

BAB II

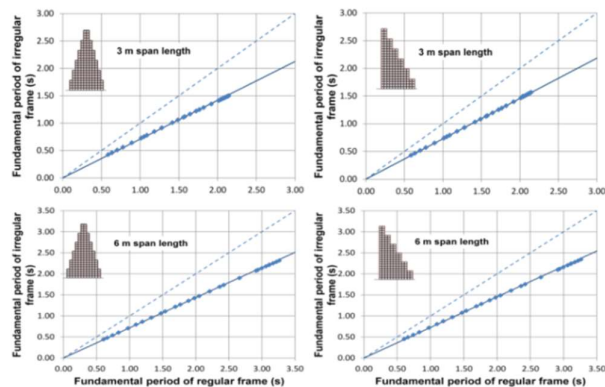
TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Berikut merupakan beberapa penelitian mengenai respon struktur yang tidak beraturan terhadap gaya gempa yang digunakan dalam tinjauan pustaka.

Gedung dikatakan asimetris, apabila gedung memiliki ketidakberaturan baik dari segi vertikal maupun horizontal. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya eksentrisitas. Eksentrisitas sendiri terjadi karena, pusat masa dan pusat rotasi bangunan tidak berhimpit. Bangunan yang memiliki kriteria tidakberaturan, saat terkena beban gempa, bangunan cenderung memperlihatkan reaksi yang dapat membahayakan, dan dapat mengalami runtuh. Eksentrisitas akibat adanya ketidaksesuaian antara pusat massa dan pusat kekakuan berpengaruh terhadap perilaku bangunan, dimana pada bangunan yang memiliki tingkat eksentrisitas yang besar, bangunan cenderung memperlihatkan periode dan lendutan yang lebih besar (Suryanti, 2009).

Dijelaskan pula oleh Asteri (2017), bahwa tinggi struktur dan adanya ketidakberaturan secara vertikal berpengaruh terhadap periode alami struktur semakin tinggi struktur bangunan maka semakin besar periode natural struktur, dan sebaliknya. Faktor ini tergantung jumlah lantai yang dapat digunakan sebagai faktor pengali sebagai perkiraan periode alami sebuah gedung (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Perbandingan periode dasar untuk bangunan reguler 24 lantai dan struktur bangunan tidak teratur dengan tinggi 3 m dan 6 m (Asteri, 2017).

Pengaruh panjang bentang yang signifikan, dinding penahan geser dan kekakuan, dan persentase juga merupakan parameter untuk menentukan ketidakberaturan struktur.

Pergerakan gaya gempa pada dasarnya berbanding lurus dengan berat massa bangunan ($F = m \cdot a$) dengan m adalah massa total bangunan, dan a adalah percepatan gerakan tanah akibat gempa. Ketika bangunan yang memiliki massa yang relatif lebih besar maka gaya gempa yang terjadi juga besar. Besar massa pada sebuah bangunan mempengaruhi perilaku pada sebuah bangunan, bangunan yang memiliki ketidakberaturan kekakuan dalam bentuk bangunan (asimetri) maupun distribusi massa seperti yang dijelaskan dalam sebuah penelitian (Rahman, 2018) dua bangunan yang dimodelkan (simetri dan asimetri). Bangunan yang memiliki ketidakberaturan tingkat kekakuan dan distribusi massa memperlihatkan perbandingan simpangan antar lantai.

Hal tersebut diperkuat oleh penelitian Titiksh (2017), pada penelitiannya dengan 4 model yang berbeda (model simetris, model dengan ketidakberaturan massa, model dengan ketidakberaturan kekakuan, dan model tidak beratur karena adanya bukaan (*re-entrant*) menggunakan tingkatan zona gempa yang berbeda. Berdasarkan hasil analisa tingginya *base shear* dan *displacement* tergantung pada zona gempa. Semakin meningkat zona gempa, maka semakin meningkat *base shear*, dan perpindahan lateralnya. Hasilnya *base share* paling besar terdapat pada ketidak beraturan massa, perpindahan lateral secara bertahap meningkat tiap zonanya, untuk perpindahan lateral maksimum dialami pada model yang memiliki bukaan dan untuk periode waktu struktur terbesar dialami pada model ketidakberaturan kekakuan. Dari keseluruhan studi dan observasi dapat disimpulkan bahwa geser dan perpindahan lateral akan meningkat ketika intensitas seismik meningkat tiap zonanya yang mengindikasikan banyaknya pengaruh seismik yang harus direspon oleh bangunan.

