

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perilaku gedung harus dicermati dengan sangat baik agar terhindar dari kemungkinan kegagalan struktur akibat ketidak-mampuan gedung menahan beban gempa yang bekerja terhadapnya. Agar perilaku gedung terhadap gempa diketahui, dalam prosedur analisis yang digunakan harus mempertimbangkan ketidak-pastian dalam pembebanan dan ketahanan serta beban gempa yang bekerja pada dasarnya memperhitungkan arah yang saling tegak lurus terhadap denah gedung dimana umumnya sejajar portal.

Penelitian yang penulis lakukan dengan perbandingan penelitian sebagai berikut :

1. Prasetyo, A., 2018. Analisis Perencanaan Gedung Tahan Gempa dengan Menggunakan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan Peraturan SNI 2847:2013, SNI 1727:2013 dan SNI 1726:2012.
2. Budiono, B., Wicaksono, E. 2016. Perilaku Struktur Bangunan dengan Ketidakberaturan Vertikal Tingkat Lunak Berlebihan dan Massa Terhadap Beban Gempa.
3. Harahap, M., Fauzan, M. 2019. Perilaku Dinamik pada Struktur Apartemen Metro Galaxy Park terhadap Beban Gempa

Pembebanan gempa pada penelitian awal menggunakan pengaruh beban gempa, E , yang diambil sesuai kombinasi pada SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Gedung dan Non Gedung. Kombinasi beban gempa yang tercantum pada pasal 7.4.2.3 antara lain $(1,2 + 0,2S_{DS})D + \rho Q_E + L$ dan $(0,9 - 0,2 S_{DS})D + 1,0E$. Dengan ditetapkannya SNI 1726-2019 sebagai revisi dari SNI 1726-2012 adalah perubahan kombinasi pembebanan gempa yang akan membebani struktur gedung. Maka kombinasi beban gempa untuk struktur yang harus digunakan sesuai pada pasal 4.2.2.3 antara lain $1,2D + E_v + E_h + L$ dan $0,9D - E_v + E_h$.

Akibat pengaruh perubahan kombinasi pembebanan gempa yang ditetapkan dalam analisis perilaku gedung struktur portal menggunakan software SAP 2000 v.14, maka dari kedua analisis yang telah dilaksanakan, diperoleh hasil antara lain gaya lateral ekuivalen, gaya geser dasar (*Base Shear*), perpindahan tingkat (*Story Displacement*), serta simpangan antar lantai tingkat (*Story Drift*), guna melihat persentase perbandingan yang terjadi pada perilaku gedung yang telah direncanakan. Oleh sebab itu, penulis membuat Skripsi dengan judul **Kajian Perilaku Gedung Akibat Pengaruh Kombinasi Pembebanan Gempa dari SNI 1726-2012 ke SNI 1726-2019 (Studi Literatur)**.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun beberapa permasalahan yang perlu ditinjau berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan permasalahan yang terdapat dalam kajian ini, dirincikan sebagai berikut :

1. Berapa persentase perbandingan gaya lateral ekuivalen yang timbul akibat perubahan kombinasi pembebanan gempa ?
2. Berapa persentase perbandingan gaya geser dasar (*base shear*) yang timbul akibat perubahan kombinasi pembebanan gempa ?
3. Berapa persentase perbandingan perpindahan tingkat (*story displacement*) pada gedung yang timbul akibat perubahan kombinasi pembebanan gempa ?
4. Berapa persentase perbandingan simpangan antar lantai tingkat (*story drift*) pada gedung yang ditimbulkan akibat perubahan kombinasi pembebanan gempa ?

1.3 Batasan Masalah

Masalah yang terdapat dalam kajian ini memiliki batasan-batasan yang digunakan sebagai partanda sejauh mana kajian ini di tinjau terhadap perencanaan gedung. Batasan masalah yang ditentukan sebagai berikut :

