

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Berikut ini merupakan beberapa penelitian yang sebelumnya telah diteliti mengenai analisis perpindahan pada suatu struktur.

- a. Analisis Gaya Geser Dasar Seismik Berdasarkan SNI-03-1726-2002 dan SNI 1726:2012 pada Struktur Gedung Bertingkat (Afriandini dan Saputro, D.N., 2018).
- b. Evaluasi Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Riwayat Waktu Menggunakan Software ETABS V 9.5 (Studi Kasus : Gedung Solo Center Point) (Sari, dkk., 2013).
- c. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Analisis Dinamik Riwayat waktu Menggunakan ETABS (Studi Kasus: Hotel di Daerah Karanganyar (Anggen dkk., 2014).
- d. Study Perbandingan Analisis Respon Spektra dan Riwayat waktu untuk Desain Gedung (Bayyinah dan Faimun, 2017).
- e. *Seismic Response and Vulnerability Assessment of Representative Low, Medium and High-rise Buildings in Patna, India* (Samanta, A., dan Swain, A., 2019).
- f. Kinerja Model Struktur Gedung Lima Lantai Pada Kondisi Tanah Keras Di Wilayah Banyumas Akibat Beban Gempa SNI 03-1726-2002 Dan SNI 1726:2012 (Haryanto dkk., 2015)
- g. Evaluasi Kinerja Gaya Gempa pada Struktur Gedung Bertingkat dengan Analisis Pushover Berdasar pada Drift dan Displacement Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus: Hotel Di Wilayah Karanganyar) (Nurhadi dkk., 2014)
- h. Analisis dan Desain Struktur Beton Bertingkat Banyak Berdasarkan Perbandingan Analisis Respons Spektrum dan Dinamik Riwayat Waktu (Pratiwi dan Widodo, 2017)
- i. Evaluasi Perbandingan Simpangan Struktur SRPM Akibat Permodelan Struktur yang Berbeda (Putera dkk., 2018)

- j. Evaluasi Simpangan Struktur Akibat Penambahan Lantai dengan Metode Analisis Statik dan Dinamik Response Spectrum (Studi Kasus: Pembangunan Gedung Dekanat Fakultas Teknik UNTIRTA) (Soelarso dan Baehaki, 2017)
- k. Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat Beraturan dan Ketidak Beraturan Horizontal Sesuai SNI 1726:2012 (Purba, 2014)
- l. Perbandingan Analisa Struktur Model Portal *Open Frame*, *Bresing* dan Dinding Geser pada Struktur Gedung Beton Bertulang terhadap Beban Gempa (Agus dan Gushendra, 2015)

2.1.1. Analisis Riwayat waktu

Anggen dkk. (2014) melakukan penelitian pada gedung 18 lantai di daerah Karanganyar dilakukan menggunakan analisis dinamik dengan bantuan program ETABS dengan tujuan memperoleh kinerja struktur yang berdasarkan nilai *drift* dan *interstory drift* yang dipengaruhi gempa rencana dan gempa aktual, berbeda dengan Sari dkk. (2013) yang melakukan penelitian pada gedung 23 lantai dengan tujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur yang ditinjau berdasarkan *displacement*, *drift*, dan *base shear* menggunakan metode analisis riwayat waktu, sedangkan Bayyinah dan Faimun (2017) melakukan penelitian dengan membandingkan antara analisis respon spektra dan riwayat waktu sesuai dengan SNI 1726:2012 dalam mendesain gedung 13 lantai di daerah Padang dengan bantuan program SAP2000 untuk memodelkan struktur.

Pratiwi dan Widodo (2017) melakukan penelitian pada gedung tidak beraturan 9 lantai di wilayah Yogyakarta dengan membandingkan antara analisis respon spektrum dan analisis dinamik riwayat waktu menggunakan program ETABS, penelitian ini menggunakan beberapa rekaman gempa diantaranya gempa El Centro 1979 (frekuensi tinggi), El Centro 1940 (frekuensi menengah), dan gempa Duzce (frekuensi rendah) yang disesuaikan dengan respon spektra kota Yogyakarta. Penelitian Anggen dkk. (2014) menggunakan dua analisis dinamik sebagai pembanding yaitu riwayat waktu dan statik ekuivalen pada gempa rencananya, analisis riwayat waktu pada gempa rencana digunakan 7 gempa aktual yang telah dipilih yaitu gempa Taiwan, gempa Superstition, gempa Parkfield, gempa Northridge, gempa Imperial Valley, gempa Victoria, dan gempa Chalfant Vally, sedangkan Bayyinah dan Faimun (2017) mendesain gedung

menggunakan analisis respon spektra yang kemudian desain gedung tersebut dievaluasi menggunakan analisis riwayat waktu dengan 3 rekaman gempa dan kemudian diambil data gempa yang paling besar diantara gempa Kobe (Jepang, 1995), Imperial Valley (California, 1979), dan gempa Tabas (Iran, 1978). Sari dkk. (2013) menggunakan 4 rekaman gempa yaitu gempa El Centro, gempa Kobe, gempa Hokkaido dan gempa Sanriku yang dibantu oleh program ETABS dalam menganalisis struktur sehingga didapatkan nilai perpindahan, *base shear*, dan *drift* pada struktur tersebut jika diberikan 4 rekaman gempa.