Hal tersebut juga dijelaskan dalam penelitian Shah dkk. (2018) tentang evaluasi pada dua distrik dengan menggunakan metode penilaian secara visual, hasil pengamatan sebagian besar bangunan melewati kisaran nilai 2,0, hal ini dipengaruhi usia pada kinerja seismik, tingkat kerentanan dan area yang berbeda

dimana intervensi diperlukan. Hal ini disebabkan oleh perubahan kode bangunan, kualitas bahan bangunan, dan metode konstruksi.

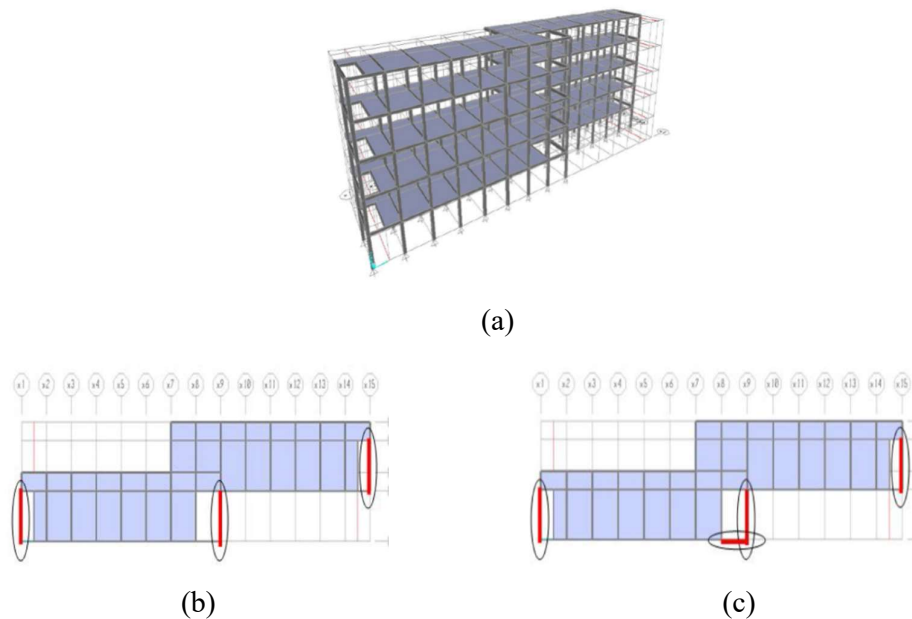
Yolanda dkk. (2017) menyebutkan dalam penelitian keruntuhan progresif pada gedung struktur beraturan dan tidak beraturan menggunakan metode alaisa keruntuhan progresif pada struktur beraturan dan tidak beraturan menggunakan analisa penghapusan kolom dan balok dan dicek dengan *software SAP 2000* berdasar *Demand Capacity Ratio* (DCR). Dari analisa didapatkan hasil, untuk struktur yang tidak beraturan keruntuhan terbesar terjadi pada penghapusan empat buah kolom kritis pada bentang horizontal tengah struktur dengan kombinasi pembebanan $2(DL + 0,25LL)$ yang terjadi pada balok 201 dengan nilai DCR 3,44372.

Goel (2004) "*Seismic Response Control Of Irregular Structures Using Nonlinear Dampers*" Perbandingan respon seismik dari sistem *one-story, one-way asymmetric* dengan tambahan sistem linear dan nonlinear *damper*. Untuk mengevaluasi efek *damper* nonlinear pada respon seismik dari sistem asimetris nonlinear, dan mengamati efek perencanaan dari ketidakberaturan yang dipengaruhi oleh nonlinear *damper*. Untuk memahami perilaku peredam nonlinear, efek dari peredam nonlinear dievaluasi dengan membandingkan nilai normal respons seismik - deformasi lateral, geser dasar dan torsi, gaya redaman total dan torsi dasar satu lantai, satu arah linear asimetris dan nonlinear sistem yang menggunakan peredam nonlinear (kecepatan eksponen $\alpha = 0,7, 0,5, \text{ dan } 0,35$) dengan sistem yang menggunakan bahan peredam (*velocity exponent* $\alpha = 1$). Hasil dari penelitian ini menyebutkann bahwa nonlinear *damper* dapat meningkatkan kekuatan redaman sekitar 25% pada periode pendek, mengurangi gaya geser sekitar 10% dan dapat mengurangi torsi dasar pada periode pendek sekitar 20% tapi secara keseluruhan dapat meningkatkan redaman torsi pada seluruh periode.