1. Gedung yang akan dianalisis berfungsi sebagai gedung kampus yang simetris, berjumlah 6 lantai dan tinggi antar lantai tipikal di atasnya 4,0 m.
2. Asumsi struktur gedung berada pada tanah sedang di Wilayah Medan
3. Peraturan struktur yang digunakan yaitu Standar Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung Beton Bertulang (SNI 2847:2019).
4. Peraturan gempa yang digunakan berdasarkan perbandingan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019.
5. Peraturan pembebanan berdasarkan Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (SNI 1727:2018)
6. Pemodelan struktur gedung yang rencanakan berupa *Open Frame 3D* menggunakan *software* SAP 2000 v.14.0.0 dengan metode analisis yang dipakai adalah analisis statis ekuivalen.
7. Pada fondasi tidak dilakukan desain dan perhitungan serta gedung yang dirancang adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
8. Perbandingan perilaku struktur gedung yang ditinjau harus dirancang menggunakan perubahan kombinasi pembebanan gempa yang terjadi berdasarkan SNI 1726-2012 ke SNI 1726-2019.
9. Perilaku gedung yang ditinjau berupa gaya lateral ekivalen, gaya geser dasar (*base shear*), perpindahan tingkat (*story displacement*), serta simpangan antar tingkat lantai (*story drift*) untuk masing-masing perencanaan gedung menggunakan perbandingan kombinasi yang ada.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang diharapkan sesuai dengan batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui persentase perbandingan gaya lateral ekuivalen pada gedung yang ditimbulkan akibat perubahan kombinasi pembebanan gempa.
2. Mengetahui persentase perbandingan gaya geser dasar (*base shear*) pada gedung yang ditimbulkan akibat perubahan kombinasi pembebanan gempa.
3. Mengetahui persentase perbandingan perpindahan tingkat (*story displacement*) pada gedung yang timbul akibat perubahan kombinasi pembebanan gempa.
4. Mengetahui persentase perbandingan simpangan antar lantai tingkat (*story drift*) pada gedung yang timbul akibat perubahan kombinasi pembebanan gempa.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian di atas, manfaat yang diharapkan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Manfaat teoritis penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan mengenai perilaku gedung terhadap perubahan kombinasi pembebanan gempa dari SNI 1726-2012 ke SNI 1726-2019 dan dapat dijadikan acuan untuk perencanaan kombinasi gempa pada struktur gedung yang akan direncanakan di masa yang akan datang.
2. Manfaat praktis penelitian ini diharapkan dapat mengetahui persentase perbandingan perilaku gedung berupa gaya lateral ekuivalen, gaya geser dasar (*base shear*), perpindahan tingkat (*story displacement*), serta simpangan antar tingkat lantai (*story drift*) yang timbul akibat pengaruh perubahan kombinasi pembebanan gempa yang akan membebani pada masing-masing struktur yang direncanakan.

1.6 Keaslian Penelitian

Keaslian dalam penelitian yang berjudul Kajian Perilaku Gedung Akibat Pengaruh Perubahan Kombinasi Pembebanan Gempa dari SNI 1726-2012 ke SNI 1726-2019 ini terletak pada perbandingan hasil yang timbul pada perilaku struktur berupa gaya lateral ekuivalen, gaya geser dasar (*base shear*), perpindahan tingkat (*story displacement*), simpangan antar tingkat lantai (*story drift*) pada masing-masing gedung yang direncanakan menggunakan aplikasi SAP 2000 v.14.0.0 sebagai metode penelitian dengan data analisis yang digunakan berdasarkan pembaharuan peraturan kombinasi pembebanan gempa yang telah ditetapkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perilaku Gedung

Perilaku gedung adalah suatu sifat yang dimiliki oleh sebuah struktur bangunan akibat dilakukan pembebanan serta analisis terhadap gaya yang direncanakan sesuai keinginan pengguna bangunan tersebut. Untuk mengetahui perilaku yang ada pada gedung maka dilakukan penelitian terhadapnya, dimana kajian tersebut mengacu pada perbandingan penggunaan SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019 akibat pengaruh kombinasi pembebanan gempa. Apabila suatu gedung menerima beban gempa pada tingkatan atau kondisi tertentu akan terjadi sendi plastis (*hinge*) pada balok gedung tersebut, dimana sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan elemen struktur balok dan kolom menahan gaya dalam.

2.2 Dasar Perencanaan Gedung Tahan Gempa

Menurut SNI 2847, standar ini digunakan dalam perencanaan dan pelaksanaan struktur beton untuk bangunan gedung atau struktur bangunan lain yang mempunyai kesamaan karakter dengan struktur bangunan gedung. Standar ini memberikan persyaratan minimum untuk desain dan konstruksi komponen struktur beton semua struktur yang dibangun menurut persyaratan peraturan bangunan gedung secara umum yang diadopsi secara legal dimana standar ini menentukan standar minimum yang sangat diterima untuk bahan, desain, dan praktek konstruksi serta memuat evaluasi kekuatan struktur beton yang sudah dibangun.

Menurut SNI 1726, standar ini digunakan untuk menentukan kategori desain seismik dimana klasifikasi yang ditetapkan untuk struktur berdasarkan pada kategori huniannya dan keparahan pergerakan tanah gempa rencana di lokasi, sebagaimana didefinisikan oleh tata cara bangunan gedung umum yang diadopsi secara legal. Sistem penahan gaya gempa (*Seismic design-resisting system*) merupakan bagian struktur yang didesain untuk menahan gaya gempa rencana yang disyaratkan oleh tata cara bangunan gedung umum yang diadopsi secara legal menggunakan ketentuan yang sesuai dan kombinasi beban.