Hasil akhir dari penelitian Anggen dkk. (2014) yaitu analisis yang diakibatkan gempa rencana memperoleh struktur aman dan termasuk dalam kategori *immediate occupancy*, sedangkan analisis yang diakibatkan gempa aktual terdapat struktur yang tidak aman yaitu pada Lantai 1 – Lantai Atap dan struktur termasuk dalam kategori *damage control* terjadi pada gempa Elcentro, Struktur tidak aman pada Lantai 10 – Lantai Atap tetapi masih termasuk dalam kategori *immediate occupancy* terjadi pada gempa Northridge, dan struktur aman termasuk dalam kategori *immediate occupancy* terjadi pada gempa Mentawai, sedangkan dari penelitian Sari dkk. (2013) didapatkan hasil dari kontrol *displacement* bahwa jika struktur gedung dianalisis dengan masing-masing rekaman gempa, maka *displacement* yang ditimbulkan masih memenuhi batas *displacement* maksimum dan hasil dari control *base shear* didapatkan hasil bahwa jika struktur gedung dianalisis dengan 4 (empat) rekaman gempa, *base shear* yang ditimbulkan memenuhi syarat *base shear* minimum dan hasil dari penelitian Bayyinah dan Faimun (2017) dengan analisis respon spektra didapatkan simpangan struktur aman dan tidak melebihi simpangan ijin, kemudian dievaluasi dengan analisis riwayat waktu dan struktur tersebut masih termasuk dalam kategori aman, akan tetapi gempa Imperial Valley pada simpangan arah x melebihi simpangan respon spektra dan simpangan arah y di beberapa lantai juga melebihi simpangan respon spektra. Hasil akhir dari penelitian Pratiwi dan Widodo (2017) diperoleh Nilai *displacement* akibat beban respons spektrum mempunyai nilai yang lebih kecil dari beban gempa dinamik riwayat waktu El Centro 1940 (frekuensi menengah), simpangan antar lantai akibat beban respons spektrum mempunyai nilai yang lebih kecil dari beban gempa El Centro 1940 (frekuensi menengah).

2.1.2. Penelitian Terdahulu dengan Analisis Perpindahan

Afriandini dan Saputro (2018) melakukan penelitian pada gedung beton bertulang 7 lantai yang diletakkan pada kelas situs tanah SD di 6 ibukota provinsi di Pulau Jawa yang berpotensi terjadinya gempa seperti kota Jakarta, Banten, Bandung, Semarang, Yogyakarta, dan Surabaya, berbeda dengan Nurhadi dkk. (2014) yang melakukan penelitian mengenai evaluasi kinerja gaya gempa pada gedung 12 lantai di wilayah Karanganyar dengan analisis *pushover* menggunakan bantuan program ETABS, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja gedung berdasarkan hubungan *base shear* dengan *displacement* pada kurva *pushover* dan kurva *seismic demand*. Pemodelan dalam penelitian Afriandini dan Saputro (2018) dibantu dengan program SAP2000 dan metode analisis menggunakan metode statik ekuivalen. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari perubahan peraturan dari SNI 03-1726-2002 menjadi SNI 1726:2012 dimana peraturan tersebut merupakan peraturan tentang ketahanan terhadap gempa di Indonesia, dengan gaya geser dasar seismik dan simpangan antar lantai sebagai tolak ukur dari penelitian ini.

Hasil dari analisis yang telah dilakukan Afriandini dan Saputro (2018) didapatkan nilai gaya geser dasar seismik dan simpangan antar lantai pada struktur yang diletakkan pada 6 kota tersebut menunjukkan nilai yang lebih besar jika menggunakan persamaan SNI 1726:2012 dibandingkan menggunakan persamaan SNI 1726:2002, sedangkan hasil akhir dari penelitian Nurhadi dkk. (2014) diperoleh struktur gedung 12 lantai di wilayah Karanganyar tersebut dinyatakan aman terhadap syarat evaluasi kinerja batas layan dan batas ultimit sesuai ATC-40. Agus dan Gushendra (2015) melakukan perbandingan analisa struktur pada gedung 7 (tujuh) lantai yang berfungsi sebagai gedung perkantoran di Padang berdasarkan SNI 1726:2012 dengan beban gempa dihitung secara analisis statik ekuivalen pemodelan struktur dalam 3D dianalisa dengan program SAP2000 Versi 14, berbeda dengan Purba (2014) yang melakukan perbandingan kinerja struktur gedung ketidakberaturan horizontal dan gedung beraturan dilihat dari *displacement*, *drift ratio*, *base shear*, level kinerja berdasarkan ATC-40, perbedaan berat beton dan tulangan, penelitian ini menggunakan metode statik ekuivalen dalam menganalisis struktur gedung dengan menggunakan bantuan

program SAP2000. Hasil penelitian Agus dan Gushendra (2015) menunjukkan bahwa simpangan antar lantai pada masing-masing model struktur masih dalam batas izin, dengan perpindahan (*displacement*) dan gaya dalam struktur open frame lebih besar dari model struktur portal yang menggunakan bresing dan dinding geser, sehingga didapatkan model struktur menggunakan bresing dan dinding geser merupakan model struktur yang efektif, karena *displacement* dan gaya dalam elemen struktur yang lebih kecil dibandingkan model struktur *open frame* dalam menahan beban gempa, sedangkan hasil penelitian Purba (2014) menunjukkan *displacement* terbesar untuk arah-x yaitu pada gedung tidak beraturan model B dimana persentase selisih terhadap gedung beraturan adalah 32,57% dan untuk arah-y yaitu gedung tidak beraturan model A dengan persentase selisih 27,45%.