2.2.5. Penelitian Terdahulu metode peningkatan kekuata

Menurut Qian (2017), ada penelitiannya "*The Effects of Bracing on the Behavior of RC Multi-Story Frames to Resist Progressive Collapse*" Satu *frame* kosong tanpa *bracing* dan dua rangka penguat dengan penahan baja tambahan di lantai ketiga. Bangunan merupakan gedung perkantoran delapan lantai, tinggi lantai

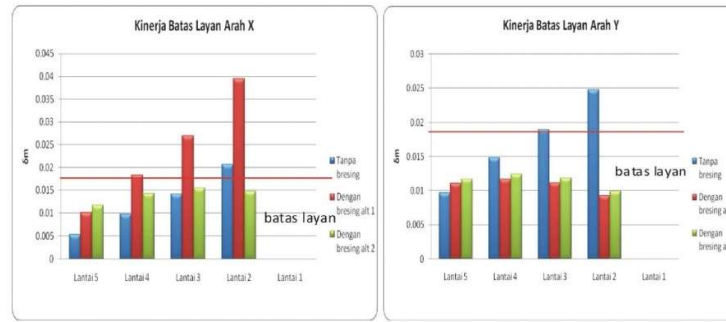
dasar 3,6 m dan 3,3 m pada lantai paling atas, panjang bentang arah longitudinal dan transversal adalah 7,2 m, beban hidup desain $2,0 \text{ kN/m}^2$ yang diuji dalam dua dimensi dan kolom ke 2 kedua dari belakang yang berada di tengah dihilangkan. Untuk penguatan dilakukan dengan penahan baja sistem *bracing* yang berbeda di lantai 3 yaitu *bracing* konsentris (SF1), dan *bracing* eksentris (SF2). Efek *bracing* baja memberikan kontribusi menguatkan pada perilaku *frame RC* dalam mengurangi keruntuhan keruntuhan progresif. SF1 dan SF2 meningkatkan beban puncak pertama BF masing-masing sebesar 121,3% dan 126,9%. Ini dapat mengurangi risiko keruntuhan progresif secara efektif, namun SF2 dengan *bracing* sistem eksentrik lebih baik dibandingkan dengan kekakuan awal beban puncak.



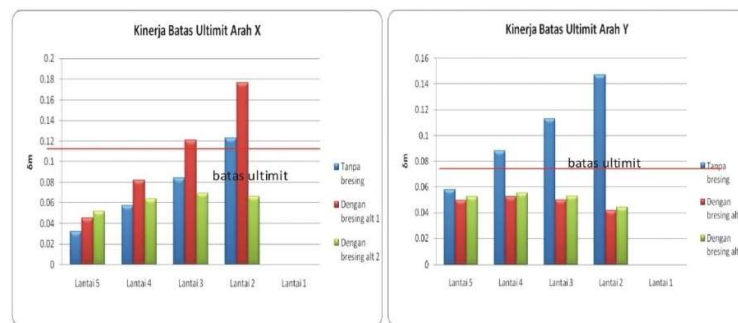
Gambar 2.2 Model pemasangan *bracing* (a) Desain gedung (b) Model pemasangan 1 (c) Model pemasangan 2.

Haryono dkk. (2016) menyatakan, dalam penelitiannya tentang evaluasi sebelum dan sesudah penambahan *bracing* pada gedung tidak beraturan menggunakan 2 alternatif penempatan *bracing* (Gambar 2.2), batas maksimal simpangan antar lantai pada kinerja batas layanan didapatkan nilai sebesar 0,0188 m, dari hasil analisa menggunakan program *SAP2000* didapatkan hasil bahwa kinerja batas layanan pada gedung tanpa pemasangan *bracing* tidak aman.

Berdasarkan analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa kinerja batas layan dan penambahan *bracing* alternatif 1 tidak aman untuk arah X sedangkan untuk arah Y sudah aman. Kinerja batas layan dan batas ultimit struktur dengan penambahan *bracing* alternatif 2 aman untuk arah X dan arah Y.



Gambar 2.3 Perbandingan kinerja batas layan arah x dan y struktur tanpa dan dengan *bracing*.



Gambar 2.4 Perbandingan kinerja batas ultimit arah x dan y struktur tanpa dan dengan *bracing*.

Kinerja struktur dengan penambahan *bracing* alternatif 2 jauh lebih baik jika dibandingkan struktur tanpa *bracing* dan struktur dengan penambahan *bracing* alternatif 1 (Gambar 2.2). Penambahan *bracing* dengan lokasi yang tepat dapat memperbaiki kinerja struktur secara signifikan.

Budiono (2013) menyatakan, sebagai upaya dalam menghasilkan ketahanan gempa, pada pemodelan menggunakan tiga desain yang berbeda dalam mereduksi gaya yang diakibatkan gempa, struktur bangunan dengan elemen perimeter yang didesain dengan elemen yang besar dan kaku mampu mereduksi respon yang terjadi akibat beban gempa.