Menurut SNI 1727, standar ini digunakan untuk member pilihan pemberian pembebanan yang mungkin akan membebani struktur gedung yang akan kita rancang, baik berupa beban yang bersifat permanen maupun beban yang sifatnya hanya sementara dan berpindah-pindah serta mampu memprediksi seberapa besar kemungkinan beban maksimum yang akan dipikul struktur gedung, Hal ini merupakan tahapan yang sangat penting dalam merencanakan gedung, dikarenakan apabila prediksi yang diperhitungkan melenceng dari yang diharapkan maka kemungkinan terburuk yang akan terjadi adalah kegagalan struktur saat gedung menopang beban dan menyebabkan keruntuhan dan menimbulkan korban jiwa.

Dari berbagai hasil penelitian gempa besar yang terjadi menyebabkan percepatan batuan dasar lebih besar dari pada percepatan batuan dasar yang telah ditetapkan dalam peta gempa SNI 1726-2002, oleh sebab itu SNI tersebut sudah tidak sesuai lagi diaplikasikan sebagai pedoman perencanaan struktur gempa. (Rohman, K. R., 2014)

2.2.1 Mutu bahan

Mutu bahan dalam kajian ini berupa mutu beton dan baja (baja tulangan) yang akan digunakan pada saat merencanakan sebuah struktur gedung. Bila mutu bahan yang akan dipakai adalah rendah, maka akan membutuhkan volume yang lebih besar dibandingkan jika digunakan mutu bahan yang lebih tinggi untuk dapat memenuhi kriteria kekuatan struktur, hal tersebut harus dipertimbangkan guna menghasilkan yang memenuhi aspek struktur yang ditentukan serta ekonomis dan aman. (Pamungkas & Harianti, 2009).

2.2.2 Sistem pembebanan

Pembebanan yang bekerja pada struktur merupakan faktor penting dalam merencanakan sebuah gedung. Desain pembebanan diambil sesuai SNI 1727:2020 Pedoman Pembebanan Minimum untuk Perancangan Bangunan Rumah dan Gedung untuk beban hidup serta *ASCE 7-10 Minimum Design Load for Buildings and Other Struktur* untuk beban mati.

Untuk beban gempa desain diambil sesuai dengan Perbandingan SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019 dibagi menjadi beberapa bagian, sebagai berikut :

1. Beban mati (*DL*)

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, dinding partisi tetap, *finishing*, dan komponen arsitektural struktur lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material. Beberapa beban mati yang direncanakan akan membebani gedung adalah sebagai berikut :

- a) Berat sendiri struktur berupa beban material beton bertulang : $23,6 \text{ kN/m}^3$ [ASCE 7-10 Table C3-1, *Concrete, Reinforced Stone (including gravel)*].
- b) Beban mati tambahan per m^2 lantai dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan 2.2.
- c) Beban dinding per m^2 diambil sebesar $2,3 \text{ kN/m}^2$ (ASCE 7-10 Table C3-1, *Exterior stud walls with brick veneer*)

Tabel 2.1 Beban Mati per m^2 pada lantai 1-5

Jenis Beban	Berat (kN/m ²)	Diambil dari
Keramik spesi	1,10	(ASCE 7-10 Table C3-1, <i>Ceramic, or quarry tile (19 mm), on 25 mm mortar bed</i>)
Ducting mekanikal	0,19	(ASCE 7-10 Table C3-1, <i>Mechanical Duct Allowance</i>)
Penggantung langit-langit	0,1	(ASCE 7-10 Table C3-1, <i>Suspended Steel Channel System</i>)
Plafon	0,05	(ASCE 7-10 Table C3-1, <i>Acoustical fiberboard</i>)
Total	1,44	

Sumber: SNI 1727:2020

Tabel 2.2 Beban Mati per m² pada atap

Jenis Beban	Berat (kN/m ²)	Diambil dari
Lapisan <i>waterproofing</i>	0,05	(ASCE 7-10 Table C3-1, <i>Waterproofing Membranes Liquid Applied</i>)
<i>Ducting</i> mekanikal	0,19	(ASCE 7-10 Table C3-1, <i>Mechanical Duct Allowance</i>)
Penggantung langit-langit	0,1	(ASCE 7-10 Table C3-1, <i>Suspended Steel Channel System</i>)
Plafon	0,05	(ASCE 7-10 Table C3-1, <i>Acoustical fiberboard</i>)
Total	0,39	

Sumber: SNI 1727:2020

2. Beban hidup (*LL*)

Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak membebani struktur secara permanen. Beban hidup minimum yang bekerja pada lantai bangunan tergantung dari fungsi ruang yang direncanakan. (Prasetyo, 2018).