2.1.3. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Lainnya

Haryanto dkk. (2015) melakukan kajian kinerja model struktur gedung 5 (lima) lantai pada kondisi tanah keras di wilayah Banyumas akibat beban gempa SNI 03-1726-2002 dan SNI 1726:2012 menggunakan program SAP2000 dengan analisis beban dorong (*pushover*), berbeda dengan Samanta dan Swain (2019) melakukan penelitian analisis kerentanan seismik terhadap bangunan beton bertulang 3 lantai, 6 lantai dan 9 lantai di Patna India menggunakan program SAP2000 dengan dan tanpa SSI (*Soil Structure Interaction*).

Hasil yang didapatkan dari penelitian Samanta dan Swain (2019) yaitu periode getaran fundamental untuk model SSI adalah 1,5 sampai 2 kali lebih tinggi dari model tanpa SSI, Puncak perpindahan total lantai yang diperoleh dari model tanpa SSI jauh lebih rendah dibandingkan dengan model SSI, akselerasi lantai puncak dan nilai percepatan lantai rata-rata yang diperoleh oleh model SSI menurun sekitar 60% dan 50%, dibandingkan dengan model tanpa SNI untuk bangunan rendah dan menengah, tapi untuk bangunan bertingkat tinggi lantai percepatan puncak dan percepatan rata-rata lantai untuk model SSI meningkat hingga 300% dan 50%, secara berurutan dibandingkan dengan model tanpa SSI, sedangkan hasil yang didapatkan dari penelitian Haryanto dkk. (2015) menunjukkan bahwa terjadi peningkatan gaya geser dasar sebesar 1,48% pada model struktur gedung saat tercapai titik kinerja (*performance point*),

displacement yang terjadi mengalami peningkatan sebesar 19,61% sedangkan daktilitas mengalami penurunan sebesar 43,14% dan kinerja model struktur gedung tidak mengalami perubahan yaitu tetap pada level Immediate Occupancy dimana tidak terdapat kerusakan yang berarti pada struktur, kekuatan dan kekakuannya kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa.

Soelarso dan Baehaki (2017) melakukan evaluasi simpangan struktur pada gedung 3 lantai yang dilakukan *re-design* dengan penambahan 3 lantai di atasnya menggunakan metode analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik repon spektrum dengan bantuan program ETABS, berbeda dengan Putera dkk. (2018) yang melakukan evaluasi perbandingan simpangan struktur SRPM 10 lantai dengan tiga model struktur yang berbeda yaitu 1 model struktur tanpa dinding geser, dan 2 model struktur dengan dinding geser (model dinding geser *solid element* dan model dinding geser *line element*), penelitian ini menggunakan analisis respon spektrum dan dibantu dengan program SAP2000.

Hasil dari penelitian Soelarso dan Baehaki (2017) menunjukkan simpangan maksimum yang terjadi sebesar 298,65 mm akibat beban gempa arah X, 249,59 mm akibat beban gempa arah Y, nilai simpangan tersebut telah melampaui batas simpangan yang diizinkan yaitu sebesar 186 mm, sehingga struktur existing tidak mampu menahan beban yang bekerja akibat penambahan lantai sesuai standar perancangan SNI 1726:2012, sedangkan hasil dari penelitian Putera dkk. (2018) menunjukkan bahwa akibat dari perbedaan cara pemodelan elemen struktur maka akan terjadi perbedaan pada perioda getar struktur, gaya geser dasar dan gaya-gaya dalam, perbedaan juga terjadi pada lamanya waktu *run analysis* pada program analisa struktur.

2.2. Dasar Teori

Penelitian ini menggunakan beberapa standarisasi dan spesifikasi yang terdapat pada peraturan Standar Nasional Indonesia (SNI), beberapa buku, serta beberapa jurnal yang berkaitan dengan penelitian ini.

2.2.1. Gempa Bumi

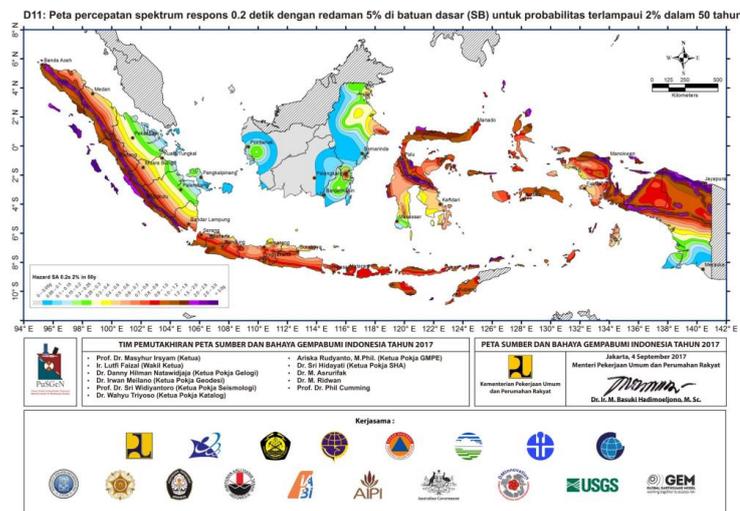
Gempa bumi didefinisikan sebagai getaran yang bersifat alamiah, terjadi pada lokasi tertentu, dan sifatnya tidak berkelanjutan (Suharjanto,2013). Menurut Bayyinah dan Faimun (2017) gempa bumi adalah suatu gerakan yang terjadi

secara tiba-tiba dipermukaan bumi yang diakibatkan adanya energi dalam bumi yang menciptakan gelombang kesegala arah. Gelombang yang terbentuk dari gempa bumi ini mempunyai energi sehingga membuat permukaan bumi bergetar dan berpengaruh terhadap struktur bangunan yang ada di atasnya.

