai (Story Drift)

Nilai story Drift yang digunakan pada perbandingan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012 yaitu nilai story Drift rerata arah x dan y dari kedua jenis SNI tersebut. Berikut nilai story Drift arah x dan y pada SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012.



Gambar 11 Diagram Story Drift arah X

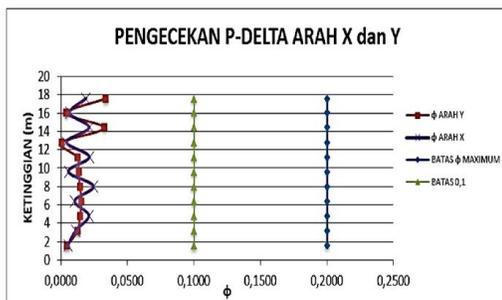


Gambar 12 Diagram Story Drift arah Y

Pengecekan P-Delta

Berdasarkan SNI 1726-2002 pasal 5.7, Struktur gedung Parkir ini tidak perlu memperhitungkan P-Delta karena tinggi gedung parkir masih dibawah 40 m.

Sedangkan dalam SNI 1726-2012 perlu dilakukan pengecekan terhadap koefisien stabilitas apakah melebihi 0,1. Jika masih dibawah 0,1 maka efek P-delta dapat diabaikan, dan apabila melebihi maka perlu dicek terhadap koefisien stabilitas maksimum. Berikut adalah hasil pengecekan P-delta Efek berdasarkan SNI 1726-2012.



Gambar 13 Diagram Pengecekan P-delta

Perbandingan Ketidakberaturan

Perbandingan pada ketidakberaturan seperti pada Tabel 3

Tabel 3 Perbandingan Ketidakberaturan

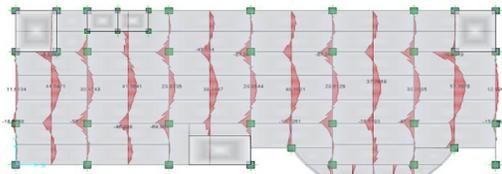
Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	SNI 2012	SNI 2002
Ketidakteraturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	YES	-
Ketidakteraturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	YES	-
Ketidakteraturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan.	NO	-
Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	YES	YES
Ketidakteraturan pergeseran melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.	YES	YES
Ketidakteraturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa.	NO	NO
Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	YES	YES
Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	NO	-
Ketidakteraturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	NO	NO
Ketidakteraturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130 % dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya.	NO	-

Tabel 3 Perbandingan Ketidakberaturan (lanjutan)

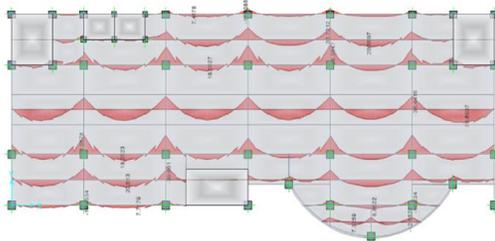
Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	SNI 2012	SNI 2002
Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal didefinisikan ada jika pegeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya.	NO	-
Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80 % kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	YES	YES
Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat yang Berlebihan didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65 % kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat tingkat adalah kuat total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	YES	-

Hasil Desain Penulangan Pelat Lantai

Desain elemen pelat dalam tugas akhir ini dilakukan dengan SAFE 2016. Pada pemodelan di SAFE, daerah pelat dibagi menjadi dua yaitu daerah tumpuan dan daerah lapangan dengan lebar lajur masing-masing disesuaikan dengan lebar pelatnya.



Gambar 14 Diagram Momen Pelat Pada Strip Sumbu Y Lantai 1A



Gambar 15 Diagram Momen Pelat Pada Strip Sumbu X Lantai 1A

Tabel 4 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai

KETERANGAN	MOMENI KN-m/m	As SAFE (mm ²)	As hitung (mm ²)	S(mm)	WIREMASH M10-150
momen arah x negatif	Mtx -26.7279	505.396	506.010	310.27	OKE
momen arah x positif	Mlx 17.8134	334.447	334.749	469.01	OKE
momen arah Y negatif	Mty -23.4288	484.141	484.341	324.15	OKE
momen arah Y positif	Mly 25.6901	531.585	532.286	294.95	OKE

Berdasarkan Tabel 4, dapat disimpulkan bahwa luas tulangan hasil perhitungan yang diperoleh lebih konservatif, namun mendekati hasil desain dari SAFE. Hasil desain penulangan pelat tetap menggunakan hasil dari SAFE agar lebih efisien.