Beban hidup yang digunakan tidak dikalikan dengan faktor reduksi, oleh sebab itu besarnya beban hidup yang bekerja pada struktur gedung dapat dilihat pada (a) dan (b) sebagai berikut :

- (a) Beban hidup lantai 1-5 dapat dilihat pada Tabel 2.3
- (b) Beban hidup lantai 6 (atap) diambil sebesar 0,96 kN/m² (SNI 1727:2020, Tabel 4.3-1, Atap datar)

Tabel 2.3 Beban Hidup per m² Pada Lantai 1-5

Jenis Beban	Berat (kN/m ²)	Diambil dari
Lantai hunian	1,92	(SNI 1727:2018 Tabel 4.3-1, Sekolah)
Beban partisi	0,72	(SNI 1727:2018 Pasal 4.3.2 Ketentuan untuk partisi)
Total	2,64	

Sumber: SNI 1727:2020

3. Beban gempa (E)

Beban gempa merupakan semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada bangunan atau bagian bangunan yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa yang terjadi. Penentuan beban yang dipergunakan baik berdasarkan SNI 1726-2012 maupun SNI 1726-2019 telah ditetapkan untuk pengaruh beban gempa (E) maka harus ditentukan sesuai dengan persamaan sebagai berikut :

$$E = E_h + E_v \quad (2.1)$$

$$E = E_h - E_v \quad (2.2)$$

Dimana :

$$E_h = \rho Q_E \quad (2.3)$$

$$E_v = 0,2 S_{DS} D \quad (2.4)$$

Untuk nilai redundansi diambil sebesar, $\rho = 1,3$ yang telah tercantum dalam pasal 7.3.4.2 SNI 1726-2019 dan untuk nilai lainnya akan dijelaskan pada Tabel yang akan diuraikan pada anak sub bab selanjutnya.

2.2.3 Sistem struktur

Sistem struktur yang didesain sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik hanya boleh didesain sebagai sistem pemikul gaya seismik tersebut sesuai dengan yang ditentukan berdasarkan SNI 1726. Hal ini menentukan bahwa tipe sistem struktur yang diizinkan sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik dengan mempertimbangkan kategori desain seismik (KDS) dan tinggi bangunan.

Tabel 2.4 Faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

Sumber: SNI 1726

Tabel 2.5 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedag dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulance, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang termasuk ke dalam risiko IV.</p>	IV

Sumber: SNI 1726

Tabel 2.6 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726

Tabel 2.7 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726

Tabel 2.8 Faktor R , C_d dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya gempa

Sistem pemikul gaya gempa	Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0	Faktor pembesaran defleksi, C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
Sistem rangka pemikul momen								
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	$4\frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	$2\frac{1}{2}$	TB	TI	TI	TI	TI

Sumber: SNI 1726

Hastono, K. B., dan Syamsudin, R. (2018) telah melakukan analisis perbandingan antara SNI 03-1726-2002 dengan SNI 03-1726-2012 sebuah struktur gedung beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) pada daerah gempa tinggi agar dapat menghasilkan mekanisme plastis yang terjadi didaerah sendi plastis.

2.3 Perbandingan Kombinasi Pembebanan Gempa

Pada kajian ini dilakukan perbandingan terhadap penggunaan kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban gempa pada struktur bangunan gedung dan nongedung yang harus didesain menggunakan kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019 yang telah dirangkum pada pembahasan anak sub bab dibawah sebagai berikut :

2.3.1 Berdasarkan SNI 1726-2012

Berdasarkan kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik yang tercantum pada pasal 7.4.2.3 dalam SNI 1726-2012, maka struktur gedung yang direncanakan diharapkan sedemikian mampu hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut :

- i. $1,2D + 1,0E + L$
- ii. $0,9D + 1,0E$

Pada kombinasi di atas dilakukan langkah-langkah guna memperoleh nilai *input* kombinasi yang sesuai sebagai berikut ini :

- a) Pada kombinasi pertama (1) dan kedua (2) dilakukan pembagian arah sumbu terhadap pembebanan struktur gedung yang direncanakan.
- b) Pada kombinasi pertama (1) disubstitusikan ke-persamaan (2.1) sedangkan pada kombinasi kedua (2) disubstitusikan ke-persamaan (2.2),
- c) setelahnya dilakukan substitusi dengan persamaan (2.3) untuk pengaruh beban gempa horizontal (E_h) dan persamaan (2.4) untuk pengaruh beban gempa vertikal (E_v),
- d) Akibat pengaruh beban gempa horizontal (E_h) direduksi dengan nilai faktor redundansi sebesar, $\rho = 1,3$ untuk wilayah dengan kondisi tanah sedang.