Terkait dengan pemasangan *bracing* Anggraeni dkk. (2016) menyatakan, bahwa penambahan kekakuan dengan menggunakan perbandingan antara gedung tanpa menggunakan *bracing*, gedung menggunakan *bracing* tipe X dan gedung menggunakan tipe V, struktur dengan menggunakan rangka *bracing* memiliki simpangan horizontal lebih kecil dibandingkan struktur gedung tanpa menggunakan sistem *bracing*, tapi penggunaan system *bracing* tipe X lebih baik dibandingkan tipe V dengan selisih persentase 18,288%.

Hal tersebut didukung dalam penelitian respon bangunan bertingkat banyak dengan kekakuan kolom tingkat dasar menggunakan rangka *bracing* dengan menggunakan 3 tipe pemasangan *bracing*. Pemasangan bresing memberikan kontribusi dalam mereduksi simpangan lateral, pada penggunaan *bracing* tipe *interved* mampu mereduksi hingga 23,33% sedangkan pada penggunaan tipe X *bracing* mampu mereduksi sebesar 14,20%, penggunaan *bracing* pada bangunan bertingkat banyak mampu mereduksi simpangan lateral akibat beban gempa (Nelwan dkk., 2018).

Hal demikian juga dijelaskan bahwa penambahan kekakuan yang mengelilingi pusat masa dapat membantu mereduksi efek torsi (Batu dkk., 2016), penambahan kekakuan pada struktur bangunan di dekat pusat masa mempunyai nilai hubungan antara nilai simpangan dan efek torsi berbanding lurus. Model dengan penempatan penambahan kekakuan pada pusat masa memiliki fungsi ganda dan dianggap lebih ekonomis.

2.2. Dasar Teori Gedung Asimetris yang Mengalami Beban gempa

2.2.1. Gempa

Gempa merupakan peristiwa alam berupa getaran yang terjadi akibat adanya gangguan di dalam bumi (tektonik maupun vulkanik). Gangguan ini diakibatkan energi yang tersimpan didalam perut bumi dilepaskan, lalu menyebar dalam bentuk gelombang sesmik yang merambat kesegala arah melalui lapisan bumi sebagai media penghantar hingga sampai ke permukaan yang dapat menyebabkan getaran pada bangunan yang ada di permukaan. Hal ini yang akan menimbulkan gaya gaya yang bekerja pada struktur bangunan karena struktur lebih cenderung memiliki sifat mempertahankan diri dari gerakan, (Schodek, 1999).

Besaran getaran gempa bumi atau kekuatan gempa bumi (*magnetudo*) dapat diketahui berdasarkan pengukuran, *magnetudo* menggambarkan besarnya energi yang terlepas pada saat gempa bumi terjadi dan merupakan hasil pengamatan seismograf menggunakan skala richter (SR). Meskipun gempa bumi tidak dapat diprediksi namun terjadinya gempa bumi dengan kekuatan yang sama ataupun lebih besar mungkin saja terjadi. Kala ulang menunjukkan rentang waktu antar satu gempa dengan gempa berikutnya yang memiliki skala yang sama. Besarnya kala ulang dihitung berdasarkan frekuensi ($1/\text{frekuensi kejadian}$). Jika gempa memiliki frekuensi kejadian 0,01 artinya dalam satu tahun terjadi gempa 0,01 kali, atau dalam kurun waktu 100 tahun terjadi gempa 1 kali.

Meskipun gempa jarang terjadi namun gempa memiliki tingkat risiko. Tingkat risiko gempa menunjukkan kemungkinan suatu struktur dilanda gempa yang lebih besar dari gempa rencana. Tingkat risiko gempa ditunjukkan dengan probabilitas P (%), sebagai berikut.

$$P = (1 - e^{-\frac{L}{T}})100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan :

L = Umur rencana bangunan (Tahun)

P = Probabilitas/kemungkinan bangunan dilanda gempa lebih besar dari gempa rencana.

T = kala ulang gempa rencana (Tahun)

2.2.2. Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan

Pada SNI 176:2012, struktur dibedakan menjadi 2 kategori, sebagai berikut.

1. Struktur gedung beraturan
2. Struktur gedung tidak beraturan

Suatu struktur bangunan dikategorikan sebagai bangunan beraturan atau tidak beraturan apabila memenuhi kriteria yang telah ditetapkan oleh standar yang terdapat pada Pasal 7.3.2. ketidakberaturan suatu struktur dapat dibedakan berdasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur bangunan tersebut. Jika struktur bangunan termasuk kedalam kategori tidak beraturan secara vertikal maupun horizontal maka harus memenuhi persyaratan persyaratan tambahan agar gedung dapat terjamin keamanannya.

