

BAB II STUDI PUSTAKA

II.1 Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang disebabkan oleh adanya pergerakan kerak bumi atau lempeng bumi yang terjadi secara tiba-tiba yang dapat menyebabkan kerusakan dan bahkan keruntuhan gedung, yang akan berdampak pada hilangnya nyawa dan harta benda. Pergerakan lempeng bumi tersebut menjalar dalam bentuk gelombang sehingga menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya bergetar. Pada saat bergetar, timbul gaya-gaya pada struktur bangunan karena adanya kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dari gerakan sehingga gempa bumi mempunyai kecenderungan menimbulkan gaya-gaya lateral pada struktur (Zachari & Turuallo, 2020). Gempa bumi bisa berlangsung apabila tekanan yang berlangsung telah lebih besar guna sanggup ditahan oleh lempeng tektonik. Proses pelepasan tenaga ini berbentuk gelombang elastis, adalah gelombang seismik ataupun gempa yang hingga ke permukaan bumi serta memunculkan getaran sehingga memunculkan kehancuran pada bangunan ataupun benda-benda dipermukaan bumi (Tampubolon et al., 2022).

Faktor yang mempengaruhi respons atau reaksi struktur bangunan terhadap gempa adalah lama waktu gempa dan rentang frekuensi gempa. Durasi gempa berdampak pada seberapa besar energi dan getaran tanah yang ditransfer ke struktur bangunan (disebut sebagai energi dissipasi). Gempa yang mempunyai percepatan sedang dan durasi yang lama akan mengakibatkan kerusakan yang lebih besar jika dibandingkan dengan gempa yang memiliki percepatan besar tetapi durasinya singkat.

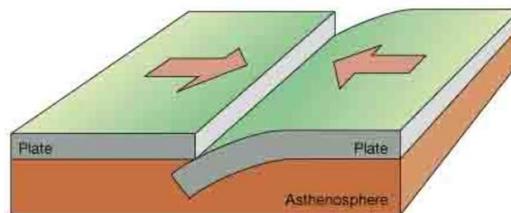
Peraturan gempa terbaru di Indonesia adalah Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2019. SNI 1726:2019 dikeluarkan oleh Badan Standar Nasional, yang merupakan revisi dan mengganti dari peraturan gempa sebelumnya yaitu SNI 1726:2012.

II.1.1 Mekanisme Terjadinya Gempa

Gempa Bumi terjadi ketika lempeng Bumi bergerak dan menyebabkan getaran pada permukaan Bumi. Jika gaya yang berasal dari pergerakan lempeng cukup besar, batuan di dalam lempeng akan menegang dan lempeng dapat berubah bentuk atau bahkan patah jika gaya tersebut cukup besar. Batuan pada lempeng akan mengalami deformasi secara perlahan dalam waktu tertentu, dan energi potensialnya akan terus bertambah. Ketika lempeng bergerak atau patah, energi tersebut dilepaskan dan menyebabkan getaran yang merambat melalui material Bumi. Semakin besar energi yang dilepaskan, semakin terasa getarannya. Ketika lempeng patah menjadi dua bagian, masing-masing bagian akan bergerak menjauh, dan daerah patahan tersebut disebut sesar atau patahan. Ada 3 macam arah gerak lempeng bumi yang dapat menyebabkan gempa bumi, yaitu:

1. Gerakan Konvergen

Gerakan konvergen merupakan pergerakan lempeng tektonik yang saling mendekat sehingga menyebabkan tumbukan antara lempeng-lempeng tersebut. Oleh sebab itu, salah satu lempeng tertekuk dan masuk ke bawah bagian lempeng lainnya.

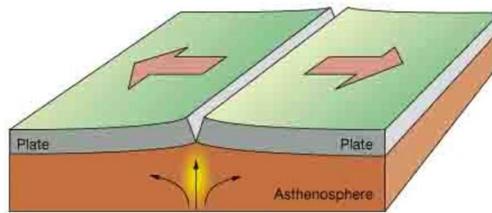


Gambar II. 1 Gerakan Konvergen

Sumber : <https://s.id/1KH1h>

2. Gerakan Divergen

Gerakan divergen merupakan pergerakan lempeng tektonik yang saling menjauh. Karena gerakan yang menjauh, timbul retakan-retakan yang menjadi jalan keluar magma.

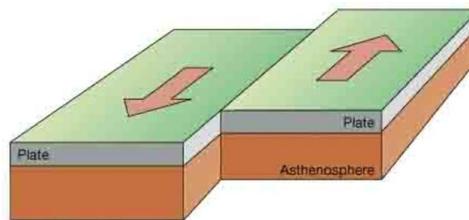


Gambar II. 2 Gerakan Divergen

Sumber : <https://s.id/1KHIw>

3. Gerakan Sesar Mendatar

Gerakan sesar mendatar merupakan pergerakan lempeng kulit bumi yang saling bergesekan dalam posisi yang datar dan sejajar, dengan arah yang berlawanan.



Gambar II. 3 Gerakan Sesar Mendatar

Sumber : <https://s.id/1KHIz>

II.1.2 Kerusakan Gedung Akibat Gempa

Gempa bumi adalah salah satu bencana alam yang dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan dan infrastruktur. Kedalaman dan kekuatan gempa bumi dapat mempengaruhi tingkat kerusakan pada gedung. Gempa bumi dangkal akan menimbulkan efek getaran dan kehancuran yang lebih kuat dibanding gempa bumi dalam karena sumber gempa bumi lebih dekat ke permukaan bumi (Sunarjo, M. Taufik, dan Sugeng, 2010). Namun, tidak hanya faktor kedalaman dan kekuatan gempa bumi saja yang mempengaruhi kerusakan pada gedung. Faktor-faktor lain seperti jenis tanah dan teknologi konstruksi juga dapat mempengaruhi tingkat kerusakan.

Berdasarkan kekuatannya atau magnitudo (M) berskala Richter (SR) dapat dibedakan atas:

1. Gempa bumi sangat besar $M > 8$ SR
2. Gempa bumi besar $M 7 - 8$ SR

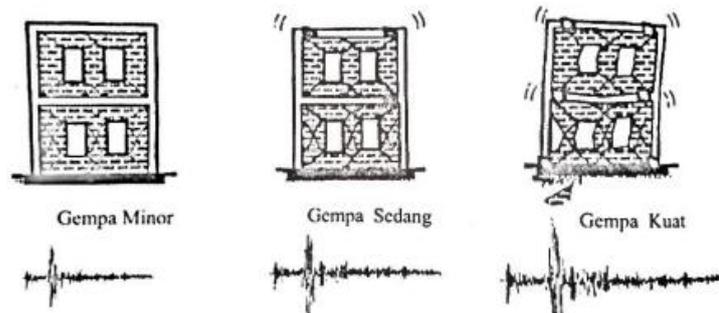
3. Gempa bumi merusak M 5 - 6 SR
4. Gempa bumi sedang M 4 - 5 S
5. Gempa bumi kecil M 3 - 4 SR
6. Gempa bumi mikro M 1 - 3 SR
7. Gempa bumi ultra mikro M < 1 SR

II.2 Bangunan Tahan Gempa

Bangunan yang tahan gempa dapat diartikan sebagai bangunan yang dapat tetap berdiri dan tidak runtuh ketika terjadi gempa. Namun, hal ini tidak berarti bahwa bangunan tersebut tidak boleh mengalami kerusakan sama sekali. Meskipun begitu, bangunan tahan gempa masih boleh mengalami kerusakan selama tetap memenuhi persyaratan yang berlaku. Menurut Widodo (2012) bangunan tahan gempa adalah sebagai berikut :

1. Pada gempa kecil (*light* atau *minor earthquake*) yang sering terjadi, bangunan harus tetap utuh dan berfungsi dengan baik. Kerusakan yang kecil dan masih dapat ditoleransi pada elemen non-struktural masih dapat diterima.
2. Pada gempa menengah (*moderate earthquake*) yang jarang terjadi, kerusakan ringan atau retak pada struktur utama bangunan dapat terjadi, tetapi masih memungkinkan untuk diperbaiki. Elemen non-struktural dapat mengalami kerusakan, namun masih dapat diganti dengan yang baru.
3. Pada gempa kuat (*strong earthquake*) yang jarang terjadi, bangunan dapat mengalami kerusakan tetapi harus mampu menjaga agar tidak mengalami keruntuhan total (*total collapse*). Kondisi serupa juga diinginkan saat terjadi gempa besar (*great earthquake*), di mana tujuannya adalah melindungi manusia atau penghuni bangunan sebaik mungkin.

Level-level kerusakan bangunan diatas dapat diilustrasikan pada Gambar :

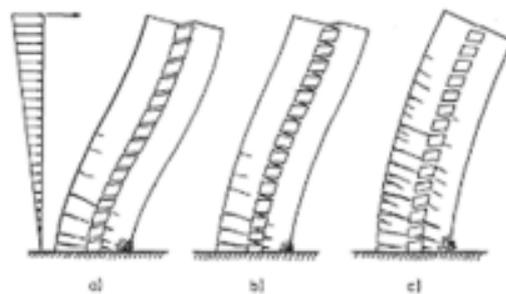


Gambar II. 4 Level-level kerusakan bangunan

Sumber : Widodo (2012)

II.2.1 Konsep Bangunan Tahan Gempa

Konsep gedung tahan gempa melibatkan beberapa elemen penting dalam desain struktur, material, dan sistem bangunan. Salah satu elemen penting adalah sistem rangka pemikul beban. Sistem rangka pemikul beban yang baik harus mampu menahan beban vertikal, horizontal, dan momen. Selain itu perencanaan bangunan struktur tahan gempa harus dapat memperhitungkan dampak dari gaya lateral yang bersifat siklis (bolak-balik) yang dialami oleh struktur selama terjadinya gempa bumi. Untuk memikul gaya lateral yang dialami oleh bangunan, struktur harus dapat memiliki daktilitas yang memadai di daerah join atau elemen struktur tahan gempa seperti bresing atau dinding geser (Sofwan et al., 2019).



