

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Pada penelitian yang dilakukan ini tidak terlepas dari penelitian-penelitian sebelumnya yang mengkaji suatu ketahanan struktur gedung terhadap gempa bumi untuk kemudian menjadi referensi bagi penulis dalam melakukan penelitian ini, yang dirangkum sebagai berikut :

Tajunnisa dkk. (2014) melakukan penelitian dengan judul “Perbandingan Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung Tahan Gempa antara Metode SRPMM dan SRPMK”. Penelitian tersebut bertujuan membandingkan struktur bangunan 3 lantai beton bertulang tahan gempa dengan metode sistem rangka pemikul momen menengah dan khusus pada wilayah gempa IV. Metode penelitian yang dilakukan berupa pemodelan, analisa dan evaluasi kinerja dilakukan dengan menggunakan *pushover analysis* dengan program bantu SAP2000. Dimensi yang digunakan pada masing-masing sistem rangka pemikul momen direncanakan sama. Perhitungan struktur antara kedua metode tersebut menghasilkan perbedaan pada luasan tulangan dan persamaan pada nilai daktilitas struktur serta faktor reduksi. Luasan tulangan SRPMM lebih besar dibanding SRPMK. Nilai daktilitas struktur ( $\mu\Delta$ ) = 3,36 dan faktor reduksi (R) = 5,37. Pada persyaratan SNI 03-1726-2002 untuk SRPMM adalah ( $\mu\Delta$ ) = 3,50 dan R = 5,50. Sedangkan untuk SRPMK adalah ( $\mu\Delta$ ) = 5,20 dan R = 8,5. Jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dengan syarat SNI 03-1726-2002, hasil yang didapat menunjukkan bahwa nilai daktilitas dan faktor reduksi pada SRPMM memenuhi persyaratan, sedangkan pada SRPMK tidak memenuhi persyaratan.

Refani dkk. (2015) melakukan penelitian dengan judul “Evaluasi Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang Berusia 50 Tahun Berdasarkan SNI 1726 2002 dan SNI 2847 2013”. Penelitian tersebut bertujuan mengkaji kelayakan bangunan gedung beton bertulang berusia 50 tahun berdasarkan standar perencanaan bangunan terbaru. Studi kasus dilakukan untuk Gedung Cipta yang terletak di Merdeka Barat, Jakarta. Dari hasil analisa struktur yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa struktur Gedung Cipta masih tergolong aman untuk menerima

beban gravitasi. Namun tidak memenuhi persyaratan sistem rangka pemikul momen khusus dari SNI 2847 2013 yang digunakan pada daerah dengan resiko gempa cenderung tinggi seperti di Jakarta. Selain itu, bangunan yang telah berusia 50 tahun cenderung didesain untuk menerima beban gravitasi dan minim memperhitungkan kapasitas gedung dalam menerima beban lateral (gempa).

Fauzan dkk. (2016) melakukan penelitian dengan judul “Evaluasi Ketahanan Gempa Pada Struktur Gedung X Di Jakarta Berdasarkan SNI 03-1726-2012”. Penelitian dilakukan untuk mengkaji kemandirian struktur menurut standar yang baru. Metode penelitian berupa pemodelan struktur dengan program *ETABS*. Analisis beban gempa menggunakan grafik respon spektrum dari prosedur analisis respon spektrum ragam. Nilai desain percepatan respons spektra diperoleh dari hasil analisa *website* Aplikasi Desain Spektra Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman (PUSKIM), Kementerian Pekerjaan Umum. Berdasarkan hasil analisis pembebanan gempa dinamik spektrum respons ragam pada arah-x dan y diperoleh bahwa nilai gaya geser dasar spektrum respons ragam ( $V_t$ ) lebih besar dari 85 persen gaya geser dasar respons ragam pertama melalui prosedur statik ekuivalen lateral ( $V_1$ ). Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana telah memenuhi persyaratan SNI 03-1726-2012. Hasil analisis pembebanan gempa dinamik respon spektrum pada Gedung X menunjukkan bahwa nilai *story drift maximum* atau simpangan maksimum kinerja batas ultimum arah-x sebesar 68,60 mm dan arah-y sebesar 101,20 mm. Hasil analisis pembebanan gempa dinamik spektrum respons ragam menyatakan bahwa Gedung X yang berlokasi di Jakarta tersebut, belum memenuhi syarat (aman) terhadap kinerja batas ultimum atau simpangan antar lantai tingkat yang diizinkan ( $\Delta a$ ) yaitu  $0,007h_{sx}$ .

Putra dkk. (2016) melakukan penelitian dengan judul “Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 2 Tingkat Beton Bertulang Dengan Atap Baja Ringan Menggunakan Analisis Statik *Pushover*”. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur yang telah berfungsi terhadap beban gempa dengan memperhatikan interaksi tanah dengan struktur yang akan dievaluasi kinerjanya menurut ATC-40 (*Applied Technology Council*) dan SNI 03-1726-2012 dengan parameter tinjauan adalah besar gaya geser dasar yang mampu dipikul oleh struktur,

simpangan antar lantai yang terjadi, faktor daktilitas dan faktor reduksi gempa aktual serta mekanisme keruntuhan yang terjadi. Bangunan yang menjadi studi kasus berupa gedung sekolah yang telah berfungsi dan menggunakan atap baja ringan. Analisis yang dilakukan berupa analisis *pushover* dengan menggunakan program SAP2000 V15. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa desain eksisting struktur gedung sekolah tidak memenuhi persyaratan desain struktur beton bertulang menurut SNI 03-28472002 pasal 23 mengenai sistem struktur rangka pemikul momen khusus untuk struktur pada wilayah gempa kuat dengan kategori risiko IV, yang kemudian dilakukan desain ulang dan hasil dari desain ulang yang dilakukan telah memenuhi persyaratan SNI 03-2847-2002 pasal 23 dengan memperbesar dimensi penampang dari komponen struktur dan menambah luas tulangan lentur dan juga geser. Struktur gedung sekolah dengan desain akhir juga telah memberikan kinerja yang diharapkan setelah dilakukan evaluasi. Struktur rangka baja ringan masih bertahan sampai dengan struktur beton bertulang mengalami kegagalan/*collapse* dengan nilai gaya geser dasar yang bekerja pada saat struktur beton bertulang mengalami *collapse* adalah sebesar 2386,498 KN. Berdasarkan nilai *Performance Point* diketahui tingkat kinerja dari struktur dengan disain akhir berada pada kondisi *Immediate Occupancy* (IO) yang artinya tidak terjadi kerusakan yang berarti pada struktur yang mana struktur dapat tetap berfungsi setelah akhir gempa rencana.