Tabel 2.1 Ketidakberaturan horizontal sistem struktur (BSN, 2012)

No	Tipe dan Penjelasan Ketidak Beraturan	Pasal Referensi	Penerapan Kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidak beraturan torsi dalam pasal pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4	D, E, dan F
		7.7.3	B, C, D, E, dan F
		7.8.4.3	C, D, E dan F
		7.12.1	C, D, E dan F
		Tabel 13	D, E dan F
		12.2.2	B, C, D, E dan F
1b.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebih dalam pasal pasal dalam referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1	E dan F
		7.3.3.4	D
		7.7.3	B, C dan D
		7.8.4.3	C dan D
		7.12.1	C dan D
		Tabel 13	D
2	Ketidak beraturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 Persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan	7.3.3.4	D, E, dan F
		Tabel 13	D, E, dan F
3	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih dari 50 persen daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 persen dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	7.3.3.4	D, E, dan F
		Tabel 13	D, E, dan F
4	Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang didefinidikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tanah gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen ystemn.	7.3.3.3	B, C, D, E, dan F
		7.3.3.4	D, E, dan F
		7.7.3	B, C, D, E, dan F
		Tabel 13	D, E, dan F
		12.2.2	B, C, D, E, dan F
5	Ketidakberaturan sisten nonpararel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral ystemn tidak pararel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ystemnal utama ystem penahan gaya gemp.	7.5.3	C, D, E, dan F
		7.7.3	B, C, D, E, dan F
		Tabel 13	D, E, dan F
		12.2.2	B, C, D, E, dan F

Tabel 2.2 Ketidakberaturan vertikal sistem struktur (BSN, 2012)

No	Tipe dan Penjelasan Ketidak Beraturan	Pasal Referensi	Penerapan desain seismik
1a.	Ketidakteraturan kekakuan tingkat lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuann lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan tingkat rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 13	D, E, dan F
1b.	Ketidakteraturan kekakuan tingkat lunak berlebih didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 60 persen kekakuann lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 persen kekakuan tingkat rata-rata tiga tingkat di atasnya.	7.3.3.1 Tabel 13	E dan F D, E, dan F
2.	Ketidakteraturan berat (massa) dideffindikan ada jika massa efektif semua tingkat lebihdari 150 persen massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 13	D, E, dan F
3.	Ketidakteraturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya.	Tabel 13	D, E, dan F
4	Diskontinuitas Arah Bidang Dalam Ketidak Beraturan Elemen Penaha Gaya Lateral Vertikal dideefinisikan ada jika penggeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya.	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 13	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a..	Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkaat didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80 persen kuat lateral kuat tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkata adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagai geser tungkat untuk arah yang ditinjau.	7.3.3.1 Tabel 13	E dan F D, E, dan F
5b.	Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebih didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65 persen kuat lateral kuat tingkat di atasnya. Kuat tingkat adalah kuat total semua elemen penahan seismik yang berbagai geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 13	D, E, dan F B dan C D dan E

Penilaian terhadap ketidak beraturan struktur dilihat berdasarkan adanya eksentrisitas antara pusat massa dan pusat rotasi, berdasarkan tabel di atas ketidak beraturan struktur dapat dibedakan menjadi 2 bagian yaitu tidak beraturan secara horizontal dan tidak beraturan secara vertikal, sedangkan untuk ketidak beraturan secara vertikal masih dibagi menjadi 2 kriteria, yaitu ketidakberaturan massa dan ketidakberaturan kekakuan. Ketidakberaturan masa adalah terdapatnyabeban pada sisibagian struktur saja yang menyebabkan tidak ada pemerataan distribusi beban ke seluruh elemen struktur, sedangkan ketidak beraturan kekakuan adalah terdapatnya tonjolan atau adanya ketidaksimetrisan dalam arah vertikal bangunan.

2.2.3. Prinsip Bangunan Tahan Gempa

Bangunan tahan gempa merupakan bangunan yang didesain untuk mencegah terjadinya korban jiwa akibat kegagalan struktur.

- a. Untuk keadaan gempa ringan struktur utama bangunan tidak diperbolehkan rusak dan harus berfungsi dengan baik. Untuk kerusakan pada elemen non struktural masih diperbolehkan.
- b. Pada gempa kategori menengah, struktur utama bangunan boleh mengalami kerusakanringan tetapi masih dapat diperbaiki. Elemen non-struktural boleh rusak tetapi masih dapat digganti dengan yang baru.
- c. Pada gempa dengan skala besar struktur utama pada bangunan boleh mengalami kerusakan tetepi tidak boleh runtuh total, dengan tujuan agar dapat melindungi penghuni bangunan dan meminimalisir korban jiwa.