Gambar II. 5 Simulasi Akibat Beban Angin dan Gempa

Sumber : (Sofwan et al., 2019)

Konsep bangunan tahan gempa pada dasarnya adalah upaya untuk membuat seluruh elemen bangunan menjadi satu kesatuan yang utuh, yang tidak runtuh akibat gempa. Penerapan konsep tahan gempa antara lain dengan cara membuat

sambungan yang cukup kuat diantara berbagai elemen tersebut serta pemilihan material dan pelaksanaan yang tepat (Mutia et al., 2022).

II.2.2 Konsep Perancangan Bangunan Tahan Gempa

Pada peraturan-peraturan SNI yang membahas tata cara perencanaan bangunan gedung, terdapat beberapa sistem yang dapat digunakan untuk merencanakan sebuah bangunan tahan gempa, diantaranya adalah :

1. Sistem Rangka Pemikul Momen

Menurut pedoman SNI 1726:2019, sistem rangka pemikul momen adalah sebuah sistem struktural rangka yang menggunakan elemen-elemen struktur dan sambungannya untuk menahan beban lateral melalui mekanisme lentur. Dalam standar ini, sistem ini dibagi menjadi tiga kategori, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

2. Sistem Rangka Bresing

Rangka bresing adalah suatu struktur rangka yang terdiri dari batang vertikal atau elemen jenis konsentris, atau eksentris, dengan tujuan dari rangka bresing ini adalah untuk menahan gaya lateral akibat gempa bumi. (SNI 1726:2019). Sistem rangka bresing dikategorikan menjadi rangka bresing konsentris dan rangka bresing eksentris.

a. Struktur rangka bresing konsentris (SRBK) adalah sebuah jenis rangka bresing di mana fungsi utama dari elemen-elemen strukturnya adalah untuk menahan gaya lateral. Sesuai dengan SNI 1726:2019, SRBK dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu struktur rangka bresing konsentrik biasa (SRBKB) dan struktur rangka bresing konsentrik khusus (SRBKK).

b. Struktur rangka bresing eksentris (SRBE) adalah sebuah sistem rangka yang menggunakan bresing diagonal di mana elemen diagonal tidak bertemu dan salah satu ujung dari setiap elemen bresing terhubung ke balok pada jarak tertentu dari sambungan balok-kolom atau ujung diagonal bresing yang lain. Hal ini sesuai dengan ketentuan yang terdapat dalam SNI 1726:2019.

II.3 Perancangan Struktur Baja

Dalam perancangan struktur gedung bertingkat tinggi, beberapa aspek yang perlu diperhatikan antara lain keamanan (*strength and ductility*) dan kenyamanan (*stiffness*), oleh karena itu penggunaan struktur baja dapat menjadi pilihan yang tepat karena baja memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan mampu menahan beban yang besar, termasuk beban gempa (Sofwan et al., 2019). Selain itu, baja juga memiliki kemampuan untuk melentur atau fleksibel sehingga dapat menyerap energi gempa dengan baik, yang merupakan salah satu faktor penting dalam memastikan keamanan struktur. Perancangan struktur baja harus memenuhi standar dan peraturan yang berlaku, seperti SNI (Standar Nasional Indonesia), ASCE (*American Society of Civil Engineers*), AISC (*American Institute of Steel Construction*), dan lain sebagainya. Standar ini mengatur tentang kriteria desain, pemilihan material, teknik konstruksi, dan pengujian struktur baja.

II.3.1 Sistem Rangka Breising (*Braced Frame System*)

Sistem rangka bresing biasanya digunakan pada bangunan bertingkat tinggi dan gedung-gedung yang membutuhkan ketahanan terhadap gempa bumi dan beban lateral lainnya. Keuntungan dari sistem ini adalah kemampuannya dalam menyerap beban lateral dan mencegah pergeseran struktur bangunan, sehingga memberikan keamanan yang lebih tinggi pada penghuninya.

Sistem rangka dengan bresing terdiri dari rangka utama yang terdiri dari balok dan kolom baja, dan elemen bresing yang dipasang di antara kolom dan balok utama. Elemen bresing dapat terdiri dari balok dan kolom baja atau kawat baja yang membentuk pola jala atau diagonal.

1. Struktur rangka bresing konsentris (SRBK)

Sistem rangka bresing konsentris (SRBK) adalah suatu jenis rangka bresing dimana elemen-elemen strukturnya dirancang dengan fungsi utama untuk menahan gaya-gaya lateral sesuai dengan SNI 1726:2019. SRBK terbagi menjadi dua kategori, yaitu struktur rangka bresing konsentris biasa (SRBKB) dan struktur rangka bresing konsentris khusus (SRBKK).

Rangka yang menganut SCBF dikonfigurasi sedemikian sehingga *bracing* bekerja sebagai fuse melalui aksi leleh tarik atau tekuk tekan batang diagonal ketika terjadi gempa besar (Anwar, 2018).

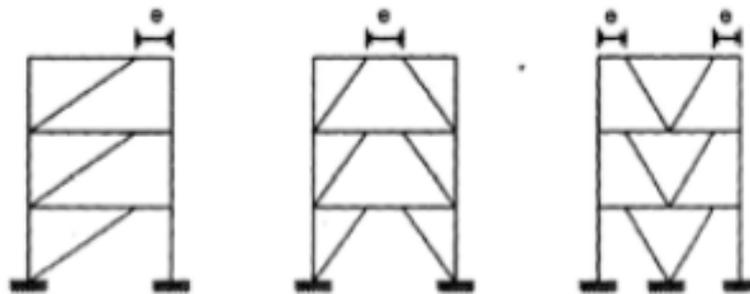


Gambar II. 6 Jenis-jenis Kosentris

Sumber : (Barus, 2015)

2. Sistem Rangka Bresing Eksentris

Sistem bangunan EBF telah banyak digunakan sebagai solusi untuk menahan beban lateral seperti gempa. Keuntungan dari sistem EBF adalah memiliki nilai daktilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem CBF yang lebih fokus pada kekuatan struktur. Sistem EBF mampu memberikan nilai daktilitas yang tinggi karena adanya elemen link yang berfungsi sebagai pendisipasi energi ketika struktur menerima beban gempa. Cara kerja rangka jenis EBF (*Eccentrically Braced Framed*) mirip dengan SCBF (*Special Concentrically Braced Frames*) hanya saja fuse atau link diharapkan bekerja secara inelastik memanfaatkan adanya leleh lentur atau kombinasi keduanya (Anwar, 2018).



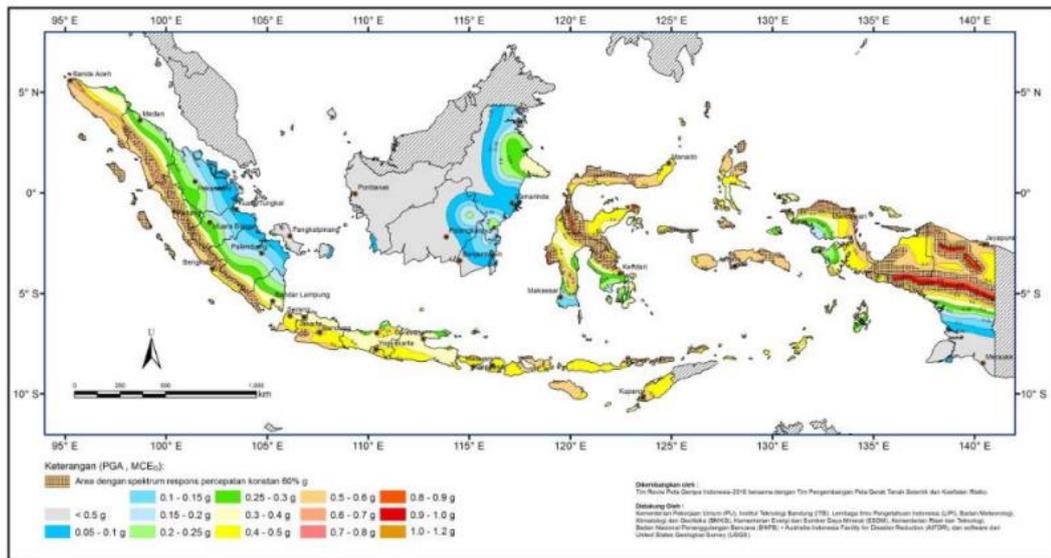
Gambar II. 7 Jenis Jenis Eksentris

Sumber : (Anwar, 2018)