Ghaffar dkk. (2015) melakukan penelitian dengan judul “Perencanaan Ulang Struktur Gedung Tahan Gempa Menggunakan Metode Dinding Geser Yang Mengacu Pada SNI 1726-2012 Pada Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya”. Pada Penelitian tersebut dilakukan perencanaan ulang struktur gedung dekanat fakultas teknik Universitas Brawijaya yang terdiri dari delapan lantai dengan tujuan untuk memperoleh besarnya momen, gaya lintang dan gaya lateral yang akan digunakan untuk menghitung luas tulangan dan dimensi elemen struktur balok, kolom dan dinding geser. Konsep perencanaan yang digunakan adalah *ultimate strength method*, dimana beban bekerja pada elemen struktur dinaikkan secukupnya dengan beberapa faktor reduksi untuk mendapatkan beban yang mana keruntuhan dinyatakan “telah diambang pintu” atau biasa disebut juga dengan beban berfaktor. Pada perencanaan ulang ini dilakukan beberapa perubahan

terhadap desain awal yaitu perubahan desain gedung, dimensi elemen struktur, dan dinding geser. Perencanaan tulangan lentur dan tulangan geser dibatasi pada Portal E yang dianggap telah mewakili portal yang lainnya. Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa pada perencanaan ulang Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang menggunakan metode dinding geser yang mengacu pada peraturan gempa terbaru SNI – 1726 – 2012 dipilih sebagai alternatif desain untuk memperhitungkan bahwa gedung tersebut juga dapat menerima gaya lateral yang diakibatkan oleh gempa yang dikombinasikan dengan peraturan struktur beton SNI – 03 – 2847 – 2002. Pemilihan metode desain dinding geser sebagai alternatif desain bangunan juga menghasilkan gedung yang kuat dan aman karena sebagian gaya lateral sebagian besar diterima oleh dinding geser. Dengan adanya pendetailan pada elemen-elemen struktur baik balok, kolom, dinding geser dan hubungan balok kolom diharapkan mampu memperkecil kemungkinan kerusakan pada bangunan yang diakibatkan oleh gaya lateral tersebut. Pada perencanaan ulang ini dilakukan perubahan desain gedung struktur aktual terhadap dimensi elemen struktur balok, kolom, serta penambahan dinding geser pada Portal A dan Portal F.

Afifuddin dkk. (2017) melakukan penelitian dengan judul “*The Behaviour of Reinforced Concrete Structure Due to Earthquake Load Using Time History Analysis Method*”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengamati respon dari struktur beton bertulang terhadap beberapa jenis beban gempa serta melihat kinerja struktur setelah beban gempa diterapkan. Penelitian dilakukan pada sebuah hotel yang terletak di simpang lima kota Banda Aceh. Hotel tersebut terbuat dari struktur beton bertulang dengan ketinggian 34,95m dengan total luas bangunan 8872,5m<sup>2</sup>. Kekuatan tekan beton adalah 30Mpa, kekuatan tarik untuk tulangan utama adalah 400Mpa, sedangkan untuk tulangan geser adalah 240Mpa. Penelitian menggunakan metode *Time History Analysis* dengan bantuan *software STERA 3D V.7.1*. Dalam penelitiannya, struktur hotel diberikan 4 jenis beban gempa yakni, gempa El-centro, Irpinia, Kobe, Chi-chi, yang kemudian dari hasil yang didapatkan bisa disimpulkan bahwa respon struktur hotel tersebut masih memenuhi kriteria SNI 1726-2012 dan aman terhadap keempat jenis beban gempa yang diterapkan. Nilai *displacement* terbesar untuk arah X adalah 56,64cm dan pada arah Y adalah 62,24cm dimana

nilai tersebut kurang dari 87,4cm sebagaimana dipersyaratkan dalam SNI 1726-2012. Lalu untuk penyimpangan terbesar dari arah X adalah 9,74cm diantara lantai dasar dan lantai pertama, nilai tersebut kurang dari 11,30cm sebagaimana dipersyaratkan dalam SNI 1726-2012. Sedangkan nilai geser terbesar di arah X adalah 15.830 kN, dan dalam arah Y 14.160 kN, nilai-nilai tersebut lebih besar dari 4.280,02 kN sebagaimana dipersyaratkan oleh SNI.

Soltysik dan Jankowski (2015) melakukan penelitian dengan judul “*Building Damage Due to Structural Pounding During Earthquakes*”. Penelitian tersebut bertujuan untuk menunjukkan hasil analisis numerik *non-linier* dan berfokus pada kerusakan akibat ketukan antara dua bangunan baja di bawah eksitasi gempa. Analisis numerik dilakukan menggunakan model struktur asimetris baja dengan jumlah lantai yang berbeda yang membuat mereka bergetar keluar-fase, waktu percepatan gempa bumi El Centro digunakan dalam analisis numerik. Hasil dari penelitian ini jelas menunjukkan bahwa menumbuk secara substansial dapat mempengaruhi respon bangunan baja yang meningkatkan kerusakan mereka selama gempa bumi.

Masagala dan Ma'arif (2016) melakukan penelitian dengan judul “Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Berlantai 4: Studi Kasus Gedung Baru Kampus 1 Universitas Teknologi Yogyakarta”. Tujuan dari penelitian yang dilakukan tersebut antara lain adalah untuk memperhitungkan beban gravitasi dan beban rencana yang bekerja, mengetahui dimensi kolom dan balok yang mampu menahan beban gempa rencana yang bekerja serta menentukan formasi penulangan balok dan kolom dari hasil analisis dengan menggunakan sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM). Metode penelitian yang dilakukan berupa pemodelan struktur dengan menggunakan program bantu berupa *software* SAP2000 V11. Dari hasil analisis struktur menggunakan program bantu *software* SAP2000 V11 diperoleh gaya-gaya dalam berupa momen ultimit ( $M_u$ ) dan gaya geser ultimit ( $V_u$ ), kemudian untuk perencanaan balok, diperhitungkan akibat momen positif pada daerah lapangan balok dan momen negatif pada daerah tumpuan balok yang kemudian diperoleh tulangan tarik dan tekan. Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode SRPMM, perencanaan struktur yang mencakup

dimensi dan formasi penulangan balok dan kolom telah memenuhi syarat dan aman terhadap tinjauan dilapangan.