Prinsip bangunan tahan gempa.

- a. Ringan beban gempa berasal dari masa bangunan yang terkena percepatan gerak tanah akibat gempa bumi $F = M \cdot a$, jika massa bangunan semakin berat maka beban gempa pada bangunan semakin berat pula, sehingga pada saat proses perencanaan sebaiknya pada saat pemilihan material menggunakan bahan yang ringan, dengan tujuan untuk mengurangi beban gempa pada bangunan.
- b. Elemen bangunan harus bersifat liat dapat berubah bentuk (mengalami deformasi) tanpa mengalami kegagalan. Sambungan antar rangka bangunan harus kuat sehingga kekuatan maksimum dapat terjamin dari elemennya.
- c. Stabil

Bangunan tidak terlalu lentur, sebagai upaya memberikan kenyamanan bagi pengguna dan tidak pula terlalu kaku. Sebaiknya bangunan memiliki tingkat daktilitas yang cukup sesuai kebutuhan perencanaan.

2.2.4. Analisis Gempa Dinamis Respons Spektrum

a. Faktor Keutamaan Gempa

Dalam berbagai keadaan risiko bangunan gedung dan non-gedung, pengaruh gempa terhadapnya harus dikalikan dengan faktor keutamaan I_e . Nilai faktor keutamaan gempa dapat dilihat pada Tabel 2.4, dan kategori risiko pada Tabel 2.5 berdasarkan klasifikasi kategori risiko dari bangunan, nilai risiko bangunan tergantung dari fungsi bangunan tersebut.

Tabel 2.3 Faktor keutamaan gempa (BSN, 2012)

Kategori Risiko	Faktor Keamanan Gempa I
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

Tabel 2.4 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa (BSN, 2012)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalann termasuk, tapi tidak dibatasi utuk antara lain <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan konstruksi kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lainnya , kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi. <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan, rumah roko dan rumah kantor - Pasar gedung dan perkantoran - Gedung apartemen dan rumah susun - Pusat perbenanjaan/ mall - Bangunan industry, fasilitas manufaktur, pabrik 	II

Tabel 2.5 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa (BSN, 2012) (lanjutan)

Gedung dan non gedung	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia ketika mengalami kegagalan, seperti :</p> <ul style="list-style-type: none"> - bioskop, - gedung pertemuan, - stadion, - fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat, - fasilitas penitipan anak, - penjara, - bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung yang tidak tergolong kedalam kategori risiko IV, yang memiliki pengaruh terhadap ekonomi yang besar dan/atau gangguan masal terhadap kehidupan masyarakat sehari hari jika terjadi kegagalan , seperti :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pusat pembangkit listrik biasa, - fasilitas penangan air, - fasilitas penanganan limbah, - pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang bukan tergolong kedalam kategori risiko IV, yang mengandung bahan beracunatau bahanpeledakyang dapat memicu bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Gedung dan non gedung yang difungsikan sebagai fasilitas yang penting, seperti :</p> <ul style="list-style-type: none"> - bangunan monumental, - gedung pendidikan, - bangunan yang memiliki bedah dan unut gawar darurat (rumah sakit), - fasilitas pemadam kebakaran, kantor polisi serta garasi kendaraan darurat, - tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin, badai dan tempat perlindungan darurat lainnya. - fasilitas kesiapam darurat komunikasi pusat operasi dan fasilitas lainya untuk tanggap darurat, - pusat pembangkit enargi dan fasilitas publik lainya, - sytuktur tambahan yang disyaratkan untuk beroperasi pada saatkeadaaan darurat. <p>Gedung dan non gedung yag dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk kedalam kategori risiko IV.</p>	IV

b. Geser dasar seismik

Gaya geser dasar V merupakan penyederhanaan dari getaran gempa bumi yang bekerja di dasar struktur yang selanjutnya digunakan sebagai dasar gempa rencana (Widodo, 2011), gaya geser akan didistribusikan secara vertikal sepanjang tinggi struktur sebagai gaya horizontal yang bekerja pada masing masing tingkat (Restu, 2013). Besar gaya geser dasar seismik statik ekuivalen tidak boleh melebihi 85% gaya dinamik, meskipun sifatnya statik namun tidak boleh murni dari prinsip statik, tetapi sudah memperhitungkan prinsip dinamik (Mulia, 2011). Berdasarkan (SNI 1726:2012) menerangkan bahwa besarnya nilai geser seismik dasar V , harus dihitung menggunakan persamaan, 2.2.

$$V = C_s \cdot W \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan;

C_s = Koefisien respon seismik

W = Berat seismik efektif

c. Koefisien modifikasi respon

Nilai koefisien modifikasi respon (R) dan koefisien kuat lebih sistem (C_d) dari sistem penahan gaya gempa yang berbeda diperbolehkan jika digunakan, untuk menahan gaya gempa pada masing-masing arah ke dua sumbu orthogonal. Nilai (R) dan (C_d) diperoleh dari Tabel 2.6 dan Tabel 2.7.