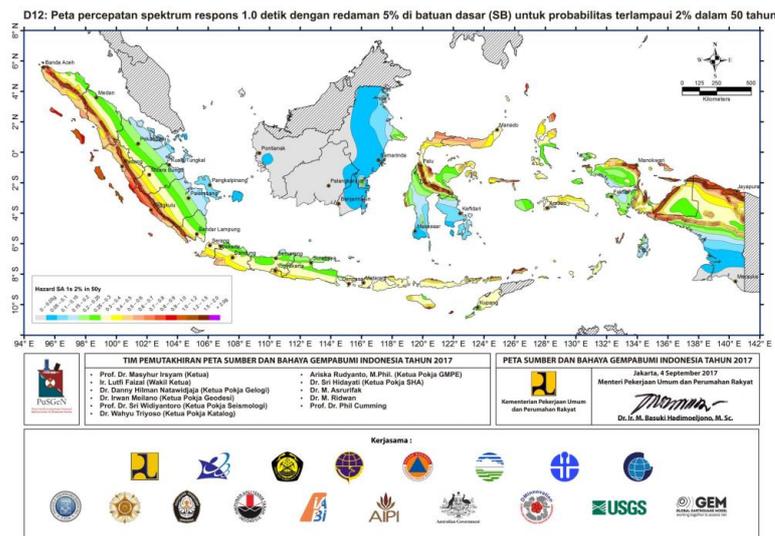
Gempa bumi secara umum diartikan sebagai getaran yang terjadi pada permukaan tanah, akibat dari aktivitas tektonik, gunung berapi, tanah longsor, tebing batu, dan bahan peledak. Dari penyebab-penyebab tersebut, gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas tektonik yang terjadi secara alami merupakan getaran terbesar dan menjadi penyebab utama kerusakan struktur (Chen dan Lui, 2006).

2.2.2. Peta Gempa 2017

Peta Gempa 2017 ini digunakan untuk mencari percepatan respons pendek (S_s) dan percepatan respons 1 detik (S_1) yang nantinya digunakan untuk menentukan beban gempa.



Gambar 2.1 Peta percepatan spektrum respons 0.2 detik dengan redaman 5% di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)



Gambar 2.2 Peta percepatan spektrum respons 1.0 detik dengan redaman 5% di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

2.2.3. Parameter percepatan gempa (terpetakan)

Parameter S_s adalah percepatan batuan dasar pada periode pendek dan S_1 adalah percepatan batuan dasar pada periode 1 detik, harus ditetapkan masing-masing dari respon spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gempa dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi (BSN, 2012).

2.2.4. Pembebanan

Struktur bangunan yang kokoh, aman, ekonomis, dan memiliki durabilitas yang direncanakan, maka dalam merancanginya harus memenuhi beberapa syarat seperti persyaratan pembebanan yang telah diatur dalam SNI 1727:2013. Beban-beban tersebut diantaranya sebagai berikut.

a. Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian suatu struktur bangunan yang bersifat tetap, termasuk beban tambahan seperti beban finishing, peralatan tetap, serta mesin-mesin yang menyatu terhadap struktur tersebut. Beban mati ini akan membebani struktur selama struktur tersebut masih berdiri.

Tabel 2.1 Berat Sendiri Bahan Gedung (BSN, 1989)

MATERIAL BANGUNAN	BEBAN (kg/m ³)
Baja	7.850
Batu alam	2.600
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1.500
Batu karang (berat tumpuk)	700
Batu pecah	1.450
Besi uang	7.250
Beton	2.200
Beton bertulang	2.400
Kayu (kelas 1)	1.000
Kerikil, koral, (kering udara sampai lembab, tanpa di	1.650
Pasangan bata merah	1.700
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2.200
Pasangan batu cetak	2.200
Pasangan batu karang	1.450
Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600
Pasir (jenuh air)	1.800
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.850
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000
Timah hitam (timbel)	11.400

Tabel 2.2 Berat Sendiri Komponen Gedung (BSN, 1989)

KOMPONEN GEDUNG	BAHAN (kg/m ²)
Adukan, per cm tebal :	
dari semen	21
dari kapur, semen merah atau tras	17
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14
Dinding pasangan bata merah	
satu batu	450
setengah batu	250
Dinding pasangan batako :	
Berlubang :	
tebal dinding 20 cm (HB 20)	200
tebal dinding 10 cm (HB 10)	120
Tanpa lubang :	
tebal dinding 15 cm	300
tebal dinding 10 cm	200
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya tanpa penggantungan)	
Langit-langit atau pengaku, terdiri dari :	
Semen asbes (etemit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11
kaca, dengan tebal maksimum 3-5 mm	10

Tabel 2.3 Berat Sendiri Komponen Gedung (BSN, 1989) (lanjutan)