Adeswastoto dkk. (2017) melakukan penelitian dengan judul “Evaluasi Kerentanan Bangunan Gedung Terhadap Gempa Bumi Berdasarkan ASCE 41-13”. Penelitian tersebut dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kerentanan bangunan gedung terhadap gempa bumi pada Gedung Menara Lancang kuning, Pekanbaru. Metode penelitian yang dilakukan berupa evaluasi visual pada bangunan gedung yang ditinjau berdasarkan ASCE 41-13. Empat poin utama dari hasil penelitian tersebut, yakni konfigurasi dasar *immediate occupancy*, evaluasi struktural *immediate occupancy* untuk bangunan tipe C1: beton konstruksi rangka, evaluasi struktural *immediate occupancy* untuk bangunan tipe C2: beton konstruksi dinding geser dengan diafragma dan C2a: beton konstruksi dinding geser dengan diafragma fleksibel, serta evaluasi non-struktural menunjukkan bahwa bangunan gedung memenuhi tingkat kinerja sesuai dengan ASCE 41-13. Sehingga secara keseluruhan evaluasi dapat disimpulkan bahwa Gedung Menara Lancang Kuning tahan terhadap gempa dengan tingkat kinerja *Immediate Occupancy*.

Syamsi (2018) melakukan penelitian dengan judul “Respon Model Gedung Beton Bertulang dengan Penambahan Dinding Pengisi Terhadap Beban Gempa”. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui respon gedung beton bertulang dengan penambahan dinding pengisi terhadap beban gempa pada gedung KH. Ibrahim di Daerah Istimewa Yogyakarta. Metode penelitian berupa pemodelan struktur dengan memodelkan gedung KH. Ibrahim (*twin building*) menggunakan program numerik 3 dimensi dengan 2 model *open frame* (struktur portal tanpa dinding) dan *infill frame* (struktur portal dengan dinding pengisi). Hasil analisis dengan bantuan program numerik diambil sebanyak 18 mode shape, karena pada mode shape ke-18 syarat rasio partisipasi massa sebesar 90% terpenuhi pada masing-masing sumbu utama struktur (SNI 1726:2012 Pasal 7.9.1). Diperoleh nilai periode getar struktur pada model open frame lebih besar dari pada periode getar yang dihasilkan model infill frame. Sebaliknya nilai frekuensi yang dihasilkan pada model open frame justru lebih kecil daripada frekuensi yang dihasilkan pada model infill frame. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan dinding pengisi pada model gedung mampu menambah kekakuan struktur. Berdasarkan hasil analisis

dapat diperoleh kesimpulan bahwa gedung KH Ibrahim yang terletak di Daerah Istimewa Yogyakarta masih dalam kondisi aman dengan nilai interstory drift pada kedua model yang ditinjau (open dan infill frame) masih belum melewati batas ijinnya yaitu 1%. Adanya penambahan dinding pengisi berpengaruh cukup besar terhadap nilai gaya geser dan simpangan yang terjadi. Dinding pengisi yang ditambahkan pada model struktur meningkatkan kekakuan gedung sehingga mampu memperkecil nilai simpangan yang terjadi. Tercatat dalam hasil penelitian bahwa nilai simpangan terbesar yang dihasilkan oleh model open frame hampir sama dengan 6 kali simpangan yang terjadi pada model infill frame. Sementara itu, bertambahnya kekakuan gedung berbanding lurus dengan besaran gaya geser yang terjadi dan berdasarkan hasil penelitian diperoleh hasil bahwa rasio terbesar antara gaya geser dasar pada model open frame terhadap gaya geser pada infill frame adalah sebesar 0,24. Dengan kata lain nilai base shear pada model infill frame adalah sebesar 4,2 kali lipat base shear pada model open frame.

Tidke dkk. (2016) melakukan penelitian dengan judul “*Analysis of Infilled Wall Frame for Evaluation of Multiplication Factor*”. Pada penelitian tersebut dilakukan analisa seismik pada struktur gedung bertingkat dengan atau tanpa dinding pengisi menggunakan metode respon spektrum dan *time history*. Metode penelitian yang dilakukan berupa pemodelan struktur dan analisis dilakukan untuk jenis model yang berbeda, ada empat jenis struktur yang dimodelkan yakni, *bare frame*, *infill frame*, *masonry infill wall* dengan 1 *soft story*, dan *masonry infill wall* dengan 2 tingkat *soft story* dengan dinding dibuat menggunakan metode “*Equivalent Diagonal Strut*”. Hasil analisis mereka menyimpulkan bahwa struktur portal beton bertulang dengan pasangan dinding dengan atau tanpa *soft story* memiliki nilai *base shear* lebih tinggi dari pada portal *bare frame*, keberadaan pasangan dinding (*masonry infill wall*) mempengaruhi perilaku seismik dari struktur portal, pasangan dinding menyebabkan kenaikan pada kekuatan dan kekakuan struktur dan *drift maximum* pada struktur dengan *infill wall* lebih kecil daripada *drift* pada model *bare frame*.

Faizah (2015) melakukan penelitian dengan judul “Studi Perbandingan Pembebanan Gempa Statik Ekuivalen dan Ddinamik *Time History* pada Gedung Bertingkat di Yogyakarta”. Dalam penelitian tersebut dilakukan analisis terhadap

dua metode yang berbeda dalam pembebanan gempa yakni pembebanan gempa statik ekuivalen dan dinamik *time history* pada gedung bertingkat di wilayah Yogyakarta dengan variasi jumlah tingkat: 5, 10, 15, 20, 25 dan 30. Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah analisis dinamik *time history* menggunakan program *Matlab* dan analisis statik ekuivalen mengikuti aturan dalam SNI 1726-2012. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa hasil perhitungan dari analisis statik ekuivalen lebih akurat pada gedung tingkat 5 karena memberikan persyaratan lebih besar dalam perancangan struktur dibandingkan dengan analisis dinamik *time history*, sedangkan pada analisis statik ekuivalen pada struktur bertingkat 10 atau lebih dianggap tidak akurat karena memberikan persyaratan lebih kecil dalam perancangan struktur dibandingkan dengan analisis *time history*.