Sehingga kombinasi pembebanan akibat pengaruh beban gempa berdasarkan SNI 1726-2012 diperoleh nilai yang akan di *input* kedalam aplikasi Sap2000 adalah kombinasi-kombinasi sebagai berikut :

- i. COMB1 (a) : $1,2D + 1,0Ex + L$
 (b) : $1,2D + 1,0(E_h + E_v)x + 1,0L$
 (c) : $1,2D + 1,0((\rho * Q_E) + (0,2 * S_{DS} * D))x + 1,0L$
 (d) : $(1,2 + 0,2 * S_{DS})D + 1,0(1,3Q_E)x + 1,0L$

Maka, COMB1 = $aD + 1,3Q_{Ex} + 1,0L$

- ii. COMB2 (a) : $1,2D + 1,0Ey + L$
 (b) : $1,2D + 1,0(E_h + E_v)y + 1,0L$
 (c) : $1,2D + 1,0((\rho * Q_E) + (0,2 * S_{DS} * D))y + 1,0L$
 (d) : $(1,2 + 0,2 * S_{DS})D + 1,0(1,3Q_E)y + 1,0L$

Maka, COMB2 = $aD + 1,3Q_{Ey} + 1,0L$

- iii. COMB3 (a) : $0,9D + 1,0Ex$
 (b) : $0,9D + 1,0(E_h - E_v)x$
 (c) : $0,9D + 1,0((\rho * Q_E) - (0,2 * S_{DS} * D))x$
 (d) : $(0,9 - 0,2 * S_{DS})D + 1,0(1,3Q_E)x$

Maka, COMB3 = $bD + 1,3.Q_{Ex}$

- iv. COMB4 (a) : $0,9D + 1,0Ex$
 (b) : $0,9D + 1,0(E_h - E_v)y$
 (c) : $0,9D + 1,0((\rho * Q_E) - (0,2 * S_{DS} * D))y$
 (d) : $(0,9 - 0,2 * S_{DS})D + 1,0(1,3Q_E)y$

Maka, COMB4 = $bD + 1,3.Q_{Ey}$

- v. ENVELOPE : Pada kombinasi envelope terdiri dari semua kombinasi diantaranya adalah COMB1, COMB2, COMB3, dan COMB4 yang dimana pada aplikasi akan dipilih kombinasi pembebanan terbesar yang akan membebani struktur gedung secara otomatis.

Untuk menentukan nilai dari parameter percepatan respon spektral desain telah tercantum beberapa tabel-tabel pendukung sebagai berikut :

Tabel 2.9 Koefisien situs, F_a (2012)

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS				

Sumber: SNI 1726-2012

Tabel 2.10 Koefisien Situs, F_v (2012)

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \leq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS				

Sumber: SNI 1726-2012

2.3.2 Berdasarkan SNI 1726-2019

Berdasarkan kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik yang tercantum pada pasal 4.2.2.3 dalam SNI 1726-2019, maka struktur gedung yang direncanakan diharapkan sedemikian mampu hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut :

1. $1,2D + E_v + E_h + L$
2. $0,9D - E_v + E_h$

Pada kombinasi di atas dilakukan langkah-langkah guna memperoleh nilai *input* kombinasi yang sesuai pada halaman selanjutnya sebagai berikut :

- a) Pada kombinasi pertama (1) dan kedua (2) dilakukan pembagian arah sumbu terhadap pembebanan struktur gedung yang direncanakan.
- b) setelahnya dilakukan substitusi dengan persamaan (2.3) untuk pengaruh beban gempa horizontal (E_h) dan persamaan (2.4) untuk pengaruh beban gempa vertikal (E_v),
- c) Akibat pengaruh beban gempa horizontal (E_h) direduksi dengan nilai faktor redundansi sebesar, $\rho = 1,3$ untuk wilayah dengan kondisi tanah sedang.

Sehingga kombinasi pembebanan akibat pengaruh beban gempa berdasarkan SNI 1726-2012 diperoleh nilai *input* kombinasi-kombinasi sebagai berikut :

- i. COMB1 (a) : $1,2D + 1,0(E_h + E_v)x + 1,0L$
 (b) : $1,2D + 1,0((\rho * Q_E) + (0,2 * S_{DS} * D))x + 1,0L$
 (c) : $(1,2 + 0,2 * S_{DS})D + 1,0(1,3Q_E)x + 1,0L$

Maka, COMB1 = $aD + 1,3Q_{Ex} + 1,0L$

- ii. COMB2 (a) : $1,2D + 1,0(E_h + E_v)y + 1,0L$
 (b) : $1,2D + 1,0((\rho * Q_E) + (0,2 * S_{DS} * D))y + 1,0L$
 (c) : $(1,2 + 0,2 * S_{DS})D + 1,0(1,3Q_E)y + 1,0L$

Maka, COMB2 = $aD + 1,3Q_{Ey} + 1,0L$

- iii. COMB3 (a) : $0,9D - 1,0(E_h - E_v)x$
 (b) : $0,9D - 1,0((\rho * Q_E) + (0,2 * S_{DS} * D))x$
 (c) : $(0,9 + 0,2 * S_{DS})D - 1,0(1,3Q_E)x$

Maka, COMB3 = $bD - 1,3.Q_{Ex}$

- iv. COMB4 (a) : $0,9D - 1,0(E_h + E_v)y$
 (b) : $0,9D - 1,0((\rho * Q_E) + (0,2 * S_{DS} * D))y$
 (c) : $(0,9 + 0,2 * S_{DS})D - 1,0(1,3Q_E)y$

Maka, COMB4 = $bD - 1,3.Q_{Ey}$

- v. ENVELOPE : Pada kombinasi envelope terdiri dari semua kombinasi diantaranya adalah COMB1, COMB2, COMB3, dan COMB4 yang dimana pada aplikasi akan dipilih kombinasi pembebanan terbesar yang akan membebani struktur gedung secara otomatis.