KOMPONEN GEDUNG	BAHAN (kg/m ²)
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan	40
Bentang maksimum 5 m dan beban hidup maksimum 200 kg/m ²	
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m	7
Dan jarak s.k.s minimum 0,8 m	
Penutup atap genteng dengan reng dan rusuk/kaso, per m ² bidang atap	50
Penutup atap sirap dengan reng dan rusuk/kaso per m ² bidang atap	40
Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa rusuk	10
Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24

b. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang berasal dari pengguna atau penghuni bangunan atau struktur tersebut, termasuk beban-beban dari barang-barang atau mesin yang dapat berpindah, tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan seperti beban hujan, beban angin, beban gempa, beban banjir, ataupun beban mati. Berdasarkan SNI 1727:2013 beban lantai untuk gedung perkantoran digunakan beban sebesar 2,4 kN/m², untuk lobi dan koridor pada lantai pertama digunakan beban sebesar 4,79 kN/m², untuk koridor diatas lantai pertama digunakan beban sebesar 3,83 kN/m², dan untuk beban atap sebesar 100 kg/m².

c. Beban Angin

Beban angin disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara yang bekerja pada gedung atau bagian gedung. Angin menimbulkan beban tekanan dan hisapan terhadap bangunan.

d. Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung dan menirukan pengaruh gerakan tanah akibat gempa yang terjadi (PPURG, 1987). Beban gempa menimbulkan gaya-gaya vertikal, horizontal, atau kombinasi antara gaya vertikal dan gaya horizontal.

2.2.5. Analisis Gempa menurut SNI 1726:2012

a. Kategori Risiko Struktur Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Menurut SNI 1726:2012 kategori risiko bangunan dibagi menjadi 4 berdasarkan fungsi atau pemanfaatan suatu bangunan. Berikut ini tabel kategori risiko struktur bangunan.

Tabel 2.4 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa (BSN, 2012)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen - Pusat perbelanjaan - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</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 	III
<p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penangan air 	

Tabel 2.5 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk
Beban Gempa (BSN, 2012) (lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas Manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p> <p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasikendaraan darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasikendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Kategori-kategori risiko bangunan pada Tabel 2.4 dan Tabel 2.5 memiliki faktor keutamaan gempa yang digunakan sebagai pengali dalam perhitungan beban gempa. Tabel 2.6 berikut menunjukkan hubungan kategori risiko gempa dengan faktor keutamaan gempa.

Tabel 2.6 Hubungan Kategori Risiko (BSN, 2012)

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I & II	1,0
III	1,25
IV	1,50

b. Klasifikasi Situs

Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium. Kelas situs atau jenis tanah ini pun berpengaruh pada beban gempa yang diterima oleh struktur bangunan. Beban gempa yang diterima oleh bangunan akan semakin besar jika tanah yang dipijaki gedung tersebut semakin buruk. Berikut pada Tabel 2.7 merupakan hubungan nilai parameter kemampuan tanah dengan klasifikasi situs.

Tabel 2.7 Klasifikasi Situs (BSN, 2012)

Kelas Situs	v_s (m/detik)	N atau N_{ch}	s_u (kPa)
SA (batuan keras)	Kurang dari 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	> 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 – 50	50 - 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, $w > 40\%$
3. Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa

Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:

- Rawan dan berpotensi 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 dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$)

SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs)

Lapisan lempung lunak dengan ketebalan $H > 35$ m.

c. Penentuan Respons Spektral

Penentuan nilai respons spektral sangat diperlukan dalam mendesain sebuah struktur bangunan, seperti respon spektral pada percepatan periode pendek 0,2 detik dan respons spektral pada percepatan periode 1 detik. Nilai respons

spektral ini dapat dilihat pada peta gempa, SNI 1726:2012, atau pada situs Kementerian Pekerjaan Umum Bagian Pusat Pengembangan dan Penelitian Permukiman.

Parameter respons spektral percepatan gempa didapatkan dari perkalian antara faktor amflikasi seismik masing-masing periode dari hubungan parameter respons spektral percepatan gempa dengan kelas situs seperti pada Tabel 2.8 dan Tabel 2.9 dengan respon spektrum percepatan yang sudah didapatkan dari peta gempa 2017.

$$S_{MS} = F_a S_s \dots\dots\dots(2.1)$$

$$S_{MI} = F_v S_I \dots\dots\dots(2.2)$$

Tabel 2.8 Koefisien Situs, F_a (BSN, 2012)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s > 1,25$
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 2.9 Koefisien Situs, F_v (BSN, 2012)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan pada perioda 1 detik, $T = 1$ detik, S_I				
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I > 0,25$
SA	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
SB	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
SC	1,70	1,60	1,50	1,40	1,30
SD	2,40	2,00	1,80	1,60	1,50
SE	3,50	3,20	2,80	2,40	2,40
SF			SS		

Catatan :

- a) Untuk nilai S_s dan S_I yang tidak terdapat pada Tabel 2.8 dan Tabel 2.9 dapat dicari menggunakan cara interpolasi linier.

- b) Kelas situs SF merupakan situs yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Nilai S_{MS} , S_{MI} yang sudah diperoleh dari persamaan di atas kemudian digunakan untuk menentukan parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek 0,2 detik (S_{DS}) dan perioda 1 detik (S_{DI}) seperti persamaan berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \dots\dots\dots (2.4)$$

Hasil dari perhitungan parameter percepatan spektral desain di atas digunakan untuk menentukan nilai spektrum respons desain sesuai langkah-langkah sebagai berikut.