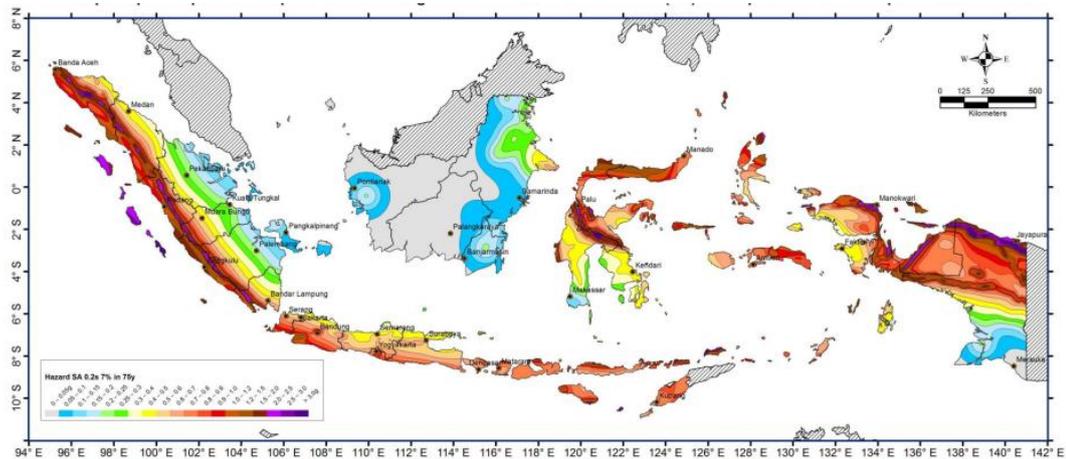
II.4 Tata Cara Perencanaan Bangunan Tahan Gempa (1726:2019)

II.4.1 Peta Wilayah Gempa

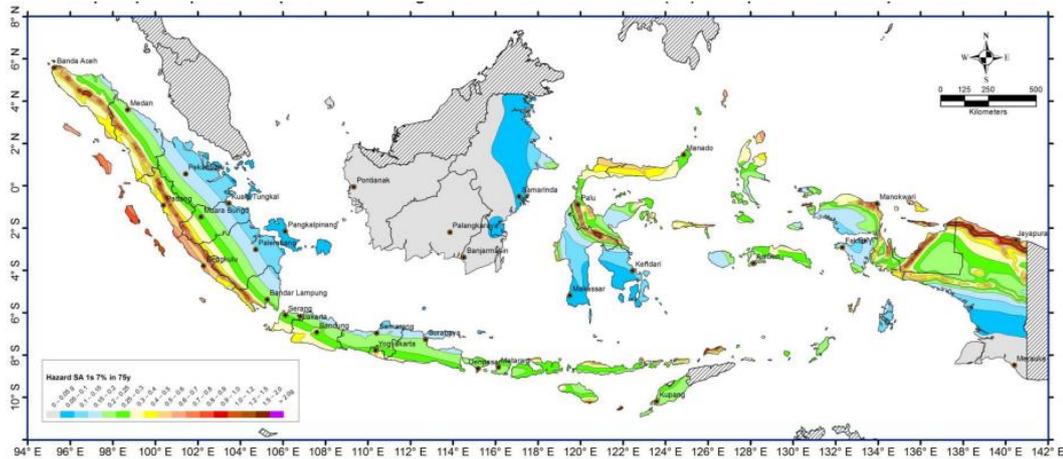
Berdasarkan SNI 1726:2019, ditetapkan berdasarkan parameter SS (Percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik) dan S1 (Percepatan batuan dasar pada periode 1 detik).



Gambar II. 8 PGA, Gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometrik (MCEG), kelas situs SB



Gambar II. 9 Peta respons spektra percepatan 0,2 detik dengan redaman 5% di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun



Gambar II. 10 Peta percepatan spektrum respons 1 detik dengan redaman 5% di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.

II.4.2 Gempa Rencana

Gempa rencana adalah gempa yang dianggap terjadi dengan probabilitas tertentu dalam periode waktu tertentu di masa depan. Dalam SNI 1726:2019, gempa rencana dihitung berdasarkan Parameter Zona Gempa (PZG) dan Parameter Gempa Rencana (PGR).

Menurut peta Hazard gempa Indonesia 2018 wilayah Indonesia meliputi peta percepatan puncak (PGA) dan respons spektra percepatan di batuan dasar (SB) untuk periode pendek 0,2 detik (S_s) dan untuk periode 1,0 detik (S_1) dengan redaman 5% mewakili tiga level hazard gempa yaitu 500, 1000 dan 2500 tahun atau memiliki kemungkinan terlampaui 10% dalam 50 tahun dan 10% dalam 100 tahun, dan 2% dalam 50 tahun. Definisi batuan dasar (SB) adalah lapisan batuan dibawah permukaan tanah yang memiliki kecepatan rambat gelombang geser (V_s) mencapai 750 m/detik dan tidak ada lapisan batuan lain dibawahnya yang memiliki nilai kecepatan rambat gelombang geser yang kurang dari itu.

Dalam SNI 1726:2019, struktur bangunan harus dirancang untuk mengantisipasi gempa rencana dengan probabilitas kejadian 10% dalam periode waktu 50 tahun. Selain itu, struktur bangunan harus dirancang untuk menahan beban gempa yang dihitung berdasarkan parameter PZG dan PGR.

II.4.4 Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik. Struktur resiko I, II, atau III yang berlokasi dimana parameter respons spektral pada perioda detik, S_I , lebih besar dari atau sama dengan 0,75Kd harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respon spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1} . Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah di tunjukkan pada Tabel II.1 dan Tabel II.2.

Tabel II. 1 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

Nilai S_{DS}	I atau II atau III atau IV	Kategori Resiko
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 < S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 < S_{DS} < 0.50$	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel II. 2 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan perioda 1 detik.

Nilai S_{D1}	I atau II atau III atau IV	Kategori Resiko
$S_{D1} < 0.167$	A	A
$0.067 < S_{D1} < 0.133$	B	C
$0.133 < S_{D1} < 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{D1}$	D	D

1. Kategori Desain Seismik A

Bangunan gedung dan non gedung dengan kategori desain seismik elemen nonstruktural dalam kategori desain seismik A dibebaskan dari ketentuan-ketentuan seismik.

2. Kategori Desain Seismik B

Untuk bangunan yang dirancang dengan kategori desain seismik B, gaya gempa desain diijinkan untuk diterapkan secara terpisah dalam masing-masing arah dari dua arah orthogonal dan pengaruh interaksi orthogonal diijinkan untuk diabaikan.

3. Kategori Desain Seismik C

Pembebanan yang diterapkan pada struktur bangunan yang dirancang untuk kategori desain seismik C harus minimum sesuai dengan arah masing-masing orthogonal. Struktur yang mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal harus menggunakan salah satu prosedur berikut:

a. Prosedur kombinasi orthogonal

Struktur harus dianalisis menggunakan prosedur analisis gaya lateral ekuivalen, prosedur analisis respon spektrum, atau prosedur riwayat respon linear, dengan pembebanan yang diterapkan secara terpisah dalam semua arah orthogonal. Pengaruh beban paling kritis akibat arah penerapan gaya gempa pada struktur dianggap terpenuhi jika komponen dan fondasinya didesain untuk memikul kombinasi beban-beban yang ditetapkan.

b. Penerapan serentak gerak tanah orthogonal

Struktur harus dianalisis menggunakan prosedur riwayat respons linear atau prosedur riwayat respons non linear dengan pasangan orthogonal percepatan gerak tanah yang diterapkan secara serentak.

4. Kategori Desain Seismik D sampai F

Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, dan F harus minimum sesuai dengan persyaratan kategori desain seismik C. Sebagai tambahan, semua kolom atau dinding yang berbentuk bagian dari dua atau lebih sistem penahan gaya gempa yang bekerja sepanjang baik sumbu denah utama sama atau melebihi 20 persen kuat desain aksial kolom atau dinding harus didesain untuk pengaruh beban paling kritis akibat penerapan gaya gempa kesemua arah.

II.4.5 Faktor Keutamaan (I_e) dan Katagori Resiko Struktur Bangunan

Kategori risiko struktur bangunan mengacu pada klasifikasi risiko yang diberikan pada bangunan berdasarkan evaluasi terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi keamanan struktur tersebut. Kategori risiko ini mencakup faktor-faktor seperti kualitas desain dan konstruksi, potensi kerusakan struktural, dan faktor lingkungan yang mempengaruhi performa dan keandalan bangunan mengacu dalam SNI 1726:2019 tabel 3 pasal 4.1.2, dijelaskan tentang faktor keutamaan dan kategori risiko.

Faktor Keutamaan (I_e) merupakan faktor yang digunakan dalam perhitungan beban gempa untuk memperhitungkan tingkat kerentanan atau keutamaan suatu struktur bangunan terhadap guncangan gempa. Faktor ini bergantung pada karakteristik bangunan seperti jenis dan tingkat kerentanan struktur, fungsi bangunan, dan penggunaannya mengacu pada Tabel 4 SNI 1726;2019 tentang faktor keutamaan I_e .

Dalam perencanaan dan analisis struktur bangunan, kedua faktor ini penting untuk memastikan keselamatan, keandalan, dan kelayakan struktur bangunan terhadap beban-beban yang mungkin terjadi, termasuk guncangan gempa oleh sebab itu pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan (I_e) sesuai SNI 1726;2019

II.4.6 Struktur Penahan Gaya Seismik

Sistem penahan gaya seismik lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang telah ditetapkan pada SNI 1726;2019 pasal 7.2 tabel 12. Setiap tipe dibagi-bagi berdasarkan tipe elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya seismik lateral. Setiap sistem penahan gaya seismik yang dipilih harus dirancang dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus bagi sistem tersebut yang telah ditetapkan.