Anggraini dan Dewi (2016) melakukan penelitian dengan judul “Evaluasi Desain Struktur Gedung Office 5 Lantai dan Basement Pemuda City Walk Pekanbaru Terhadap Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2012”. Dalam penelitian tersebut peneliti melakukan evaluasi desain struktur berupa evaluasi *detailing* komponen struktur dan *strong column weak beam* (SCWB) gedung office Pemuda City Walk yang meliputi persyaratan geometri, tulangan lentur dan tulangan transversal pada kolom apakah sudah memenuhi persyaratan agar mampu menerima gaya dalam yang diakibatkan oleh gempa bumi berdasarkan SNI 1726-2012. Penelitian dilakukan dengan metode penelitian studi literatur yang menggunakan data-data sekunder berupa gambar perencanaan, terutama gambar detail struktur gedung, data pengujian tanah, data pengujian beton dan dalam kegiatan penelitian mengacu pada SNI 1726-2012 dan SNI 03-2847-2002. Dari hasil analisa perhitungan, didapatkan gaya geser dasar gempa ( $V$ ) yang dipikul oleh struktur gedung Office 5 Lantai dan Basement Pemuda City Walk Pekanbaru sebesar 120,176 ton. Berdasarkan hasil analisa menggunakan SNI 03-2847-2002, *detailing* komponen struktur kolom pada setiap portal yang ditinjau yang meliputi geometri, tulangan lentur, dan tulangan geser telah memenuhi persyaratan di mana gaya-gaya yang bekerja pada struktur lebih kecil dari gaya-gaya yang direncanakan. Selain itu juga diperoleh nilai-nilai momen nominal maksimal kolom ( $M_e$ ) lebih besar dari  $6/5$  momen nominal balok ( $6/5M_g$ ) pada setiap kolom dan balok yang saling bertemu disetiap portal yang ditinjau, sehingga telah memenuhi persyaratan

Strong Column Weak Beam (SCWB). Maka dapat disimpulkan bahwa desain struktur gedung Office 5 Lantai dan Basement Pemuda City Walk Pekanbaru yang meliputi komponen struktur balok dan kolom telah memenuhi persyaratan dan aman dalam menerima beban gempa yang terjadi berdasarkan SNI 03-1726-2012 dan SNI 03-2847-2002.

Safira dkk. (2018) melakukan penelitian dengan judul “Analisis Pengaruh Beban Gempa pada Gedung Tiga Lantai Menggunakan Metode Statik Ekuivalen”. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk melakukan evaluasi pengaruh beban gempa pada struktur gedung sekolah tiga lantai di daerah Lampung Barat. Pengaruh gempa yang ditinjau mencakup dimensi, tulangan dan defleksi struktur dengan membandingkan terhadap gedung tanpa beban gempa. Metode penelitian berupa analisis beban gempa menggunakan metode statik ekuivalen dengan bantuan program SAP2000. Hasil dari penelitian tersebut memperlihatkan bahwa perhitungan seluruh kebutuhan tulangan pada pelat, balok, kolom, fondasi *bore pile*, *sloof* dan *pile cap* pada struktur dengan beban gempa 283,3267% lebih banyak dibandingkan dengan gedung tanpa beban gempa yang dilihat dari jumlah As tulangan pada masing-masing struktur. Perencanaan dimensi pada struktur tanpa beban gempa menghasilkan dimensi balok 250 x 450 mm, kolom 350 x 350 mm, fondasi *bore pile* diameter 70 cm, *sloof* 250 x 450 mm dan *pile cap* 1600 mm. Sedangkan dimensi struktur dengan beban gempa menghasilkan dimensi yang lebih besar dengan ukuran kolom 600 x 600 mm, fondasi *bore pile* diameter 80 cm dan *pile cap* 1800 mm.

Bayyinah dan Faimun (2017) melakukan penelitian dengan judul “Studi Perbandingan Analisis Respon Spektra dan *Time History* untuk Desain Gedung”. Menurut Bayyinah dan Faimun (2017) pengaruh gempa bumi rencana pada struktur bertingkat dengan ketinggian lebih dari 10 tingkat atau 40 m harus ditinjau sebagai pengaruh beban dinamik dan analisisnya harus didasarkan pada analisis dinamis mengacu pada SNI 1726-2012 maka dalam penelitian tersebut peneliti melakukan analisis gempa dinamik respon spektra dan *time history* untuk mengetahui seberapa besar perbedaannya. Metode penelitian yang dilakukan berupa pemodelan struktur dengan program bantuan SAP2000 dan kemudian dilakukan analisis struktur (respon spektra dan analisis linier *time history*). Data gempa untuk *time history*

menggunakan tiga rekaman gempa yaitu gempa Kobe tahun 1995, Imperial Valley tahun 1979 dan Tabas tahun 1978. Hasil studi menunjukkan adanya perbedaan antara kedua analisis tersebut. Nilai base shear respon spektra lebih besar dibandingkan analisis linier time history. Presentase penurunan nilai base shear dari 3 (tiga) gempa dengan analisis linier time history terhadap respon spektra yaitu sebesar 4,69 % Kobe - x ; 11,32% Kobe -y; 62,4 % Imperial Valley - x ; 83,046 % Imperial Valley - y; 8,1 % Tabas -x dan 12,1 % Tabas - y. Hasil simpangan dengan respon spektra aman terhadap simpangan ijin, kemudian dievaluasi dengan analisis linier time history masih dalam kategori aman tapi pada simpangan arah - x, gempa imperial valley melebihi simpangan respon spektra dan arah y di beberapa lantai melebihi respon spektra. Data simpangan menunjukkan bahwa gempa imperial valley menyebabkan simpangan terbesar dari ketiga gempa yang ditinjau.