- 1) Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , S_a , diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}\right) \dots\dots\dots (2.5)$$

- 2) Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_S ;

$$\text{Spektrum respons percepatan desain } S_a = S_{DS}$$

- 3) Untuk perioda lebih besar dari T_S , S_a dihitung dengan persamaan:

$$S_a = \frac{SD1}{T} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

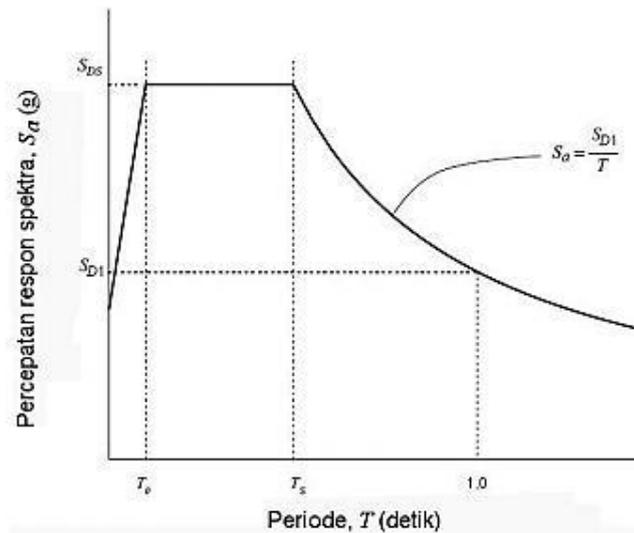
S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain perioda pendek (0,2 detik)

S_{DI} = Parameter respons spektral percepatan desain perioda 1 detik

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$T_S = \frac{SD1}{SDS} \dots\dots\dots (2.8)$$

Nilai spektrum respons desain tersebut dapat digambarkan dalam sebuah grafik respons spektral yaitu grafik dari hubungan perioda getaran dengan percepatan respons spektral seperti Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Spektrum respons desain (BSN, 2012)

d. Kategori Desain Seismik

Suatu struktur bangunan harus ditetapkan kategori desain seismiknya, dengan ketentuan kategori sebagai berikut:

- 1) Struktur bangunan dengan kategori risiko I, II, atau III dengan nilai $S_I \geq 0,75$ ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik *E*.
- 2) Struktur bangunan dengan kategori resiko IV dengan nilai $S_I \geq 0,75$ harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik *F*.

Struktur bangunan yang tidak termasuk dalam ketentuan kategori di atas, jenis kategori seismiknya harus dicari berdasarkan hubungan nilai S_{DS} , S_{D1} dengan kategori risiko seperti pada Tabel 2.10 dan Tabel 2.11 berikut.

Tabel 2.10 Hubungan Nilai S_{DS} dengan Kategori Risiko pada Periode Pendek 0,2 detik (BSN, 2012)

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

Tabel 2.11 Hubungan Nilai S_{DI} dengan Kategori Risiko pada Periode 1 detik (BSN, 2012)

Nilai S_{DI}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 1,33$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

e. Pemilihan Sistem Struktur

Suatu struktur harus memiliki sistem penahan gaya gempa lateral maupun vertikal dasar, dan struktur tersebut juga harus sesuai dengan batasan tinggi struktur dari hubungan kategori desain gempa dengan sistem struktur yang dapat dilihat pada Tabel 2.12 dan 2.13. Tabel tersebut hanya diambil sebagian sesuai dengan kebutuhan penelitian, untuk tabel kategori bangunan lengkap dapat dilihat pada SNI 1726:2012.

Tabel 2.12 Sistem Penahan Gaya Gempa (BSN, 2012)

Sistem penahan gaya gempa	R_a	Ω_0	C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur (m)					
				B	C	D	E	F	
A Sistem dinding penumpu									
1 Dinding geser beton bertulang khusus	5	2,5	5	TB	TB	48	48	30	
2 Dinding geser beton bertulang biasa	4	2,5	4	TB	TB	TI	TI	TI	
3 Dinding geser beton polos didetail	2	2,5	2	TB	TI	TI	TI	TI	
B Sistem Rangka									
1 Dinding geser beton bertulang khusus	6	2,5	5	TB	TB	48	48	30	
2 Dinding geser beton bertulang biasa	5	2,5	4,5	TB	TB	TI	TI	TI	
3 Dinding geser pracetak menengah	5	2,5	4,5	TB	TB	12	12	12	
C Sistem rangka pemikul momen									
1 Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB	
2 Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4	TB	TB	10	TI	TI	

Tabel 2.13 Sistem Penahan Gaya Gempa (BSN, 2012) (lanjutan)

Sistem penahan gaya gempa	R_a	Ω_0	C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur (m)					
				TB	TB	TI	TI	TI	TI
3 Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	3	TB	TB	TI	TI	TI	TI
D Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus									
1 Dinding geser beton bertulang khusus	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB	TB
2 Dinding geser beton bertulang biasa	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI	TI

Catatan : TB = tidak dibatasi ; TI = tidak diijinkan

f. Prosedur Analisis

Analisis beban gempa didasarkan pada SNI 1726:2012 yang memberikan batasan mengenai prosedur analisis atau metode yang diijinkan. Pada Tabel 2.14 dan Tabel 2.15 berikut dapat dilihat hubungan antara kategori desain seismik dan karakteristik struktur, sebagai acuan untuk melakukan prosedur yang diijinkan.