Tabel 2.6 Faktor R , C_d , dan Ω_0 (BSN, 2012)

No	Sistem Penahan Gaya Seismik	R^a	Ω_0^g	C_d
Sistem rangka pemikul momen				
1.	Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5,5
2.	Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5,5
3.	Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4
4.	Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	3
5.	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5
6.	Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5
7.	Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5
8.	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5,5

Tabel 2.7 Faktor R , C_d , dan Ω_0 (Lanjutan) (BSN, 2012)

No	Sistem Penahan Gaya Seismik	R^a	Ω_0^g	C_d
Sistem rangka pemikul momen				

9.	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4,5
10.	Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5,5
11.	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2,5
12.	Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3,5	3	3,5

d. Simpangan (*Drift*) akibat gaya gempa

Simpangan (*drift*) merupakan perpindahan antar dua lantai yang berdekatan atau perpindahan secara horizontal yang terjadi di tiap tingkat bangunan (Wesli dkk., 2017)

e. Penentuan simpangan antar lantai

Berdasarkan (SNI 1726:2012) simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa. Simpangan merupakan perpindahan (translasi dari suatu titik akibat adanya gaya yang bekerja pada sebuah struktur. Besarnya simpangan tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a).

$$\Delta_x = \frac{(\delta_{ex} - \delta_e) \cdot c_d}{I_e} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

C_d = Faktor pembesaran defleksi

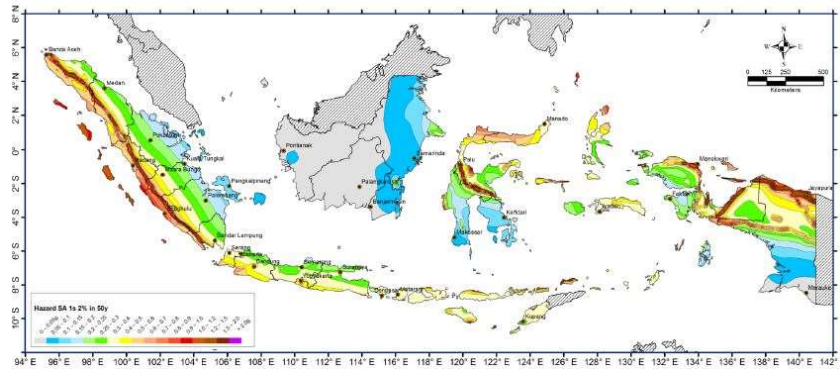
δ_{ex} = Defleksi pada titik yang di syaratkan akibat gaya gempa desain

I_e = Faktor keutamaan gempa

f. Peta Zona Gempa Indonesia

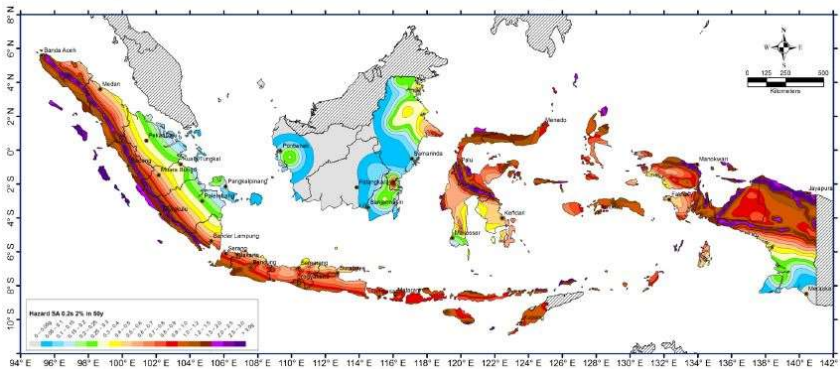
Parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s) dan percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1) ditentukan berdasarkan respon spektral percepatan dalam peta percepatan seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun .

Peta percepatan spektrum respons 1.0 detik dengan nisbah redaman 5% di batuan dasar (S_0) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun



Gambar 2.5 Peta percepatan batuan dasar periode 1 detik (S_1) (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017).