Wantalantie dkk. (2016) melakukan penelitian dengan judul “Analisa Statik dan Dinamik Gedung Bertingkat Banyak Akibat Gempa Bumi Berdasarkan SNI 1726-2012 dengan Variasi Jumlah Tingkat”. Penelitian tersebut bertujuan untuk membandingkan dua metode analisis dalam pembebanan gempa yakni analisis statik (analisis statik ekuivalen) dan dinamik (spektrum respons ragam) untuk mengetahui metode yang lebih optimal dalam merencanakan struktur gedung tahan gempa. Metode penelitian berupa pemodelan struktur menggunakan program bantu SAP2000 V18. Model struktur dibagi kedalam portal 5 tingkat, 10 tingkat dan 15 tingkat. Hasil penelitian yang dibandingkan adalah *displacement* antar tingkat dan *base shear* yang terjadi akibat gaya gempa. Hasil analisa telah menunjukkan bahwa analisa statik mengeluarkan hasil yang lebih besar untuk ketiga model struktur dibandingkan dengan analisa dinamik. Perbedaan *displacement* antar tingkat yang dihasilkan oleh kedua metode pada ketiga model struktur masih masuk dalam batasan *displacement* antar tingkat ijin yang disyaratkan dalam SNI 1726-2012, sehingga ketiga model masih bisa dianalisa dengan analisa statik dan analisa dinamik. Karena hasil *displacement* dan *base shear* pada analisa statik lebih besar dari analisa dinamik, maka analisa statik lebih aman jika digunakan untuk pembebanan gaya gempa dalam perhitungan struktur secara umum. Walaupun dalam analisa gempa, analisa dinamik merupakan analisa yang lebih akurat karena proses analisa yang lebih mendekati ke keadaan yang sebenarnya.

## **2.2. Dasar Teori**

### **2.2.1. Gempa Bumi**

Menurut undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana menyebutkan definisi bencana yakni peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan oleh faktor alam dan/atau faktor non alam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda dan dampak psikologis. Dalam undang-undang tersebut juga menyebutkan definisi bencana alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan dan tanah longsor.

Penelitian ini difokuskan pada bencana alam gempa bumi dimana penulis melakukan perencanaan struktur gedung sekolah yang direncanakan dapat beradaptasi dengan gaya lateral yang ditimbulkan oleh gempa bumi sehingga struktur gedung tidak mengalami kegagalan struktur yang berarti. Sebagaimana telah disebutkan dalam undang-undang bahwa gempa bumi merupakan bencana alam, gambaran daripada gempa bumi itu sendiri merupakan suatu bencana alam yang disebabkan oleh perilaku alam, misalnya pergerakan lempeng bumi, ataupun letusan gunung merapi, karena pada dasarnya gempa bumi merupakan getaran yang terjadi pada permukaan bumi dan disebabkan oleh proses pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Gelombang seismik itu sendiri adalah rambatan energi yang terjadi karena adanya gangguan di dalam kerak bumi, seperti yang telah disebutkan yakni karena adanya patahan ataupun ledakan. Energi tersebut kemudian akan merambat ke seluruh bagian bumi dan dapat terekam oleh seismometer.

Dampak dari gempa bumi itu sendiri berupa kerugian, kerugian dari aspek kemanusiaan, lingkungan dan infrastruktur/fasilitas, hingga materi. Kerugian bagi manusia bisa berupa kehilangan tempat tinggal, meninggalkan rasa trauma, bahkan untuk kemungkinan terburuk dari bencana gempa bumi adalah dapat merenggut korban jiwa. Tidak sedikit kejadian dari tahun ke tahun bahwa gempa bumi telah banyak merenggut korban jiwa. Sedikitnya sepanjang tahun 2017-2018, korban

yang dinyatakan meninggal dan/atau hilang tercatat sampai dengan bulan Mei 2018 pada situs resmi Badan Nasional Penanggulangan Bencana adalah sebanyak 159 orang dari 87 kejadian gempa bumi, 3.813 lainnya luka-luka, 210.145 terdampak dan mengungsi. Untuk dampak terhadap lingkungan terutama perumahan dan infrastruktur atau fasilitas yang ada yakni sebanyak 15.521 unit rumah rusak berat, 9.576 rusak sedang dan sebanyak 30.049 lainnya rusak ringan. Sedangkan jumlah kerusakan fasilitas kesehatan adalah sebanyak 458 unit, jumlah kerusakan fasilitas peribadatan sebanyak 714 unit dan sebanyak 1.900 fasilitas pendidikan juga mengalami kerusakan, dengan jumlah kerusakan yang terjadi itu, maka kerugian materi bukan hal yang dapat dipungkiri lagi. Melihat jumlah korban hingga kerusakan yang disebabkan oleh gempa bumi yang terhitung tidak sedikit tersebut seharusnya resiko kerugian-kerugian itu dapat diperkecil dari segi keilmuan teknik sipil. Salah satu cara mengantisipasi ataupun meminimalisir resiko kerugian yang ditimbulkan oleh kejadian gempa bumi adalah dengan merancang gedung tahan gempa yang dapat beradaptasi dengan gaya lateral akibat gempa bumi.

### **2.2.2. Gedung Tahan Gempa**

Sesuai dengan penamaannya yakni gedung tahan gempa maka struktur gedung tersebut dirancang sedemikian rupa, sehingga struktur gedung dianggap kuat dan dapat beradaptasi dengan gaya lateral akibat gempa bumi tanpa mengalami kerusakan berarti dan jika terjadi gempa bumi dengan kekuatan tinggi hingga melebihi kapasitas gedung dalam menahan beban gempa yang direncanakan, diharapkan struktur gedung atau bangunan tidak mengalami keruntuhan secara langsung melainkan secara perlahan sehingga memberi waktu bagi penghuni gedung untuk menyelamatkan diri. Adapun persyaratan bangunan tahan gempa menurut kementerian PU-Badan Penelitian dan Pengembangan Pemukiman diantaranya adalah sebagai berikut :

- a. bangunan harus terletak diatas tanah yang stabil (kering, padat dan merata kekerasannya).
- b. denah bangunan sebaiknya sederhana, simetris atau seragam. Namun apabila terpaksa harus membuat bangunan dengan bentuk denah U, T, L

atau yang serupa dan tidak simetris maka bisa dilakukan pemisahan struktur (dilatasi).

- c. fondasi harus diletakkan di atas tanah keras, sebaiknya fondasi terletak lebih dari 45cm dari tanah asli. Fondasi juga dibuat menerus keliling bangunan tanpa terputus.
- d. keseluruhan kerangka bangunan harus terikat dengan kokoh dan kaku.