Di dalam SNI 1726:2019 pasal 7.2, sistem struktur penahan gaya seismik ditentukan oleh parameter berikut ini:

1. Faktor koefisien modifikasi respons (R)
2. Faktor kuat lebih sistem (Ω_0)
3. Faktor pembesaran simpangan lateral (C_d)
4. Faktor batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur h_n (m)

II.4.3 Arah Pembebanan Gempa

Dalam perencanaan gedung, arah utama pengaruh gempa rencana harus ditentukan sedemikian rupa sehingga memberi pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur subsistem dan sistem struktur gedung secara keseluruhan.

Secara umum, arah pembebanan gempa dibagi menjadi tiga arah yaitu sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z. Sumbu X dan sumbu Y mengacu pada arah horizontal

yang sejajar dengan bidang datar bangunan, sedangkan sumbu Z mengacu pada arah vertikal.

Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektivitas 30%.

II.4.7 Kekakuan Struktur

Kekakuan struktur adalah gaya yang diperlukan struktur bila mengalami deformasi sebesar satu satuan. Nilai kekakuan struktur ini tergantung dari material yang digunakan, dimensi elemen struktur, penulangan, modulus elastisitas, modulus elastisitas geser dan momen inersia polar. Selain itu, kekakuan struktur juga terkait dengan nilai dari periode struktur tersebut. Dapat dilihat dari Pers.II.1-II.3.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (\text{II. 1})$$

Dimana :

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (\text{II. 2})$$

Dengan demikian

$$T = \frac{1}{\sqrt{k}} \quad (\text{II. 3})$$

Di mana :

T = Periode struktur

F = Frekuensi struktur

ω = Kecepatan sudut

k = Kekakuan struktur

II.4.8 Respon Spektrum Desain

Respons spektrum merupakan konsep pendekatan yang digunakan untuk keperluan perencanaan bangunan. Definisi respons spektra adalah respon maksimum dari suatu sistem struktur *Single Degree of Freedom* (SDOF) baik percepatan (a), kecepatan (v) dan perpindahan (d) dengan struktur tersebut

dibebani oleh gaya luar tertentu. Absis dari respons spectra adalah periode alami sistem struktur dan ordinat dari respons spektra adalah respons maksimum. Kurva respons spektra akan memperlihatkan simpangan relatif maksimum (S_d), kecepatan relatif maksimum (S_v) dan percepatan relatif maksimum (S_a).

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 6.3, respons spektra desain harus ditentukan dan dimuat terlebih dahulu berdasarkan data-data yang ada. Data-data yang dibutuhkan dan prosedur untuk pembuatan respons spektra berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 6.3 adalah :

1. Parameter percepatan batuan dasar

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_a (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektra percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanahseismik seperti yang ada pada Gambar 2.16 dan Gambar 2.17 dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi.

2. Parameter kelas situs

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasikan sebagai situs SA, SB, SC, SD, SE, dan SF berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 5.3 dapat dilihat pada Tabel II.3

Tabel II. 3 Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2019.

Kelas situs	\tilde{V}_s (m/detik)	\tilde{N} atau \tilde{N}_{ch}	\hat{S}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: a. Indeks plastisitas, $PI > 20$ b. Kadar air, $w \geq 40\%$, c. Kuat geser niralir $\hat{S}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: a. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah		

Kelas situs	\tilde{V}_s (m/detik)	\tilde{N} atau \tilde{N}_{ch}	\hat{S}_u (kPa)
	b. Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) c. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $su < 50$ kPa		

CATATAN, N/A = tidak dapat dipakai

3. Koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respons spektra percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R).

Untuk penentuan respons spektra percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Berdasarkan SNI 1726;2019, faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek S_{MS} dan periode 1 detik S_{M1} yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs harus ditentukan dengan Pers. II.4 dan II.5 berikut ini :

$$S_{MS} = F_a \cdot S_S \quad \text{(II. 4)}$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_I \quad \text{(II. 5)}$$

Dimana:

S_S = Nilai parameter respon spektra percepatan gempa perioda pendek 0,2 detik di batuan dasar (S_B) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2019

S_I = Nilai parameter respon spektra percepatan gempa perioda 1,0 detik di batuan dasar (S_B) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2019

F_a = Koefisien perioda pendek

F_v = Koefisien perioda 1,0 detik

Koefisien situs F_a dan F_v ditentukan berdasarkan Tabel II.4 dan II.5

Tabel II. 4 Koefisien situs, F_a berdasarkan SNI 1726:2019

Kelas situs	Parameter respons 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	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,8
SF	SS ^a				

Tabel II. 5 Koefisien situs, F_v berdasarkan SNI 1726:2019.

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 1$ detik, S_I				
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2
SF	SS				

Keterangan :

- a. Nilai-nilai F_a maupun F_v yang tidak terdapat pada Tabel II.4 dan II.5 dapat dilakukan proses interpolasi linier.
- b. SS merupakan situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs spesifik

4. Parameter percepatan spektra desain

Parameter-percepatan spektra desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) harus ditentukan melalui Pers. II.6 dan II.7 berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{ms} \quad (\text{II. 6})$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{m1} \quad (\text{II. 7})$$

Dimana:

S_{DS} = Respon spektra percepatan desain untuk perioda pendek

S_{D1} = Respon spektra percepatan desain untuk perioda 1,0 detik

5. Prosedur pembuatan respons spektra desain berdasarkan SNI 1726:2019 Selanjutnya, untuk mendapatkan kurva spektrum desain harus dikembangkan dengan mengacu pada Gambar II.11 dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari Pers. II.8.

$$S_a = S_{DS}(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \quad (\text{II. 8})$$

Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a sama dengan S_{DS} .

Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain S_a diambil berdasarkan Pers. II.9.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (\text{II. 9})$$

Dimana:

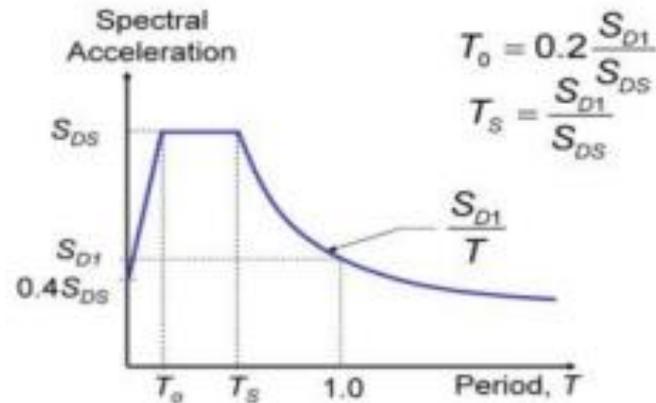
T = Periode getar fundamental struktur

S_{DS} = Parameter respons spektra percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = Parameter respons spektra percepatan desain pada periode 1 detik

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (\text{II. 10})$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (\text{II. 11})$$



Gambar II. 11 Respon spektrum desain

II.5 Analisis Gaya Lateral Ekuivalen

II.5.1 Gaya Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019, Geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan Pers. berikut.

$$V = C_s \cdot W_t \quad (\text{II. 12})$$

dimana:

C_s = Koefisien respon seismik yang ditentukan

W_t = Berat total gedung

II.5.2 Perhitungan Koefisien Dasar Seismik

Menurut SNI 1726-2019 Pasal 7.8.1.1, persamaan-persamaan yang digunakan untuk mendapatkan koefisien C_s adalah:

1. C_s maksimum

Untuk C_s maksimum ditentukan dengan Persamaan berikut :

$$C_s \text{ maksimum} = \frac{\frac{S_{DS}}{R}}{I_e} \quad (\text{II. 13})$$

Dimana :

S_{DS} = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek

R = Faktor modifikasi respon

I_e = Faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan tidak perlu melebihi berikut ini: Untuk $T \leq$

2. C_s hasil hitungan

$$C_s \text{ hasil hitungan} = \frac{S_{DI}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (\text{II. 14})$$

Dimana :

S_{DI} = Parameter percepatan respon spektrum desain pada perioda 1 detik

R = Faktor modifikasi respon

I = Faktor keutamaan hunian yang ditentukan

T = Perioda struktur dasar (detik)

Nilai C_s hitungan di atas tidak perlu kurang dari nilai C_s minimum

3. C_s Minimum

$$C_s \text{ Minimum } C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (\text{II. 15})$$

Dimana :

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respon desain dalam rentang perioda pendek

I = Faktor keutamaan hunian yang ditentukan berdasarkan Tabel 2.3 Sedangkan sebagai tambahan untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana

S_1 jika lebih besar dari 0,6 g maka C_s harus tidak kurang dari Persamaan berikut.

4. C_s minimum tambahan

$$C_s \text{ minimum tambahan} = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (\text{II. 16})$$

Dimana:

S_1 = Parameter percepatan respon spektrum desain yang dipetakan

R = Faktor modifikasi respon

I = Faktor keutamaan hunian yang ditentukan

II.5.3 Perhitungan Gaya Gempa Lateral

Gaya gempa lateral (F_x) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (\text{II. 17})$$

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_i^n W_i \cdot h_i^k} \quad (\text{II. 18})$$

Keterangan :

C_{vx} = Faktor Distribusi Vertikal

F_x = Gaya Seismik Lateral (kN)

V = Gaya Geser didasar struktur (kN)

W_x dan W_i = Bagian berat gempa efektif total struktur (W) yang dikenakan atau ditempatkan pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut:

- untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$

- untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$

- untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, = 2 atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

II.5.3 Periode Alami Fundamental

Periode adalah besarnya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu getaran. Periode alami struktur perlu diketahui agar resonansi pada struktur tersebut dapat dihindari. Resonansi struktur adalah keadaan dimana frekuensi alami pada struktur sama dengan frekuensi beban luar yang bekerja sehingga dapat menyebabkan keruntuhan pada struktur.