Tabel 2.14 Prosedur Analisis/Metode yang Diijinkan (BSN, 2012)

Kategori Desain Seismik	Karakteristik Struktur	Analisis Gaya lateral ekivalen	Analisis spektrum respons ragam	Prosedur riwayat respons seismik
B, C	Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II, dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Semua struktur lainnya	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Struktur beraturan dengan $T < 3,5T_s$ dan semua struktur dari konstruksi rangka ringan	I	I	I

Tabel 2.15 Prosedur Analisis/Metode yang Diiijinkan (BSN, 2012) (lanjutan)

Kategori Desain Seismik	Karakteristik Struktur	Analisis Gaya lateral ekuivalen	Analisis spektrum respons ragam	Prosedur riwayat respons seismik
	Struktur tidak beraturan dengan $T < 3,5 T_s$ dan mempunyai hanya ketidakteraturan horizontal Tipe 2, 3, 4, atau 5 atau ketidakteraturan vertikal Tipe 4, 5a, atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Keterangan : I = Diiijinkan ; TI = Tidak Diiijinkan

g. Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen

Geser dasar seismik

Gaya geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan, ditentukan pada persamaan berikut.

$$V = C_s \cdot W \dots\dots\dots(2.9)$$

dengan,

V = Gaya geser dasar seismik

C_s = Koefisien respons seismik

W = Berat seismik efektif

Perhitungan Koefisien Respons Seismik

Koefisien respons seismik (C_s), ditentukan sesuai dengan persamaan berikut.

$$C_s = S_{DS}/(R/I_e) \dots\dots\dots(2.10)$$

$$C_s = S_{D1}/(T(R/I_e)) \dots\dots\dots(2.11)$$

$$C_{s \min} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots(2.12)$$

Untuk struktur yang berada di wilayah dimana $S_I \geq 0,6g$ harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0,5S_I/(R/I_e) \dots\dots\dots(2.13)$$

dengan,

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang perioda 0,2 detik

S_{D1} = Parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang perioda 1 detik

R = Faktor modifikasi respons

I_e = Faktor keutaman gempa

T = Periode fundamental gedung (detik)

h. Penentuan Periode

Periode fundamental struktur (T) tidak boleh lebih dari hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) yang didapat dari Tabel 2.16. Periode fundamental pendekatan (T_a) ditentukan dengan persamaan berikut.

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \dots\dots\dots(2.14)$$

Catatan :

h_n adalah ketinggian struktur (meter), dan untuk nilai C_t dan x dapat diperoleh dari Tabel 2.17.

Tabel 2.16 Hubungan Percepatan Respons Spektral dengan Nilai C_u (BSN, 2012)

Parameter percepatan respon spektral desain pada periode 1 detik, S_{DI}	Koefisien C_u
$\geq 0,40$	1,40
0,30	1,40
0,20	1,50
0,15	1,60
$\leq 0,10$	1,70

Tabel 2.17 Hubungan Tipe Struktur dengan Nilai C_t dan \times (BSN, 2012)

Tipe Struktur	C_t	\times
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi/dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,80
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,90
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

i. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Nilai-nilai total gaya gempa lateral yang didapatkan, kemudian dilakukan pendistribusian beban ke plat lantai yang ditentukan dengan persamaan 2.15

dengan koefisien distribusi vertikal gaya gempa ditentukan dengan persamaan 2.16.

$$F_x = C_{vx} V \dots\dots\dots(2.15)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots\dots\dots(2.16)$$

dengan,

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal

V = Gaya geser struktur (kN)

h_i dan h_x = Tinggi tingkat i atau x yang diukur dari dasar struktur (m)

w_i dan w_x = Berat seismik efektif total struktur (W)

k = Eksponen yang berkaitan pada struktur, untuk perioda $\leq 0,5$ detik digunakan $k = 1$, untuk perioda sebesar $\geq 2,5$ digunakan $k = 2$, dan untuk perioda antara 0,5 dan 2,5 detik nilai k ditentukan dengan cara interpolasi.

j. Penentuan Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) bisa dihasilkan dari software SAP2000. Simpangan antar lantai tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin (Δ_a) menurut kategori risiko struktur tersebut seperti yang ditunjukkan Tabel 2.18 berikut.

Tabel 2.18 Simpangan Antar Lantai Ijin (BSN, 2012)

Tipe struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat/kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	0,025 h_{sx}	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever dengan batu bata	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser dengan batu bata lainnya	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

Catatan : h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat x

2.2.6. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pengaruh beban gempa horizontal dalam pembebanan struktur dipengaruhi oleh faktor redundansi (ρ), dimana ada 2 jenis faktor tersebut yaitu sebagai berikut. SNI 1726:2012.

- a. Untuk ρ diijinkan sebesar 1,0 struktur dengan kategori desain seismik *B* atau *C*.
 - 1). Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh *P-delta*;
 - 2). Desain komponen nonstruktural;
 - 3). Desain elemen kolektor dan sambungan lewat;
 - 4). Beban diafragma;
 - 5). Struktur menggunakan sistem peredam;
 - 6). Desain dinding struktural terhadap gaya keluar bidang.
- b. Untuk (ρ) diijinkan sebesar 1,3 struktur dengan kategori desain seismik *D*, *E* atau *F* kecuali satu dari dua kondisi ini terpenuhi, dimana ρ diijinkan sebesar 1,0.
 - 1). Untuk masing-masing setiap tingkat struktur yang menahan > 35% geser dasar yang ditinjau;
 - 2). Struktur dengan desain beraturan di semua tingkat dengan sistem penahan gaya gempa paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya gempa yang merangka pada setiap sisi bangunan arah ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar.

Pengaruh beban gempa horizontal (E_h) dan pengaruh beban gempa vertikal (E_v) ditentukan dengan persamaan 2.17 dan persamaan 2.18 sebagai berikut.

$$E_h = Q_E \rho \dots\dots\dots (2.17)$$

$$E_h = 0,2 S_{DS} D \dots\dots\dots (2.18)$$

dengan,

ρ = Faktor redundansi

Q_E = Pengaruh gaya gempa horizontal dari gaya dasar (V)

D = Pengaruh beban mati/*dead load*

Untuk bangunan yang tidak menggunakan beban banjir, kombinasi dasar beban seismik desains kekuatan ditentukan persamaan 2.19 dan 2.20 sebagai berikut.