Dalam penelitian ini difokuskan dalam perencanaan gedung tahan gempa yang difungsikan sebagai gedung sekolah untuk wilayah kota Yogyakarta. Selain peraturan yang telah disebutkan diatas, adapun beberapa kriteria yang harus diperhatikan mengenai bangunan atau gedung sekolah tahan gempa, menurut Buku Pedoman Teknis Bangunan Sekolah Tahan Gempa bahwa tingkat keamanan bangunan minimum yang terjadi pada bangunan sekolah harus setara dengan bangunan gedung yang masuk dalam kategori bangunan tahan gempa, yaitu memenuhi kondisi sebagai berikut :

- a. bila terkena gempa bumi yang lemah, bangunan sekolah tersebut tidak mengalami kerusakan sama sekali.
- b. bila terkena gempa bumi sedang, bangunan sekolah tersebut boleh rusak pada elemen-elemen non-struktural (dinding, plafon, penutup atap, dll) tetapi tidak boleh rusak pada elemen-elemen struktural.
- c. bila terkena gempa bumi yang sangat kuat, bangunan sekolah tersebut dapat mengalami suatu kondisi, yakni :
  - 1) bangunan sekolah tidak mengalami keruntuhan baik sebagian maupun keseluruhan,
  - 2) bangunan sekolah tidak boleh mengalami kerusakan yang tidak dapat diperbaiki,
  - 3) bangunan sekolah boleh mengalami kerusakan, tetapi kerusakan yang terjadi dapat diperbaiki dengan cepat sehingga dapat berfungsi kembali.

Sedangkan ketentuan-ketentuan dasar dalam perencanaan bangunan sekolah tahan gempa diantaranya adalah :

- a. tata letak bangunan harus memenuhi konfigurasi struktur bangunan yang sederhana dan simetris pada seluruh bagian bangunan, tidak boleh terlalu panjang. Dan apabila denah bangunan tidak simetris, maka denah tersebut

harus dipisahkan dengan alur pemisah atau diberi spasi  $\pm 10$  cm agar menjadi denah yang simetris.

- b. distribusi berat bangunan sekolah harus merata.
- c. struktur bangunan yang direncanakan harus sederhana, karena struktur yang sederhana akan tahan pada kondisi gempa bumi yang keras.
- d. tinggi bangunan sekolah sebaiknya tidak melebihi empat kali lebar bangunan.
- e. struktur bangunan sekolah sebaiknya monolit atau menggunakan bahan bangunan yang sama karena pada saat gempa terjadi akan memberikan kontribusi terhadap kekakuan dan kekuatan struktur bangunan secara keseluruhan.
- f. fondasi harus berada pada tanah yang keras dan sekuat mungkin, tidak boleh berada pada kondisi tanah yang berbeda, sehingga tidak akan menyebabkan patahan pada saat gempa.
- g. pengawasan pada saat pelaksanaan pembangunan bangunan sekolah agar sesuai dengan spesifikasi perencanaan.

Adapun beberapa kriteria minimum yang harus dipenuhi dari bangunan gedung bertingkat dengan struktur beton bertulang, diantaranya :

- a. kekuatan tekan beton minimum  $175 \text{ kg/cm}^2$  atau  $15 \text{ MPa}$  dan kekuatan tarik baja  $2400 \text{ kg/cm}^2$ .
- b. diameter tulangan sengkang minimum baik untuk balok maupun kolom adalah  $8 \text{ mm}$ , jarak sengkang dan luas tulangan atas dan tulangan bawah dari balok dan plat harus dihitung berdasarkan peraturan yang berlaku, begitu juga untuk luas tulangan untuk kolomnya.
- c. pada setiap penampang balok dan kolom harus terpasang minimum empat batang besi tulangan.

### **2.2.3. Pembebanan (SNI 1727-2012)**

Pada peraturan pembebanan SNI 1727-2012 untuk komponen elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus dirancang sesuai dengan kekuatan rencana bahkan melebihi dari yang direncanakan. Berikut adalah kombinasi-kombinasi beban terfaktor :

- a.  $1,4 D$
- b.  $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- c.  $1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
- d.  $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- e.  $1,2 D + 1,0 E + L + 0,2 S$
- f.  $0,9 D + 1,0 W$
- g.  $0,9 D + 1,0 E$

Dimana :

- D = Beban mati
- L = Beban hidup
- R = Beban hujan
- E = Beban gempa
- W = Beban angin

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, diantaranya adalah dinding, lantai, atap, plafon, tangga, komponen arsitektural dan struktural lainnya. Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan.

Beban hujan adalah beban hidup terbagi merata diakibatkan oleh air hujan yang biasa diperhitungkan untuk beban pada atap. Beban air hujan ini nilainya sebesar  $(40-0,8\alpha)$  kg/m<sup>2</sup>, dimana  $\alpha$  adalah sudut kemiringan atap, dengan ketentuan beban tersebut tidak diambil lebih besar dari 20 kg/m<sup>2</sup> dan tidak perlu dihitung jika kemiringan atap lebih besar dari 50°.

Beban angin adalah beban yang bekerja pada bagian gedung yang disebabkan oleh tekanan udara. Berikut adalah langkah-langkah untuk menentukan beban angin pada SPBAU untuk bangunan gedung tertutup, tertutup sebagian dan terbuka dari semua ketinggian :

- a. menentukan kategori risiko bangunan gedung atau struktur lain, dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kategori risiko bangunan dan struktur lainnya untuk beban banjir, angin, salju, gempa dan es (SNI 1727, 2013)

Penggunaan atau Pemanfaatan Fungsi Bangunan Gedung dan Struktur	Kategori resiko
Bangunan gedung dan struktur lain yang merupakan risiko rendah untuk kehidupan manusia dalam kejadian kegagalan.	I
Semua bangunan gedung dan struktur lain kecuali mereka terdaftar dalam kategori risiko I, III dan IV.	II
Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan risiko besar bagi kehidupan manusia. Bangunan gedung dan struktur lain, tidak termasuk dalam risiko kategori IV (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang manufaktur, proses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat seperti bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan peledak) yang mengandung zat beracun atau mudah meledak- dimana kuantitas material melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup untuk menimbulkan suatu ancaman kepada publik jika dirilis.	III
Bangunan gedung dan struktur lain yang dianggap sebagai fasilitas penting. Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan bahaya besar bagi masyarakat. Bangunan gedung dan struktur lain (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang memproduksi, memproses, menangani- menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia berbahaya, atau limbah berbahaya) yang berisi jumlah yang cukup dari zat yang sangat	IV

---

beracun dimana kuantitas melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup menimbulkan ancaman bagi masyarakat jika dirilis. Bangunan gedung dan struktur lain yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi dari kategori risiko IV struktur lainnya.