Untuk menentukan nilai dari parameter percepatan respon spektral desain telah tercantum beberapa tabel-tabel pendukung sebagai berikut :

Tabel 2.11 Koefisien situs, F_a (2019)

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \leq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Sumber: SNI 1726-2019

Tabel 2.12 Koefisien Situs, F_v (2019)

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek 1 detik, S_l					
	$S_l \leq 0,1$	$S_l = 0,2$	$S_l = 0,3$	$S_l = 0,4$	$S_l = 0,5$	$S_l \leq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS					

Sumber: SNI 1726-2019

2.4 Prosedur Analisis Perilaku Gedung

Pada penelitian ini kajian yang ditinjau berupa bagaimana perilaku gedung yang ditimbulkan akibat pengaruh penggunaan kombinasi pembebanan gempa dari SNI 1726-2012 ke SNI 1726-2019 yang di *input* pada aplikasi SAP 2000 v.14. Prosedur analisis yang diizinkan pada penelitian ini ditentukan berdasarkan Tabel 2.13 dimana perolehan data berdasarkan nilai asumsi maupun hasil perhitungan yang telah dilakukan.

Tabel 2.13 Prosedur analisis yang diizinkan

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen	Analisis spektrum respons ragam	Prosedur respon riwayat waktu seismik
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4, atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Catatan :

I : Diziinkan, TI : Tidak Diizinkan

Sumber: SNI 1726

2.4.1 Gaya lateral statik ekuivalen

Berdasarkan data-data yang akan direncanakan pada penelitian ini, maka dari tabel di atas diperoleh prosedur analisis yang diizinkan pada perencanaan gedung struktur 6 lantai pada kajian ini adalah analisa beban statik ekuivalen. Beban statik ekuivalen adalah suatu cara analisa statik pendekatan struktur terhadap beban gempa, dimana diasumsikan bahwa beban statik horizontal yang bekerja pada struktur akibat transfer beban secara lateral akibat gempa tidak menimbulkan perubahan mencolok dalam perbandingan antara berat dan kekakuan struktur pada tingkat-tingkat lainnya. Defleksi lateral akan menjadi semakin membesar akibat dari semakin tingginya sebuah gedung bangunan, oleh sebab itu diperlukan penyesuaian tipe serta gedung yang direncanakan. (Soelarso, dkk., 2016)

Proses analisis harus memenuhi persyaratan kompatibilitas (*Compatibility*) deformasi dan keseimbangan gaya. Aturan analisis bertujuan memperkirakan gaya dalam dan deformasi dari sistem struktur dan untuk memastikan terpenuhinya persyaratan kekuatan, kemampuan layan (*Serviceability*), dan stabilitas di dalam kajian ini.

Faizah R. (2015) membandingkan hasil analisis dinamik *time history* dan analisis statik ekuivalen, kesimpulan yang diperoleh menunjukkan bahwa gaya geser dasar statik ekuivalen nilainya kurang dari gaya geser dasar dinamik *time stoty* akibat mode total sedangkan akibat mode ke 1 saja maka gaya geser dasar statik ekuivalen cenderung lebih besar.

Pada perhitungan gaya geser gempa secara statik ekuivalen ini memiliki tahap-tahap penyelesaian yaitu:

- a) Menentukan kategori risiko bangunan berdasarkan fungsi bangunan.
- b) Menentukan klasifikasi situs berdasarkan kondisi tanah pada wilayah
- c) Menentukan desain percepatan spektra untuk perioda terpendek dari kelas situs
- d) Menentukan kategori desain seismik terhadap jenis struktur bangunan
- e) Menentukan desain respon spektrum untuk memperoleh perioda dasar (T_a)
- f) Menentukan gaya geser dasar berdasarkan berat total struktur dan koefisien respon seismik.

Analisis gaya gempa statik ekuivalen, dijabarkan dalam beberapa Langkah sebagai berikut ini :

- i. Parameter percepatan spektral desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.5)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.6)$$

ii. Spektrum respon desain dan kategori desain seismik

Respon spectrum adalah suatu spectrum yang disajikan dalam bentuk kurva antara periode struktur T , dengan respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu, sedangkan kategori desain seismik (KDS) dimaksudkan untuk memastikan pendetailan struktur yang memenuhi persyaratan sesuai dengan intensitas gempa yang diperkirakan. Yang termasuk dalam kategori desain seismik seperti level bahaya gempa, jenis tanah, serta penggunaan dan fungsi gedung. Penentuan respon spektrum desain berdasarkan wilayah gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar periode 500 tahun yang terdiri dari wilayah gempa 1 sampai wilayah gempa 6 yang disajikan dalam sebuah bentuk grafik C-T. (Cornelis, dkk., 2014).