Terdapat pembatasan waktu getar alami fundamental struktur di dalam standard aturan yang ada. Hal ini bertujuan untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel.

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.2 perioda fundamental struktur (T) dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan property struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji.

1. Perioda fundamental pendekatan (T_a), dalam detik harus ditentukan dari Persamaan berikut:

$$T_a \text{ Minimum} = T_a = C_t h_n^x \quad (\text{II. 19})$$

Dimana :

$T_a \text{ minimum}$ = Nilai batas bawah perioda bangunan

h_n = Ketinggian struktur dalam m diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur (meter)

C_r = Ditentukan dari Tabel II.6

x = Ditentukan dari Tabel II.7

Tabel II. 6 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
1. Rangka Baja Pemikul Momen	0,0724	0,8
2. 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

2. Periode Maksimum (T_{max}) dalam detik harus ditentukan dari Persamaan berikut:

$$(T_{max}) = C_u \cdot T_a \quad \text{(II. 20)}$$

Dimana :

$T_{a\ minimum}$ = Nilai batas bawah perioda bangunan

C_u = Ditentukan Tabel II.7

Tabel II. 7 Koefisien untuk batas atas periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral 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

II.6 Analisis Respon Dinamik

Berdasarkan Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa, parameter respon terkombinasi respons masing-masing ragam yang ditentukan melalui spektrum respons rencana gempa merupakan respons maksimum. Pada umumnya, respons masing-masing ragam mencapai nilai maksimum pada saat yang berbeda sehingga respons maksimum ragam-ragam tersebut tidak dapat dijumlahkan begitu saja.

Terdapat dua cara metode superposisi, yaitu metode Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) dan Kombinasi Kuadratik Lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*). Dalam hal ini, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan ragam respons menurut metode ini harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%. Untuk penjumlahan respons ragam yang

memiliki waktu-waktu getar alami yang berdekatan, harus dilakukan dengan metode yang telah disebutkan sebelumnya yaitu Kombinasi Kuadratik Lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*). Waktu getar alami harus dianggap berdekatan apabila selisihnya kurang dari 15%. Untuk struktur yang memiliki waktu getar alami yang berjauhan, penjumlahan respons ragam tersebut dapat dilakukan dengan metode yang dikenal dengan Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*).

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.9.4.1, nilai akhir respon dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 85% nilai respons ragam yang pertama.

II.7 Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726-2019 penentuan simpang antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan izin digunakan, Δ harus dihitung menggunakan gaya seismik desain yang ditetapkan tanpa reduksi untuk desain tegangan izin.

Bagi struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal Tipe 1a atau 1b, simpangan antar tingkat desain, Δ , harus dihitung sebagai selisih terbesar dari simpangan titik-titik yang segaris secara vertikal di sepanjang salah satu bagian tepi struktur, di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau.

Simpangan pusat massa di tingkat-x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

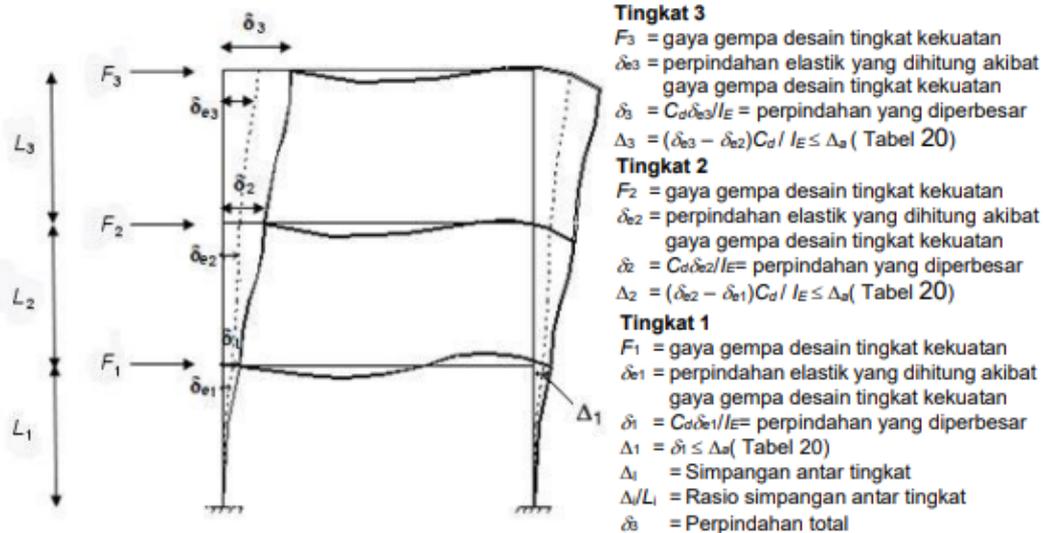
$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (\text{II. 21})$$

Dimana :

C_d = Faktor pembesaran defleksi

δ_{xe} = Defleksi pada lokasi yang disyaratkan dan ditentukan sesuai dengan analisis elastis

Ie = Faktor keutamaan



Gambar II. 12 Penentuan simpangan antar tingkat berdasarkan SNI 1726:2019

II.8 Pembebanan dan Kombinasi Pembebanan

Pembebanan struktur berdasarkan SNI 1727:2020, beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati, beban hidup dan beban gempa selain itu ada pula beban dari lift dan tangga.

1. Beban Mati

Beban mati merupakan berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, kaling gedung dan komponen arsitektural dan struktural lain sertaperalatan layan terpasang lain termasuk berat keran. Beban mati terdiri dari :

a. Berat bahan konstruksi :

- 1) Berat sesungguhnya bahan
- 2) Data berat jenis dan berat bahan pada standar sebelumnya bisa digunakan

b. Berat peralatan layan tetap :

- 1) Peralatan atau mesin yang menyatu dan selalu ada selama masa

layan bangunan seperti : peralatan plambing, M/E, alat pemanas, ventilasi, sistem pengkodisian udara dll.

2. Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk bahan konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati.

Beban hidup atap merupakan beban pada atap yang diakibatkan pelaksanaan pemeliharaan oleh pekerja, peralatan dan material dan selama masa layan struktur yang diakibatkan oleh benda bergerak, seperti tanaman atau benda dekorasi kecil yang tidak berhubungan dengan penghunian.

3. Beban Gempa

Beban gempa adalah gaya-gaya yang berasal dari gerakan-gerakan tanah dikombinasi dengan sifat-sifat dinamis struktur karena seringkali percepatan horizontal tanah lebih besar daripada percepatan vertikal, dan struktur secara umum lebih sensitif terhadap gerakan horizontal dari pada gerakan vertikal, maka pengaruh gempa horizontal seringkali lebih menentukan daripada pengaruh gempa vertikal.

II.9 Hasil Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian ini peneliti dibantu dengan beberapa studi terdahulu diantaranya sebagai berikut:

1. Perbandingan analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik ragam spektrum respons pada struktur beraturan dan tidakberaturan massa sesuai RSNI 03-1726-201x (Nasution & Teruna, 2014)

Analisis beban gempa dapat dikerjakan dengan analisis statik maupun analisis dinamik. Metode yang digunakan untuk menganalisis beban gempa meliputi analisis statik ekuivalen, analisis spektrum respons, dan analisis riwayat waktu (Time History). Menurut Widodo (2001), analisis riwayat waktu (Time History) adalah metode yang paling mendekati untuk memprediksi respons parameter struktur akibat gempa. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan respons parameter dari struktur beraturan dan tidak beraturan yang dianalisis secara

statik ekuivalen dan analisis spektrum respons dengan variasi massa yang berbeda-beda yaitu 200%, 350%, dan 500%. Respons parameter dari struktur yang akan dibandingkan yaitu berupa base shear dan displacement tiap tingkat. Perbandingan dilakukan antara dua model struktur gedung. Model pertama adalah struktur beraturan yang memiliki massa seragam sebesar 150% dari setiap tingkatan. Sedangkan model kedua adalah struktur tidak beraturan dengan variasi massa yaitu 200%, 350%, dan 500%. Tinggi antar lantai dalam kedua model tersebut adalah 4 m dan memiliki bentang sebesar 4 m. Kedua model struktur ini terdiri dari 7 tingkat.

Dalam penelitian ini hasil dari kedua analisis tersebut menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan, dengan analisis statik ekuivalen menghasilkan nilai yang sedikit lebih tinggi. Hal ini sesuai dengan persyaratan dalam RSNI 03-1726-201x, di mana struktur dengan ketinggian di bawah 40 meter masih dapat dianalisis menggunakan metode analisis statik ekuivalen. Dalam tugas akhir ini, objek struktur yang digunakan memiliki ketinggian 28 meter, sehingga masih memenuhi syarat untuk dianalisis menggunakan analisis statik ekuivalen.

2. Perbandingan pembebanan gempa bangunan bertingkat menggunakan analisis *static equivalent* dan analisis *dynamic time history* di Kab. Garut. (Fadilah & Walujodjati, 2020)

Metode analisis statik ekuivalen digunakan dalam analisis struktur bangunan gedung dengan menerapkan beban gempa nominal statik ekuivalen untuk memperhitungkan pembebanan gempa. Sedangkan, analisis dinamik time history atau spektrum respon adalah metode analisis yang memberikan perhatian khusus terhadap titik pangkatnya (point of application), arahnya (direction) dan besarnya (magnitude). Kekakuan (stiffness), redaman struktur, massa dan percepatan gempa menjadi hal yang sangat mempengaruhi dalam metode analisis pembebanan j struktur dinamik.