---

- b. menentukan kecepatan angin dasar ( $V$ ), disesuaikan dengan lokasi bangunan gedung.
- c. menentukan parameter-parameter beban angin :
- 1) faktor arah angin ( $K_d$ ), dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Faktor arah angin,  $K_d$  (SNI 1727, 2013)

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin, ( $K_d$ ).
Bangunan gedung	
Sistem penahan beban angin utama	0,85
Komponen dan klading bangunan gedung	0,85
Atap lengkung	0,85
Cerobong asap, tangki dan struktur yang sama	
Segi empat	0,90
Segi enam	0,95
Bundar	0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0,85
Papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85
Rangka batan menara	
Segitiga, segi empat, persegi panjang	0,85
Penampang lainnya	0,95

- 2) kategori eksposur :  
berikut adalah kategori-kategori eksposur :

- a) kategori eskposur B untuk bangunan gedung dengan tinggi atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 30 ft (9,1 m), untuk daerah perkotaan dan pinggiran kota, daeran berhutan atau daerah lain dengan penghalang berjarak dekat yang memiliki ukuran untuk tempat tinggal keluarga tunggal atau lebih besar, berlaku diarah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1500 ft (457 m). Sedangkan untuk bangunan dengan ketinggian atap rata-rata lebih dari 30 ft (9,1 m), eskposur B berlaku jika kekasaran permukaan berada dalam arah lawan angin untuk jarak lebih dari 2600 ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan, dipilih yang paling besar.
- b) kategori eksposur C berlaku untuk semua kasus yang tidak termasuk pada kategori eksposur B atau eksposur D. Eksposur C berada pada dataran terbuka dengan penghalang tersebar yang memiliki tinggi kurang dari 30 ft (9,1 m), mencakup daerah terbuka datar dan padang rumput.
- c) kategori eksposur D berlaku pada area datar, area tidak terhalang dan permukaan air, berisi lumpur halus, padang garam dan es tak terputus. Eksposur D ini berlaku pada arah lawan angin untuk jarak lebih dari 5000 ft (1524 m) atau 20 kali tinggi bangunan, dipilih yang paling besar. Eskposur D ini juga berlaku jika kekasaran permukaan tanah segera lawan angin dari situs B atau C dan situs yang berada dalam jarak 600 ft (183 m) atau 20 kali tinggi bangunan, dipilih yang paling besar.
- 3) faktor topografi, ( $K_{zt}$ ).

Efek peningkatan kecepatan harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin desain dengan menggunakan faktor  $K_{zt}$ .

$$K_{zt} = (1 + K_1 + K_2 + K_3)^2$$

Keterangan :

$K_1$  dilihat pada Tabel 2.3.

$$K_2 = \left(1 - \frac{|x|}{\mu Lh}\right), \text{ lihat Tabel 2.3.}$$

$$K_3 = e^{-yz/Lh}, \text{ lihat Tabel 2.3.}$$

$H$  = tinggi bukit atau tebing relatif terhadap elevasi kawasan di sisi angin datang.

$L_h$  = jarak horizontal pada sisi angin datang, dari puncak bukit atau tebing sampai setengah tinggi bukit atau tebing.

$x$  = jarak dari puncak ke gedung.

$z$  = ketinggian di atas elevasi tanah.

$\gamma$  = faktor atenuasi ketinggian.

$\mu$  = faktor atenuasi horizontal.

Tabel 2.3 Parameter peningkatan kecepatan angin (SNI 1727, 2013).

Parameter untuk peningkatan kecepatan di atas bukit dan tebing						
Bentuk bukit	$K_1/(H/L_h)$			$\gamma$	$\mu$	
	Eksposur				Sisi angin datang dari puncak	Sisi angin pergi dari puncak
	B	C	D			
Bukit memanjang 2-dimensi (atau lembah dengan negatif $H$ dalam $K_1/(H/L_h)$ )	1,30	1,5	1,55	3	1,5	1,5
Tebing 2-dimensi	0,75	0,85	0,95	2,5	1,5	4
Bukit simetris 3-dimensi	0,95	1,05	1,15	4	1,5	1,5

Apabila kondisi situs dan lokasi gedung dan struktur bangunan lain tidak memenuhi semua kondisi maka  $K_{zt} = 1,0$ .

4) faktor efek tiupan angin, ( $G$ ).

Untuk faktor efek tiupan angin pada suatu bangunan gedung dan struktur kaku lainnya diambil nilai sebesar 0,85.

5) koefisien tekanan internal ( $GC_{pi}$ ), dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Koefisien tekanan internal (SNI 1727, 2013).

Klasifikasi ketertutupan	$GC_{pi}$
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+0,55
Bangunan gedung tertutup	-0,55
Bangunan gedung tertutup	+0,18
Bangunan gedung tertutup	-0,18

- 6) menentukan koefisien eksposur tekanan velositas ( $K_z$  atau  $K_h$ ).

Untuk menentukan koefisien eksposur tekanan velositas dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$K_z = 2,01(Z/Z_g)^{2/a} \text{ untuk } 15 \text{ ft} \leq z \leq z_g$$

$$K_z = 2,01(15/Z_g)^{2/a} \text{ untuk } z \geq 15 \text{ ft}$$

Untuk nilai  $\alpha$  dan  $z_g$  dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Konstanta eksposur daratan (SNI 1727, 2013).

Eksposur	$\alpha$	$Z_g$ (ft)	$\hat{a}$	$\hat{b}$	$\bar{\alpha}$	$\bar{b}$	c	$\ell$ (ft)	$\Xi$	$z_{min}$ (m)*
B	7,0	365,76	1/7	0,84	1/4,0	0,45	0,30	97,54	1/3,0	9,14
C	9,5	274,32	1/9,5	1,00	1/6,5	0,65	0,20	152,4	1/5,0	4,57
D	11,5	213,36	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80	0,15	198,12	1/8,0	2,13

- 7) menentukan tekanan velositas dengan persamaan sebagai berikut :

$$q = 0,613K_zK_{zt}K_dV^2(N/m^2), V \text{ dalam } (m/s^2)$$

- 8) menentukan koefisien tekanan eksternal, dilihat pada Tabel 2.6 dan Tabel 2.7.