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + Q_E \rho + L \dots\dots\dots (2.19)$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + Q_E \rho + 1,6H \dots\dots\dots (2.20)$$

Dengan catatan :

- 1) Untuk beban hidup/*live load* merata semua hunian $\leq 5 \text{ kN/m}^2$ kecuali garasi dan ruang pertemuan.
- 2) Faktor beban H ditetapkan sama dengan nol, apabila bangunan akibat H berlawanan aksi struktur akibat E , jika tidak berlawanan tekanan tersebut harus dimasukkan dalam tahanan desain.

2.2.7. Penentuan Koefisien Pegas (*Springs*) pada SAP2000

Koefisien *Springs* ini digunakan sebagai data untuk *joint spring* pada SAP2000. *Joint springs* ini diasumsikan sebagai pondasi telapak yang biasanya digunakan pada bangunan bertingkat rendah, kedalaman pondasi telapak yang digunakan dalam penelitian ini ialah sedalam 2 meter. Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam penentuan koefisien pegas (*springs*).

a. Penentuan nilai SPT

SPT (*Standard Penetration Test*) yaitu suatu percobaan dinamis yang berasal dari Amerika Serikat yang dilapangan biasa disebut dengan “Bor Mesin” (Terzaghi, 1943). Pada penelitian ini nilai SPT didapatkan dari SNI 1726:2012 seperti pada Tabel 2.19 berikut.

Tabel 2.19 Klasifikasi Situs (BSN, 2012)

Kelas situs	v_s (m/detik)	N atau N_{ch}	s_u (kPa)
SA (batuan keras)	Kurang dari 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	> 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 – 50	50 - 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50

b. Penentuan Nilai Daya Dukung Tanah

Gunawan (2014) melakukan pengujian tentang korelasi nilai CPT dan SPT pada lokasi ring road utara Yogyakarta, dimana pengujian ini menghasilkan suatu angka korelasi seperti persamaan berikut.

$$Q_u = 4,5769 N \dots\dots\dots (2.21)$$

dengan,

Q_u = daya dukung tanah

N = Nilai SPT

c. Penentuan Konstanta Pegas Vertikal

Pondasi yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk persegi, sehingga dibutuhkan penentuan diameter pondasi guna menentukan konstanta pegasnya.

Penentuan diameter pondasi sesuai dengan persamaan berikut.

$$A_p = P \times L \dots\dots\dots(2.22)$$

$$D = \sqrt{(4 A_p) \times \pi} \dots\dots\dots(2.23)$$

dengan,

A_p = Luas pondasi

P = Panjang Pondasi

L = Lebar Pondasi

D = Diameter Pondasi

π = phi (3,14)

Setelah didapatkan besar diameter pondasinya, kemudian menentukan konstanta pegasnya dengan persamaan sebagai berikut (Winkler, 1867).

$$E_p = 4700 \sqrt{f c'} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$S = \frac{D}{100} + \frac{Q_u \cdot L}{A_p \cdot E_p} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$K_p = \frac{Q_u}{S} \dots\dots\dots(2.26)$$

dengan,

E_p = Modulus elastisitas

S = *Corresponding settlement* dari pondasi

K_p = Konstanta pegas vertikal

Persamaan-persamaan diatas digunakan untuk mencari konstanta pegas vertikal (K_p).

d. Konstanta Pegas Horizontal

Konstanta pegas horizontal dapat ditentukan sesuai dengan persamaan berikut ini (Terzaghi, 1943).

$$K_h = \frac{E}{I_p (1-v^2)B} \dots\dots\dots(2.27)$$

dengan,

K_h = Konstanta pegas horizontal

E = Modulus elastisitas

I_p = Koefisien bentuk (untuk lingkaran, $I_p = 0,79$)

ν = *Poisson's Ratio* tanah

Nilai modulus elastisitas (E) dan *Poisson's ratio* (ν) dibutuhkan untuk mencari nilai konstanta pegas horizontal seperti pada persamaan diatas. Nilai-nilai tersebut dapat ditentukan berdasarkan tabel dibawah ini.

Tabel 2.20 Perkiraan modulus elastis (Bowles, 1977)

Macam Tanah	E (kN/m ²)
Lempung:	
Sangat Lunak	300-3000
Lunak	2000-4000
Sedang	4500-9000
Keras	7000-20000
Berpasir	30000-42500
Pasir:	
Berlanau	5000-20000
Tidak Padat	10000-25000
Padat	50000-100000
Pasir dan kerikil:	
Padat	80000-200000
Tidak Padat	50000-140000
Lanau	2000-20000
Loess	15000-60000
Serpih (<i>shales</i>)	140000-1400000

Tabel 2.21 Perkiraan rasio poisson (Bowles, 1977)

Macam Tanah	μ
Lempung jenuh	0,40 – 0,50
Lempung tak jenuh	0,10 – 0,30
Lempung berpasir	0,20 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasir Padat	0,20 – 0,40
Pasir kasar ($e = 0,4 - 0,7$)	0,15
Pasir halus ($e = 0,4 - 0,7$)	0,25
Batu	0,10 – 0,40
<i>Loess</i>	0,10 – 0,30
Beton	0,15