Pada penelitian ini objek yang digunakan merupakan bangunan gedung dengan fungsi bangunan hotel dengan variasi jumlah tingkat yang berbeda dengan jumlah tingkat struktur 5, 6, 7, 8, 9, 10 lantai dengan tujuan untuk mengetahui seberapa jauh perbedaan pembebanan gempa yang dihasilkan dari kedua metode tersebut serta untuk mengetahui batas perhitungan dengan

menggunakan analisis statik ekuivalen dengan fokus pada gaya lateral tingkat (F_i) dan gaya geser (V).

Penelitian yang menggunakan analisis statik ekuivalen dan dinamik time history yang dilakukan dengan menggunakan pemodelan struktur 5, 6, 7, 8, 9, dan 10 lantai. Kedua metode tersebut menghasilkan pembebanan yang berbeda, dengan analisis dinamik time history menggunakan data Akselerogram gempa El-Centro 1940 menunjukkan nilai pembebanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan analisis statik ekuivalen. Perbedaan ini disebabkan oleh banyak faktor yang mempengaruhi dalam analisis dinamik time history, termasuk kekakuan, massa, redaman struktur, dan faktor-faktor lain yang terkait dengan percepatan gempa yang memengaruhi bangunan. Dengan perbandingan yang dihasilkan dari hasil perhitungan tersebut diantaranya analisis statik ekuivalen dan dinamik time history menghasilkan pada struktur 5 lantai memiliki nilai pembebanan yang tidak terlalu jauh diantara kedua metode. Dalam perhitungan struktur 6 lantai nilai pembebanan mulai terjadi perbedaan yang jauh, dengan nilai pembebanan gempa dari analisis statik ekivalen lebih kecil dari analisis dinamik time history. Pada struktur 7 atau lebih peningkatan pembebanan gempa yang terjadi dari analisis dinamik time history meningkat lebih besar dari perhitungan struktur 5 dan 6 dibandingkan dengan analisis statik ekivalen.

3. Perbandingan beban gempa rencana hasil analisis menggunakan metode statik ekuivalen dan respon spektrum berdasarkan SNI 1726-2012. (Ria, 2018)

Menurut SNI 1726:2012 analisis beban gempa dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu secara statik dan dinamik. Metode statik ekuivalen adalah pendekatan di mana pengaruh gempa pada struktur dianggap sebagai beban statik horizontal. Sementara itu, metode respon spektrum adalah metode analisis di mana respons total diperoleh melalui superposisi dari respons masing-masing komponen getaran. Perbedaan antara kedua metode analisis beban gempa tersebut terletak pada konsep dinamik yang memperhitungkan massa, kekakuan, dan redaman, sedangkan konsep statik hanya memperhitungkan massa saja (Widodo, 2001).

Tujuan penelitian ini untuk membandingkan beban gempa rencana hasil analisis metode statik ekuivalen dan spektrum respon berdasarkan SNI

1726:2012 pada bangunan gedung 7 lantai dengan tinggi 40 meter yang berfungsi sebagai perkantoran.

Berdasarkan perbandingan gaya-gaya dalam pada elemen struktur seperti balok dan kolom antara analisis menggunakan metode statik ekuivalen dan analisis spektrum respon, ditemukan bahwa gaya dalam terbesar berasal dari analisis dengan metode statik ekuivalen. Simpangan antar lantai maksimum yang terjadi pada metode statik ekuivalen terjadi pada lantai 3 dengan nilai simpangan sebesar 52,068 mm. Sedangkan, pada metode respon spektrum, simpangan antar lantai maksimum terjadi pada lantai 4 dengan nilai sebesar 50,464 mm. Kedua nilai simpangan maksimum tersebut memenuhi persyaratan, yaitu kurang dari nilai simpangan antar lantai ijin yang ditetapkan sebesar 100 mm. Hasil analisis struktur menggunakan metode statik ekuivalen telah memenuhi syarat sebagai struktur sistem ganda dengan presentase SRPMK sebesar 56,106% untuk arah x dan 63,672% untuk arah y, lebih dari syarat minimum yaitu 25%.

4. Studi perbandingan analisis gaya gempa terhadap struktur gedung di kota madiun berdasar SNI 1726 2002 dan RSNI 201x. (Rohman, 2014)

Seiring dengan terjadinya gempa-gempa besar dalam beberapa tahun terakhir di Indonesia, telah terjadi perubahan dalam fenomena tersebut. Hal ini melibatkan adanya pergeseran seismotektonik yang baru dan perkembangan peraturan gempa terkini di dunia, seperti ASCE 7-10 dan IBC 2009. Selain itu, juga terdapat dorongan untuk mengembangkan pedoman perencanaan ketahanan gempa di Indonesia. Sebagai hasil dari perubahan ini, pedoman ketahanan gempa yang sebelumnya diatur oleh SNI 03-1726-2002 direvisi dan diperbarui menjadi RSNI 03-1726-201x.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan penggunaan RSNI 1726 201X dan SNI 1726 2002 dalam menghitung beban gempa pada struktur gedung beraturan. Dengan model struktur diasumsikan sebagai gedung beraturan 5 lantai dengan sistem struktur SRPMK yang berlokasi di kota madium.

Dalam penelitian ini terdapat beberapa perbedaan di antaranya pada nilai base shear struktur dengan analisis menggunakan SNI 1726 201X lebih besar

27,5 % dibandingkan dengan SNI 1726 2002, lalu momen hasil analisis menggunakan SNI 1726 201X lebih besar 27,67 % (pada kolom) dan 28,56 % (pada balok) dibandingkan dengan SNI 1726 2002, dan gaya geser menggunakan SNI 1726 201X lebih besar 27,57 % (pada kolom) dan 28,55 % (pada kolom) dibandingkan dengan SNI 1726 2002 serta pada nilai displacement pada struktur menggunakan SNI 1726 201X lebih besar antara 27,99 % sampai 30,92 % dibandingkan dengan SNI 1726 2002.

5. Perbandingan respon struktur beraturan dan tidakberaturanhorizontal sudut dalam akibat gempa dengan menggunakan analisis statik ekuivalen dan time history. (Tarigan Matahari & Teruna Rumbi Danel, 2017)

Respons struktur terhadap gempa sangat dipengaruhi oleh bentuk bangunan. Bangunan dengan bentuk yang beraturan, sederhana, dan simetris akan memiliki performa yang lebih baik dalam menghadapi gempa dibandingkan dengan bangunan yang tidak beraturan (Pauly dan Priestley, 1992). RSNI 03-1726-201x menyatakan bahwa salah satu faktor yang dapat mengkategorikan bangunan sebagai beraturan atau tidak beraturan adalah keberadaan sudut dalam dalam struktur bangunan. Untuk memahami respons struktur terhadap gempa, perlu dilakukan analisis beban gempa yang sesuai dengan peraturan yang berlaku. Analisis beban gempa dapat dilakukan menggunakan metode analisis dinamik, seperti analisis time history dan analisis spektrum respons. Selain itu, analisis beban gempa juga dapat dilakukan dengan metode analisis statik.

Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan respons struktur dengan sudut dalam yang beraturan dan tidak beraturan menggunakan analisis statik ekuivalen dan analisis *time history*. Respon struktur yang akan dibandingkan merupakan perpindahan (*displacement*), rasio simpangan antar lantai (*drift ratio*), dan momen lentur (*bending moment*) pada balok dan kolom akibat beban gempa. Dan bangunan yang di tinjau merupakan bangunan pemodelan sendiri dengan bangunan yang pertama adalah gedung beraturan dengan sudut dalam 10 %, dan bangunan yang kedua adalah gedung tidak beraturan dengan sudut dalam 40 %. Gedung berfungsi sebagai gedung perkantoran berlantai 8 dengan struktur beton bertulang. Bangunan tersebut diasumsikan terletak di Kota Padang dengan jenis tanah sedang.

Dengan hasil penelitian diantaranya merupakan perpindahan (*displacement*) dan rasio simpangan antar lantai (*drift ratio*) pada struktur beraturan dengan sudut dalam 10% dalam analisis statik ekuivalen memiliki nilai yang lebih besar daripada analisis *time history*. Namun, pada struktur tidak beraturan dengan sudut dalam 40%, perpindahan (*displacement*) dan rasio simpangan antar lantai (*drift ratio*) dalam analisis statik ekuivalen memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan analisis *time history*. Berdasarkan evaluasi terhadap perpindahan dan rasio simpangan antar lantai tersebut, dapat disimpulkan bahwa analisis statik ekuivalen masih akurat digunakan pada struktur beraturan dengan sudut dalam 10%, namun tidak akurat jika digunakan pada struktur tidak beraturan dengan sudut dalam 40%.