Peta percepatan spektrum respons 0.2 detik dengan nisbah redaman 5% di batuan dasar (S_0) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun



Gambar 2.6 Peta percepatan batuan dasar priode 0,2 (S_2) (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017).

g. Kelas situs

Keadaan lapisan suatu tanah dapat digolongkan menjadi beberapa kelas situs, kelas situs berfungsi untuk memberi kriteria desain seismik berupa faktor amplifikasi pada bangunan. Menurut Wangsadinata (2006), proses penentuan klasifikasi berdasarkan data tanah pada kedalaman hingga 30 m, karena menurut penelitian lapisan-lapisan tanah sampai kedalaman 30 m saja yang menentukan pembesaran gelombang gempa, sedangkan penentuan kelas situs berdasarkan SNI 1726:2012 dalam amplifikasi perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu sesuai pada Tabel 2.8 kelas situs, berdasar profil tanah lapisan 30 m paling atas.

Tabel 2.8 Kelas situs (BSN, 2012)

Kelas Situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	Tidak dapat dipakai	Tidak dapat dipakai
SB (batuan)	750 sampai 1500	Tidak dapat dipakai	Tidak dapat dipakai
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 : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40$, 3. Kuat geser niralir, $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : - rawan dan potensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - lempung sangat organik dan atau gambut (ketebalan, $H > 3$ m) - lempung berplastisitas sangat tinggi ($H > 7,5$ m, $IP > 75$) lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

Faktor percepatan pada periode pendek 0,2 detik (F_a) dan percepatan pada periode 1 detik (F_v).

Tabel 2.9 Koefisien situs F_a (BSN, 2012)

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik ss				
	$SS \leq 0,25$	$SS=0,5$	$SS=0,75$	$S=1$	$S \geq 1,25$
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				

Tabel 2.10 Koefisien situs F_v (BSN, 2012)

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik ss				
	$SS \leq 0,1$	$SS=0,2$	$SS=0,3$	$S=0,4$	$S \geq 0,5$
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	1,8	1,6	1,5
SE	2,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS				

Parameter spektrum respon percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan rumus sebagai berikut.

$$S_{MS} = F_a S_s \dots \dots \dots (2.4)$$

$$S_{M1} = F_a S_1 \dots \dots \dots (2.5)$$

dengan :

S_s = parameter respon spektra percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek 0,2 detik.

S_1 = parameter respon spektra percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik.

h. Respon spektrum

Berdasarkan SNI 1726:2012 bila sepektrum respon diperlukan oleh tatacara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik situs tidak digunakan, maka grafik spektrum respon desain harus dikembangkan dengan mengacu pada Gambar 2.7 dan mengikuti ketentuan berikut ini :

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respon percepatan desain S_a harus diambil dari persamaan ;

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots \dots \dots (2.6)$$

2. Untuk priode yang lebih besar atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s spektrum respon percepatan desain, S_a sama dengan S_{DS} .
3. Untuk periode yang lebih besar daripada T_s , spektrom respon percepatan desain, S_a diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots \dots \dots (2.7)$$

dengan :

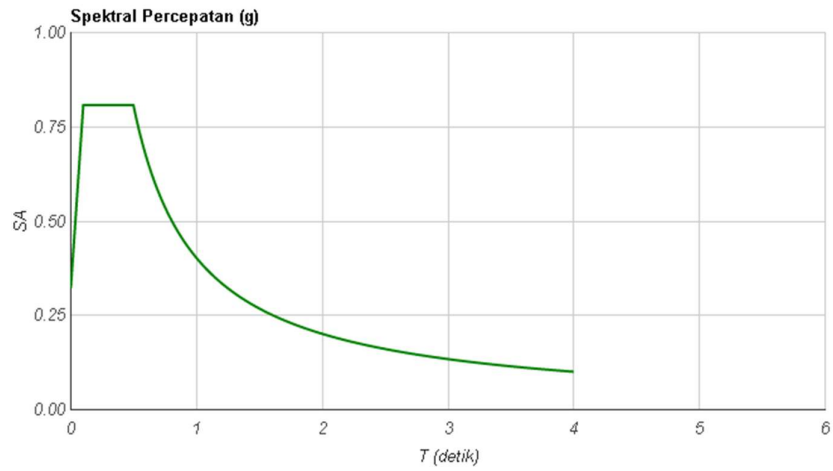
S_{DS} = Parameter respon spektral percepatan desain pada periode pendek;

S_{D1} = Parameter respon spektral percepatan desain pada 1 detik;

T = Periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots(2.9)$$



Gambar 2.7 Grafik spektrum respon (Puskim, 2010).