Hasil Desain Penulangan Balok (SNI 1726-2002)

Ditinjau satu balok induk memanjang dengan bentang 7,7 m dan dimensi 35/70. Berikut adalah hasil penulangan Balok yang di tinjau

POTONGAN	35/70 interior		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
UKURAN	350 x 700	350 x 700	350 x 700
TULANGAN ATAS	6 D19	2 D19	6 D19
TULANGAN BAWAH	3 D19	5 D19	3 D16
SENGKANG	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100
TULANGAN BADAN	-	-	-
SKALA		1 : 20	

Gambar 16 Detail Isi tulangan balok yang ditinjau berdasarkan SNI 1726-2002

Hasil Desain Penulangan Balok (SNI 1726-2012)

Ditinjau satu balok induk memanjang dengan bentang 7,7 m dan dimensi 35/70. Berikut adalah hasil penulangan Balok yang di tinjau

POTONGAN	35/70 interior		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
UKURAN	350 x 700	350 x 700	350 x 700
TULANGAN ATAS	5 D19	3 D19	5 D19
TULANGAN BAWAH	3 D19	5 D16	3 D19
SENGKANG	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 150
TULANGAN BADAN	-	-	-
SKALA		1 : 20	

Gambar 17 Detail Isi tulangan balok yang ditinjau berdasarkan SNI 1726-2012

Hasil Desain Penulangan Kolom

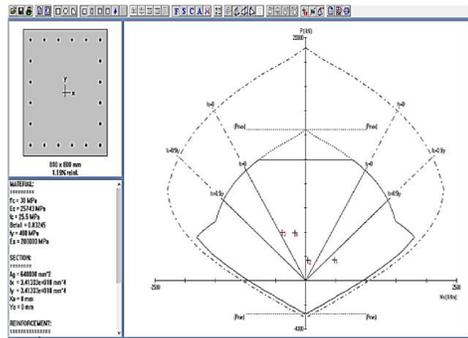
Perencanaan penulangan kolom dilakukan dengan mengecek kekuatan kombinasi axial dan lentur dari penampang yang telah memiliki dimensi sesuai persyaratan yang ditunjukkan melalui diagram interaksi yang dibuat menggunakan program SpColumn v6

Berdasarkan hasil desain dari ETABS, rasio tulangan yang diperlukan, yaitu rasio tulangan minimum (1% Ag), yaitu 6400 mm², dipasang 20D22

$$\rho_g = \frac{20 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2}{800 \times 800} = 1,187\% \rightarrow 1\%$$

$$\leq 1,187\% \leq 6\% \rightarrow OK$$

Dengan bantuan peranti lunak SpColumn, dapat dicek apakah kapasitas kolom mencukupi kekuatan yang diperlukan untuk menahan beban-beban maksimum pada kolom. Berikut adalah cuplikan Input beban pada program SpColumn.



Gambar 18 Diagram Kapasitas Kolom dengan Perogram SpColumn

Berikut adalah cuplikan hasil perhitungan kapasitas kolom lantai 1 terhadap beban-beban maksimum yang di terima

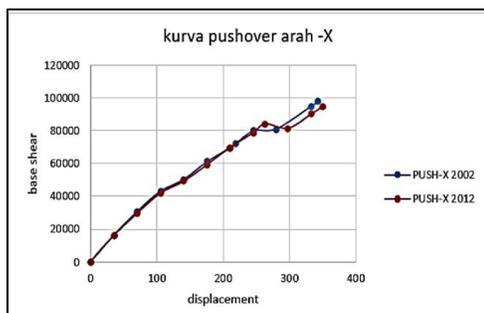
Tabel 5 Hasil Pengecekan Kapasitas Kolom

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities									
No	Pu	Max	#Max	#Mu/Mu	NL Depth	et Depth	et	φ	
	kN	V/kN	kN/m		mm	mm			
1	1706,10	476,64	1406,00	2,699	177	732	0,00941	0,900	
2	1671,54	36,51	1421,13	38,593	175	732	0,00953	0,900	
3	3370,33	-384,30	-1731,24	4,536	314	732	0,00386	0,815	
4	3524,27	-183,56	-1741,82	9,468	309	732	0,00410	0,823	

Terlihat bahwa SpColumn menunjukkan kolom 800 x 800 cukup untuk menahan beban-beban maksimum dari lantai 2.