Momen kolom pada struktur beraturan dengan sudut dalam 10% dalam analisis statik ekivalen umumnya memiliki nilai momen yang lebih besar daripada analisis *time history*. Namun, pada struktur tidak beraturan dengan sudut dalam 40%, momen kolom dalam analisis statik ekivalen memiliki banyak nilai momen yang lebih kecil dibandingkan dengan analisis *time history*. Berdasarkan evaluasi terhadap momen kolom tersebut, dapat disimpulkan bahwa analisis statik ekivalen masih akurat digunakan pada struktur beraturan dengan sudut dalam 10%, namun tidak akurat jika digunakan pada struktur tidak beraturan dengan sudut dalam 40%. Sedangkan Momen balok pada struktur beraturan dengan sudut dalam 10% dalam analisis statik ekivalen umumnya memiliki nilai momen yang lebih besar daripada analisis *time history*. Namun, pada struktur tidak beraturan dengan sudut dalam 40%, momen balok dalam analisis statik ekivalen memiliki banyak nilai momen yang lebih kecil dibandingkan dengan analisis *time history*. Berdasarkan evaluasi terhadap momen balok tersebut, dapat disimpulkan bahwa analisis statik ekivalen masih akurat digunakan pada struktur beraturan dengan sudut dalam 10%, namun tidak akurat jika digunakan pada struktur tidak beraturan dengan sudut dalam 40%.

6. Kajian perbandingan respon bangunan pada rangka beton pemikul momen dengan metode gaya lateral ekuivalen dan respon spektrum. (Yohannes, Benny, 2017)

Dalam perhitungan gempa permasalahan beban dinamik dapat diselesaikan dengan : metode analisis riwayat waktu (*Time History Analysis*), metode respon spektrum (*Response Spectrum Method*), dan gaya lateral ekuivalen.

Tujuan dalam penelitian ini untuk melakukan pengkajian terhadap pengaruh dari berbagai parameter pada respon bangunan jenis rangka beton pemikul momen, selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk membandingkan respons bangunan yang dihitung menggunakan persamaan empiris yang direkomendasikan dalam SNI-1726-2010. Dengan tinjauan penelitian melakukan perbandingan gaya lateral, gaya geser dasar dan simpangan dari hasil analisis statik ekuivalen dengan analisis respons spektrum pada bangunan bertingkat 4 lantai, 7 lantai, dan 12 lantai. Model analisis berupa portal 2D akan dianalisis menggunakan metode gaya lateral ekuivalen dan metode response spektrum.

Terjadi perbedaan pada gaya geser dasar yang diperoleh dari respons spektrum dan gaya geser yang diperoleh dari analisis statik ekuivalen pada program SAP 2000, karena portal yang dianalisis dalam program tersebut merupakan portal 2D. Selain itu metode statik ekuivalen untuk menghitung gaya geser tingkat menjadi kurang akurat seiring dengan penambahan jumlah lantai pada bangunan, serta metode statik ekuivalen tidak dapat digunakan untuk menghitung gaya geser dasar jika massa pada tingkat-tingkat yang berdekatan mencapai atau melebihi 100%.

7. Analisa nilai simpangan horizontal (*drift*) pada struktur tahan gempa menggunakan sistem rangka bresing eksentrik *type braced V*.(Akbar & Candra, 2018)

SRBE merupakan sistem struktur rangka baja yang memiliki kekakuan elastik yang sangat baik. Bagian penting dalam desain EBF adalah link beam, yaitu bagian yang menghubungkan joint pengaku diagonal dengan joint kolom atau balok. Penambahan bresing pada struktur bangunan bertujuan untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan struktur agar dapat secara efektif mengurangi drift dan menahan deformasi pada bangunan tinggi.

Struktur yang akan dianalisis adalah model gedung dengan dua jenis konfigurasi, yaitu tanpa bresing dan dengan penggunaan bresing menggunakan

Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE) Tipe Braced V gedung tersebut memiliki total 8 lantai termasuk atap. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan drift (simpangan) yang terjadi pada sebuah gedung konstruksi baja tanpa bresing dengan gedung yang sama namun dilengkapi dengan bresing dengan dimensi dan kualitas beton tertentu. Serta membandingkan besar pengaruh penggunaan gedung konstruksi baja tanpa bresing dan menggunakan bresing.

Penambahan bresing pada struktur gedung memiliki dampak yang signifikan dalam mengurangi simpangan hingga batas ultimit, sehingga meningkatkan keamanan struktur dan mengurangi risiko benturan antar gedung. Selain itu, penggunaan bresing V dengan sistem rangka bresing eksentrik (SRBE) dapat mengurangi simpangan horizontal (drift) secara signifikan dibandingkan dengan struktur tanpa bresing. Perbedaan ini dapat mencapai 51,40% pada arah X dan 44,40% pada arah Y, menunjukkan penurunan yang signifikan dalam perbandingan nilai drift.

8. Evaluasi bangunan gedung rumah sakit terhadap beban gempa dengan menggunakan metode statik ekuivalen (Nurrohmat, 2020)

Menurut SNI Gempa 2012 struktur gedung Rumah Sakit harus memiliki kekuatan 1,5 kali lebih tinggi dibandingkan gedung-gedung lainnya, maka dalam perencanaannya bangunan ini harus mampu bertahan terhadap gempa dengan baik sehingga risiko kegagalan struktur dapat dihindari (Hidayat dan Hasan 2016).

Evaluasi dilakukan menggunakan metode yang sesuai untuk memperkirakan daerah-daerah di pulau Sumatera yang rentan terhadap gempa bumi, terutama gempa bumi berkekuatan besar. Pada model penelitian ini model yang digunakan merupakan struktur gedung 4 lantai Rumah Sakit Ahmad Yani kelas situs tanah sedang dengan dengan analisis statik ekuivalen. Analisis dilakukan dengan mengacu pada peraturan SNI 1726:2012, FEMA 356, ATC-40, dan SNI 2847:2013. Berdasarkan metode analisis diatas maka perlu untuk diteliti guna mengetahui kekuatan dan kinerja struktur gedung terhadap beban gempa pada bangunan gedung bertingkat di Kota Metro, Lampung.

Pada penelitian ini nilai displacement pada arah X dan arah Y, gedung Rumah Sakit dinyatakan telah memenuhi syarat displacement antar lantai maksimum yang diijinkan berdasarkan SNI 03-1726-2012 Pasal 12.6.4.4.1. sedangkan tingkat kinerja struktur gedung, berdasarkan peraturan ATC-40, masih berada dalam keadaan elastis karena nilai rasio simpangan antar lantai pada perhitungan masih kurang dari 1%, yang merupakan batas inelastis. Berdasarkan evaluasi analisis linear statik Metode FEMA 356 terdapat balok pada lantai 2 hingga 4 yang memiliki nilai DCR (Design Code Ratio) lentur dan geser lebih dari 1, khususnya pada Balok B1. Balok tersebut telah mencapai batas inelastis, namun tidak perlu dievaluasi ke tahap Pushover karena nilai DCR masih kurang dari 2. Keempat, nilai DCR lentur dan geser pada kolom menunjukkan bahwa semua kolom masih berada dalam kondisi elastis.

9. Analisis beban gempa dengan metode statik ekuivalen berdasarkan SNI 1726-2019 pada Gedung IPAL (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung IPAL UT-HO-Jakarta Timur) (Irpan Rifandi, 2019)

Perhitungan beban gempa menggunakan metode statik ekuivalen lebih akurat daripada metode analisis respon spektrum untuk bangunan dengan ketinggian di bawah 40 meter. Menurut beberapa literatur, beban gempa statik ekuivalen dipengaruhi oleh berat seismik efektif (W) dan tinggi lantai. Ketika berat seismik efektif (W) dan tinggi lantai semakin besar, beban gempa statik ekuivalen yang terjadi juga semakin besar.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis beban gempa dengan metode statik ekuivalen berdasarkan SNI 1726:2019 pada Proyek Pembangunan Gedung IPAL UT-HO-Jakarta Timur dengan terdiri dari lantai basement dan lantai dasar dengan ketinggian lantai basement adalah 4,2 meter dan ketinggian lantai dasar (1) 8,15 meter dan ketinggian lantai dasar (2) 7,15 meter dengan rangka sistem rangka pemikul momen khusus serta pada wilayah zona gempa IV.

Berdasarkan perhitungan, total gaya gempa vertikal atau gaya lateral ekuivalen untuk lantai basement adalah $F_x = 680,81$ kN, untuk lantai dasar dengan tinggi 7,15 m adalah $F_x = 99,74$ kN, dan untuk lantai dasar dengan tinggi 8,15 m adalah $F_x = 362,74$ kN. Oleh karena itu, gaya gempa vertikal per lantai dapat dibagi secara merata di setiap sambungan pada lantai tersebut. Untuk lantai

basement, gaya gempa vertikal adalah 113,47 kN dalam arah X dan 136,16 kN dalam arah Y. Pada lantai dasar dengan tinggi 7,15 m, gaya gempa vertikal adalah 16,62 kN dalam arah X dan 33,25 kN dalam arah Y. Sedangkan pada lantai dasar dengan tinggi 8,15 m, gaya gempa vertikal adalah 60,46 kN dalam arah X dan 72,55 kN dalam arah Y. Hasil ini menjelaskan bahwa semakin besar berat seismik (W) dan eksponen yang terkait dengan periode struktur, maka beban gaya lateral ekuivalen juga akan semakin besar.

10. Analisis dinamik respon struktur gedung beraturan dan ketidakberaturan horizontal (Khoirunnissa et al., 2020)

Struktur yang memiliki stabilitas yang memadai akan mengalami deformasi yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur yang tidak stabil ketika menerima beban yang sama. Ketika merancang struktur bertingkat tinggi, stabilitas yang memadai harus dipertimbangkan sesuai dengan kapasitasnya agar mampu menahan gaya lateral. Keberadaan kekakuan kolom dalam struktur tersebut penting untuk menghindari simpangan antar lantai yang melebihi batas yang diizinkan.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja struktur dilihat dari nilai simpangan dan simpangan antar lantai izin pada gedung beraturan dan gedung tidak beraturan. Dalam penelitian ini dihitung respon kinerja struktur pada tiga model bangunan dengan variasi ketidakberaturan struktur horisontal dan kemudian dibandingkan hasilnya yang dimana fungsi gedung sebagai hotel.