iii. Gaya lateral

Setiap struktur harus dianalisis untuk pengaruh gaya lateral statik yang diaplikasikan secara independen dikedua arah ortogonal. Pada setiap arah yang ditinjau, gaya lateral statik harus diaplikasikan secara simultan di tiap lantai. Untuk tujuan analisis, gaya lateral di tiap lantai dihitung sebagai berikut :

$$F_x = 0,01 W_x \quad (2.7)$$

vi. Distribusi horizontal gaya seismik

Geser tingkat desain seismik di semua tingkat, V_s , (kN), harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (2.8)$$

vii. Periode fundamental pendekatan

Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.9)$$

Tabel 2.14 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilindungi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 1726

viii. Penentuan periode

Periode fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari Tabel 2.19 dan periode fundamental pendekatan, T_a , yang ditentukan sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur, T , diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan, T_a , yang dihitung sesuai persamaan (2.19).

Tabel 2.15 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respon spectral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: SNI 1726

ix. Koefisien respons seismik

Koefisien respons seismik, C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan, sebagai berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.10)$$

dimana :

Untuk menghitung nilai koefisien respons seismik, C_s , memiliki syarat batas perencanaan, yaitu sebagai berikut :

➤ Dengan syarat batasan maksimal, sebagai berikut :

- Untuk $T \leq T_L$ maka batasan maksimal $C_{s \max} = \frac{S_{DS}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)}$
- Untuk $T \geq T_L$ maka batasan maksimal $C_{s \max} = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)}$

➤ Dengan syarat batasan minimal, sebagai berikut :

- $C_{s \min} = 0,004 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01$
- Jika, $S_1 > 0,6g$, maka batasan minimal adalah $C_{s \min} = \frac{0,5S_1}{R/I_e}$

x. Geser dasar seismik

Gaya geser dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W \quad (2.11)$$

Sehingga analisis gaya gempa statik ekuivalen yang timbul pada setiap tingkat gedung yang direncanakan dirumuskan dalam persamaan gaya gempa lateral sebagai berikut :

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (2.12)$$

Dimana :

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot H_x^k}{\sum_i^n W_i \cdot H_i^k} \quad (2.13)$$

2.4.2 Akibat geser dasar seismik (*Base Shear*)

Gaya geser desain harus ditentukan sesuai muka joint diambil sebagai ujung atas dan ujung bawah dari tinggi bersih pier dinding. Beberapa wilayah di Indonesia yang wilayahnya berada dalam daerah seismic tinggi memiliki ciri-ciri yang tidak biasa dimana nilai spektrum respon desain kelas situs SE (tanah lunak) lebih kecil dari pada kelas situs SD (tanah sedang), bahkan dari kelas SC (tanah keras) sekalipun. (Sumeru, I., dan Sujipto, S., 2016).

Analisis elastik sistem pemikul gaya seismik untuk perhitungan geser dasar tingkat desain gempa, V_x (kN), harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal system pemikul gaya seismik ditingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relative elemen pemikul vertikal dan diafragma pada masing-masing desain struktur gedung yang sesuai pada SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019, dimana telah dirumuskan dalam persamaan (2.14) sebagai berikut :

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (2.14)$$

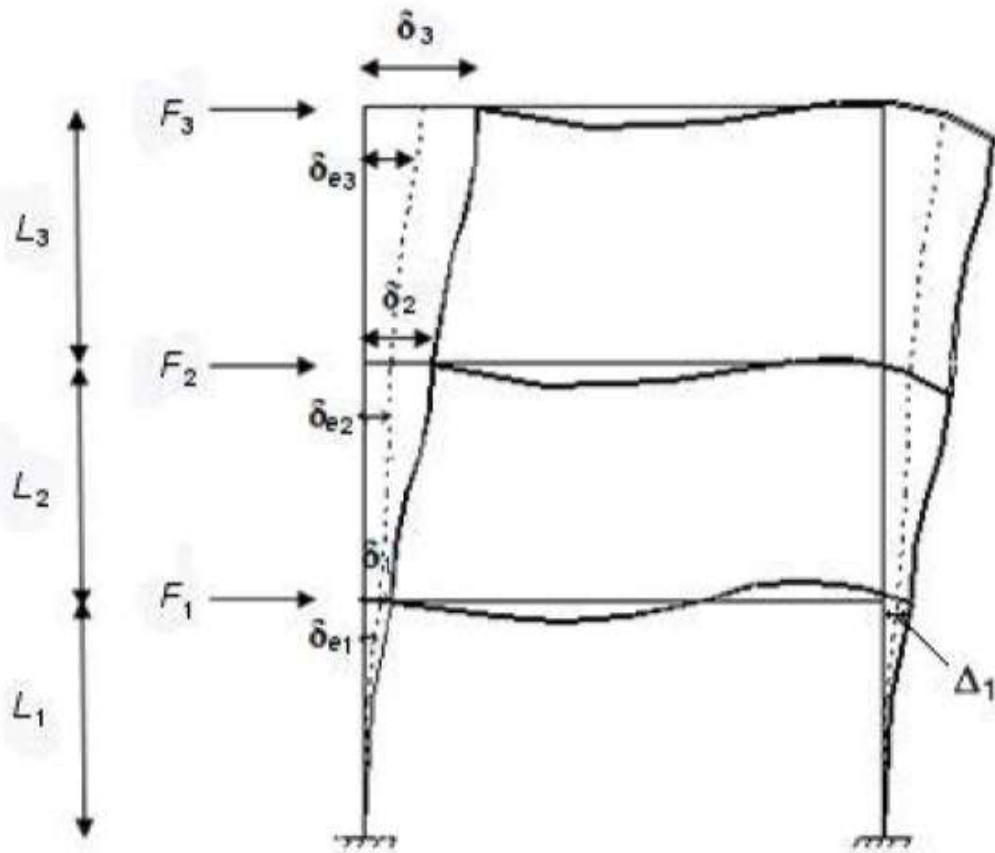
2.4.3 Perpindahan tingkat (*Story Displacement*)