Hasil Pushover Analisis Berdasarkan Output SNI 1726-2002 Dan SNI 1726-2012

- Hasil Analisis Pushover berdasarkan Output SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012 arah X



Gambar 19 perbandingan kurva pushover SNI 2002 dan 2012 arah X

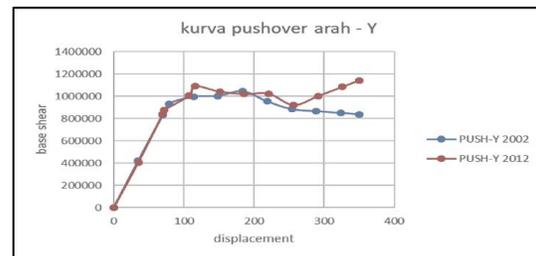
Tabel 6 Perbandingan Titik- penting Arah X

arah-X	condition (SNI 1726-2002)			condition (SNI 1726-2012)		
	performance Point	design	first Yield	performance Point	design	first Yield
V (kN)	1,606	4427,149	16094,22	0,2242	720,606	15867,31
d (mm)	0,142	8,578	35,138	0,149	1,328	35,149

Tabel 7 Perbandingan Gaya Geser Maksimum X

arah X	(SNI 1726-2002)	(SNI 1726-2012)
max V (kN)	97463,8294	94661,5667
Max d (mm)	342,75	350,149

- Hasil Analisis Pushover berdasarkan Output SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012 arah Y



Gambar 19 perbandingan kurva pushover SNI 2002 dan 2012 arah Y

Tabel 8 Perbandingan Titik-Titik penting Arah Y

arah-Y	condition (SNI 1726-2002)			condition (SNI 1726-2012)		
	performance Point	design	first Yield	performance Point	design	first Yield
V (kN)	1,626	4982,14	421101,5	0,227	812,57	405938,3
d (mm)	0,138	8,791	35,138	0,149	1,34	35,149

Tabel 9 Perbandingan Gaya Geser Maksimum Y

arah Y	(SNI 1726-2002)	(SNI 1726-2012)
max V (kN)	839147,6	1143471
Max d (mm)	350,138	350,149

IV. PENUTUP

- Struktur Gedung Parkir di jalan Letjen Suprpto Pontianak memiliki ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal
 - Berdasarkan SNI 1726-2002 Struktur Gedung Parkir memiliki ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma, Ketidakberaturan pergeseran melintang, lantai lunak dan ketidakberaturan Diskontinuitas kuat lateral.
 - Berdasarkan SNI 1726-2012 struktur Gedung parkir memiliki ketidakberaturan Torsi, ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma, Ketidakberaturan pergeseran melintang, lantai lunak, dan

- ketidakberaturan Diskontinuitas kuat lateral.
2. Nilai percepatan respons gempa menunjukkan bahwa pada $T_0 \leq T \leq T_S$ pada SNI 03-1726-2012 memiliki nilai yang lebih kecil daripada $T > T_c$ pada SNI 03-1726-2002. Sehingga, respons spektrum desain yang dihasilkan berdasarkan SNI 03-1726-2012 lebih kecil dibandingkan SNI 03-1726-2002. Hal ini disebabkan karena berubahnya peta percepatan dasar batuan pada SNI 03-1726-2012.
 3. Grafik respon spektrum pada lokasi yang sama, namun nilai puncak percepatan respon SNI 1726-2002 dan 1726-2012 mengalami penurunan sebesar 86% pada titik puncaknya dikarenakan perbedaan parameter yang digunakan oleh masing-masing SNI.

DAFTAR PUSTAKA

- ATC, 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1, ATC-40 Report, Applied Technology Council, Redwood City, California.*
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013).* Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726:2002).* Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012).* Jakarta.
- Comartin, C.D., Niewiarowski, R.W., Rojahn, C., 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings.* Seismic Safety Commission, State of California.
- FEMA, 1997. *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Developed by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency (Report No. FEMA 273), Washington, D.C.*
- Indonesia, S.N., 2002. SNI-1726-2002-Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung. Standar Nasional Indonesia.
- Lumantarna, B., Gunawan, I., Wijaya, E., 2004. Keandalan Analisa Pushover Untuk Meramal Prilaku Seismik Nonlinier Struktur Portal Terbuka dengan Reentrant Corner. *Civil Engineering Dimension* 6, 1–6.
- Muto, K., 1987. Analisis Perancangan Gedung Tahan Gempa. Erlangga, Jakarta.
- Nasional, B.S., 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726: 2012.* Badan Standardisasi Nasional.
- 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, 41–52.
- Umum, D.P., 2012. SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.

Pembimbing Utama

Prof. Ir. Abdul Hamid, M.eng.
NIP 195007081975031001

Pembimbing Pendamping

Gatot Setya Budi, ST, MT.
NIP 197212242000121002