Hasil dari penelitian ini nilai simpangan (deflection) pada struktur, gedung beraturan model A mengalami simpangan maksimum sebesar 6,355 mm arah-x dan 3,422 mm arah-y. sementara itu, gedung tidak beraturan sudut dalam model B yaitu gedung dengan proyeksi sudut dalam 43% arah-x dan 33% arah-y mengalami simpangan maksimum sebesar 6,861 mm arah-x dan 3,84 mm arah-y dengan selisih +7,96% arah-x dan 12,22% arah-y jika dibandingkan dengan gedung beraturan model A. Gedung tidak beraturan sudut dalam model C yaitu gedung dengan proyeksi sudut dalam 50% arah-x dan 33% arah-y mengalami simpangan maksimum sebesar 7,439 mm arah-x dan 4,54 mm arah-y dengan selisih +17,05% arah-x dan 32,67% arah-y jika dibandingkan dengan gedung beraturan model A. Dari hasil analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa

semakin besar proyeksi sudut dalam pada suatu bangunan, maka simpangan yang terjadi pada bangunan tersebut juga semakin besar. Selain itu, simpangan antar lantai yang terjadi pada gedung beraturan model A, gedung tidak beraturan model B, dan gedung tidak beraturan model C, semuanya masih memenuhi standar yang ditetapkan dalam SNI 03-1726-2012, yaitu nilai simpangan yang diizinkan kurang dari 80 mm.

II.10 Studi Terdahulu

No.	Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis	
				Penelitian Terdahulu	Penelitian Penulis
1.	2014	Perbandingan Analisis Statik Ekuivalen Dan Analisis Dinamik Ragam Spektrum Respons Pada Struktur Beraturan Dan Ketidakberaturan Massa Sesuai Rsn 03-1726-201x	Hasil yang diperoleh dari kedua analisis tersebut menunjukkan besaran yang tidak terlalu jauh perbedaannya dengan nilai analisis statik ekuivalen yang sedikit lebih tinggi dikarenakan yaitu berdasarkan RSNI 03-1726-201x struktur dengan ketinggian tidak melebihi 40 meter yang masih bisa dijangkau dengan analisis statik ekuivalen, sedangkan pada objek struktur tugas akhir ini ketinggian yang dipakai hanya 28 meter.	Membandingkan respons parameter dari struktur beraturan dan tidak beraturan yang dianalisis secara statik ekuivalen dan analisis spektrum respons	Membandingkan analisis statik ekuivalen dengan analisis spektrum respon dengan struktur baja bresing V

2.	2020	Perbandingan Pembebanan Gempa Bangunan Bertingkat Menggunakan Analisis Static Equivalent dan Analisis Dynamic Time History di Kab. Garut	Perhitungan pembebanan gempa pada struktur 5 tingkat dengan menggunakan metode analisis statik ekuivalen dinilai akurat karena menghasilkan pembebanan gempa yang mendekati dengan hasil analisis dinamik time history yang menghasilkan pembebanan gempa lebih besar dalam perancangan struktur. Pada struktur 6 tingkat analisis statik ekuivalen masih memungkinkan untuk dipakai karena hasil pembebanan relatif tidak terlalu jauh dengan analisis dinamik time history.	Membandingkan statik ekuivalen dengan analisa dinamik <i>time history</i>	Membandingkan analisis statik ekuivalen dengan analisis respon spektrum
3.	2020	Perbandingan Beban Gempa Rencana Hasil	Dari hasil perbandingan gaya-gaya dalam pada elemen struktur	Membandingkan beban gempa yang	Membandingkan analisis statik

		Analisis Menggunakan Metode Statik Ekuivalen Dan Respon Spektrum Berdasarkan Sni 1726-2012	yaitu balok dan kolom hasil analisis metode statik ekuivalen dan respon spektrum, diperoleh hasil bahwa gaya dalam yang terbesar dari kedua metode adalah hasil dari analisis menggunakan metode statik ekuivalen.	dianalisis secara statik ekuivalen dan analisis spektrum respons	ekivalen dengan analisis spektrum respon dengan struktur baja bresing V
4.	2017	Studi Perbandingan Analisis Gaya Gempa Terhadap Struktur Gedung Di Kota Madiun Berdasar SNI 1726 2002 dan RSNI 201X	Displacement pada struktur menggunakan SNI 1726 201X lebih besar antara 27,99 % sampai 30,92 % dibandingkan dengan SNI 1726 2002.	Membandingkan analisis gaya gempa terhadap struktur	Membandingkan analisis statik ekuivalen dengan analisis spektrum respon dengan struktur baja bresing V
5.	2014	Perbandingan Respon Struktur Beraturan Dan Ketidakberaturan horizontal Sudut Dalam Akibat Gempa Dengan	Perpindahan (displacement) dan rasio simpangan antar lantai (drift ratio) pada struktur beraturan dengan sudut dalam 10% pada analisis statik ekuivalen masih	Membandingkan respons parameter dari struktur beraturan dan tidak beraturan yang	Membandingkan analisis statik ekuivalen dengan analisis spektrum respon dengan

		Menggunakan Analisis Statik Ekuivalen Dan Time History	memiliki nilai yang lebih besar bila dibandingkan dengan analisis time history, berbeda halnya dengan perpindahan (displacement) dan rasio simpangan antar lantai (drift ratio) pada struktur tidak beraturan dengan sudut dalam 40%, dimana pada analisis statik ekuivalen memiliki sebagian nilai yang lebih kecil bila dibandingkan dengan analisis time history.	dianalisis secara statik ekuivalen dan analisis spektrum respons	struktur baja bresing V
6.	2014	Kajian Perbandingan Respon Bangunan Pada Rangka Beton Pemikul Momen Dengan Metode Gaya Lateral Ekuivalen Dan Respon Spektrum	Metode respon spektrum hasil analisis bisa berbeda dengan metode statik ekuivalen dari persamaan empiris sebab terdapat berbagai variabel yang tidak terdapat di dalam variabel persamaan empiris. Metode statik	Membandingkan respons parameter dari struktur beraturan dan tidak beraturan yang dianalisis secara statik ekuivalen dan	Membandingkan analisis statik ekuivalen dengan analisis spektrum respon dengan struktur baja bresing V

			ekuivalen akan semakin tidak akurat seiring bertambahnya jumlah lantai pada bangunan	analisis spektrum respons	
7.	2017	Analisa Nilai Simpangan Horizontal (Drift) Pada Struktur Tahan Gempa Menggunakan Sistem Rangka Bresing Eksentrik Type Braced V	Bresing V dengan sistem rangka bresing eksentrik (SRBE) dapat mengurangi simpangan horizontal (drift) bila dibandingkan dengan tanpa menggunakan bresing dengan kisaran perbedaannya 51,40% pada arah X dan 44,40% pada arah Y dimana nilai penurunan perbandingan tersebut sangat jauh.	Menganalisa nilai simpangan pada Rangka Bresing Eksentrik Type Braced V	Menganalisa simpangan pada rangka bresing kosentrik tipe V
8.	2021	Evaluasi bangunan gedung rumah sakit terhadap beban gempa dengan menggunakan metode statik ekuivalen	Displacement pada arah X dan arah Y, gedung Rumah Sakit dinyatakan telah memenuhi syarat displacement antar lantai maksimum yang diijinkan	Menganalisa beban gempa bangunan rumah secara analisis statik ekuivalen	Menganalisa beban gempa perancangan struktur baja dengan bresing tipe V dengan analisis statik

			berdasarkan SNI 03-1726-2012 Pasal 12.6.4.4. 1. Tingkat level kinerja struktur pada peraturan ATC-40 gedung masih dalam keadaan elastis, karena nilai roof drift ratio pada perhitungan masih lebih kecil dari 1% batas inelastic.		ekuivalen dan analisis respon spektrum
9.	2020	Analisis Beban Gempa dengan Metode Statik Ekuivalen Berdasarkan SNI 1726-2019 pada Gedung IPAL (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung IPAL UT-HO-Jakarta Timur)	Batasan perioda fundamental struktur (T) digunakan adalah 0,31 detik karena nilai Tc yang didapat dari program analisis struktur sebesar 0,23 maka hasil Tc kurang dari Ta sehingga nilai T = Ta. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa batasan perioda fundamental struktur (T) dipengaruhi oleh tinggi lantai pada bangunan gedung. Semakin besar tinggi lantai maka nilai	Menganalisa beban gempa bangunan gedung secara analisis statik ekuivalen berdasarkan SNI 1726-2019	Menganalisa beban gempa perancangan struktur baja dengan bresing tipe V dengan analisis statik ekuivalen dan analisis respon spektrum

			batasan perioda fundamental struktur juga akan semakin besar nilainya.		
10.	2020	Analisis Dinamik Respon Struktur Gedung Beraturan Dan Ketidakberaturan Horizontal	Analisa tersebut didapatkan bahwa semakin besar proyeksi sudut dalam pada suatu bangunan maka akan semakin besar simpangan yang terjadi pada bangunan tersebut	Menganalisa beban gempa bangunan gedung secara analisis dinamik respon berdasarkan SNI 1726-2019	Menganalisa beban gempa perancangan struktur baja dengan bresing tipe V dengan analisis statik ekuivalen dan analisis respon spektrum