Perpindahan tingkat (δ_e) diperoleh berdasarkan hasil *output* berupa tabel berdasarkan analisis statik ekuivalen yang dilakukan menggunakan *software* SAP 2000 v.14. Perpindahan di tingkat-x (δ_x) (mm) yang diperbesar harus ditentukan sesuai dengan persamaan (2.15), dimana syarat dasar untuk menghitung simpangan antar tingkat dijelaskan sebagai berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.15)$$

- a) Geser dasar minimum untuk menghitung simpangan antar tingkat dihitung dengan menggunakan gaya seismik desain sesuai persamaan (2.12) pengecualian, pada persamaan (2.15) tidak perlu ditinjau pada perhitungan perpindahan antar lantai.

- b) Nilai periode untuk menghitung simpangan antar tingkat guna menentukan kesesuaian dengan batasan simpangan antar tingkat dalam Tabel 2.18 , diizinkan untuk menentukan simpangan antar tingkat elastik, δ_{xe} , menggunakan gaya desain seismik berdasarkan pada periode fundamental struktur yang dihitung tanpa batasan atas ($C_u T_a$) yang ditetapkan dalam Tabel 2.19.



Gambar 2.1 Penentuan simpangan antar tingkat
Sumber: SNI 1726-2019

2.4.4 Simpangan antar lantai tingkat

Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan dibawah tingkat yang ditinjau (lihat Gambar 2.1). Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya.

Untuk lebih jelasnya persamaan yang digunakan guna menentukan simpangan antar lantai tingkat telah dirumuskan sebagai berikut ini :

$$\Delta = \frac{(\delta_{ez} - \delta_{e1})C_d}{I_e} \leq \Delta_a \quad (2.16)$$

dimana : Δ_a telah di cantumkan pada Tabel 220 sebagai berikut :

Tabel 2.16 Simpangan antar tingkat izin, Δ_a








	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.	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
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	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Sumber: SNI 1726-2019

2.5 Aplikasi SAP 2000

Dalam SAP 2000 tingkat kerusakan struktur akibat terbentuknya sendi plastis diuraikan pada Tabel 2.21 berikut ini :

Tabel 2.17 Tingkat kerusakan struktur dalam program SAP 2000

Keterangan	Simbol	Warna	Penjelasan
B		Merah muda	Menunjukkan batas linier yang kemudian diikuti terjadinya pelelehan pertama pada struktur.
IO		Biru tua	Terjadinya kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada struktur, kekakuan struktur hampir sama pada saat belum terjadinya 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 kekakuan dan kekuatannya 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 <i>collapse</i>
E		Merah	Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur.

Sumber: Aplikasi SAP 2000.

Perencanaan suatu bangunan harus sesuai dengan konsep desain kolom kuat balok lemah. Apabila terjadi suatu keruntuhan struktur maka yang runtuh adalah baloknya terlebih dahulu. Analisis elastis merupakan suatu analisis deformasi dan gaya-gaya dalam yang didasarkan pada kesetimbangan, kompatibilitas regangan, dan perilaku elastis yang diasumsikan, dan menggambarkan suatu pendekatan yang sesuai untuk aksi tiga dimensi cangkang bersama dengan komponen struktur pelengkapannya. Perilaku elastis harus merupakan sebuah dasar yang diterima untuk menentukan gaya-gaya dalam. Perilaku ini diizinkan untuk dihasilkan dengan perhitungan yang berdasarkan pada analisis struktur beton tak retak dimana bahan tersebut diasumsikan elastis linier, homogen, dan isotropis.