Tabel 2.6 Koefisien tekanan pada dinding,  $C_p$  (SNI 1727, 2013).

Koefisien tekanan dinding, $C_p$			
Permukaan	L/B	$C_p$	Digunakan dengan
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	$q_z$
Dinding di sisi angin pergi	0 – 1	- 0,5	$q_h$
	2	- 0,3	
	$\geq 4$	- 0,2	
Dinding tepi	Seluruh nilai	- 0,7	$q_h$

Tabel 2.7 Koefisien tekanan pada atap,  $C_p$  (SNI 1727, 2013).

Koefisien tekanan atap, $C_p$ , untuk digunakan dengan $q_h$													
Arah angin	Di sisi angin datang									Di sisi angin pergi			
	h/L	Sudut, $\theta$ (derajat)								Sudut, $\theta$ (derajat)			
		10	15	20	25	30	35	45	$\geq 60^\circ$	10	15	$\geq 20$	
Tegak lurus terhadap bubungan untuk $\theta \geq 10^\circ$	$\leq 0,25$	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,2	0,0*	0,4	0,4	0,01 $\theta$	-0,3	-0,5	-0,6
	0,5	-0,9	-0,7	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	0,0	0,0	0,01 $\theta$	-0,5	-0,5	-0,6
	$\geq 1,0$	-1,3**	-1,0	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	0,0	0,0	0,01 $\theta$	-0,7	-0,6	-0,6
Tegak lurus terhadap bubungan untuk $\theta < 10^\circ$ sejajar bubungan untuk semua $\theta$	$\leq 0,5$	Jarak horizontal dari tepi sisi angin datang		$C_p$		* Nilai disediakan untuk keperluan interpolasi.							
		0 sampai dengan h/2		-0,9, -0,18		** Nilai dapat direduksi secara linier dengan luas yang sesuai berikut ini:							
		h/2 sampai dengan h		-0,9, -0,18									
		h sampai dengan 2h		-0,5, -0,18									
$\geq 1,0$	0 sampai dengan h/2	-1,3**, -0,18				Luas (ft <sup>2</sup> )		Faktor reduksi					
						$\leq 100$ (9,3 m <sup>2</sup> )		1,0					
						250 (23,2 m <sup>2</sup> )		0,9					
	>h/2	-0,7, -0,18				$\geq 1000$ (92,9 m <sup>2</sup> )		0,8					

9) menghitung tekanan angin ( $p$ ) dengan persamaan sebagai berikut :

$$p = qGC_p - q_i(qGC_{pi}) \text{ (N/m}^2\text{)}$$

Dimana :

$q$  =  $q_z$  untuk dinding di sisi angin datang yang diukur dengan ketinggian  $z$  di atas permukaan tanah.

$q$  =  $q_h$  untuk dinding di sisi angin pergi, dinding samping dan atap yang diukur dengan ketinggian  $h$ .

$q_i$  =  $q_h$  untuk dinding di sisi angin datang, dinding samping, dinding di sisi angin pergi dan atap bangunan gedung tertutup untuk mengevaluasi tekanan internal negatif pada bangunan gedung tertutup sebagian.

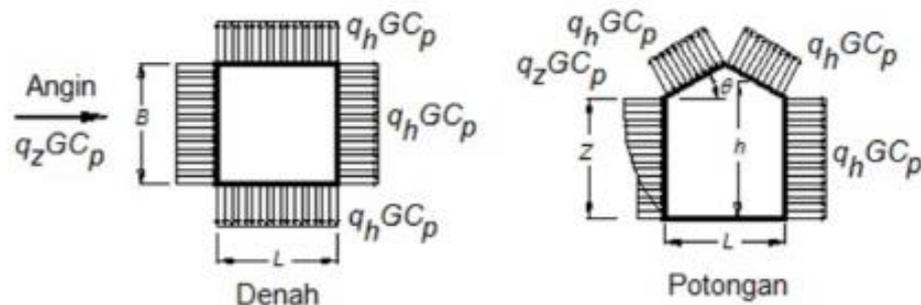
$q_i$  =  $q_z$  untuk mengevaluasi tekanan internal positif pada bangunan gedung tertutup sebagian jika tinggi  $z$  ditentukan sebagai level dari bukaan tertinggi yang dapat mempengaruhi tekanan internal positif.

$G$  = faktor efek tiupan angin.

$C_p$  = koefisien tekanan eksternal.

$GC_{P_i}$  = koefisien tekanan internal.

Tekanan diterapkan secara bersamaan pada dinding di sisi angin datang dan pada sisi angin pergi pada permukaan atap, seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.1 Sisi angin datang dan angin pergi untuk atap pelana dan atap perisai (SNI 1727, 2013).

### 2.2.4. Perancangan Struktur

#### a. Kolom

Kolom adalah komponen struktur vertikal yang khusus digunakan untuk memikul beban aksial tekan dengan memperhitungkan momen lentur maupun tidak. Kolom memikul beban vertikal yang dihasilkan dari pelat lantai atau atap yang kemudian diteruskan ke pondasi. Pada umumnya kolom akan menerima momen lentur akibat dari kondisi tumpuan ujung dan juga akibat dari beban eksentris.

Untuk kapasitas beban nominal ( $P_o$ ) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_o = 0,85f'_c(Ag - A_s) + A_{st}f_y$$

dimana :

$A_g$  = Luas penampang kolom

$A_{st}$  = Luas tulangan baja

Kolom diasumsikan menerima sedikit beban eksentrisitas, maka  $P_o$  harus direduksi. Untuk kolom dengan sengkang persegi, kuat aksial desainnya didapat dengan persamaan sebagai berikut :

$$\phi P_n = \phi 0,8 P_o$$

Sedangkan untuk kolom dengan sengkang spiral, kuat aksial desainnya didapat dari persamaan sebagai berikut :

$$\phi P_n = \phi 0,85 P_o$$

Dimana :

$\phi = 0,65$  untuk sengkang persegi

$\phi = 0,75$  untuk sengkang spiral

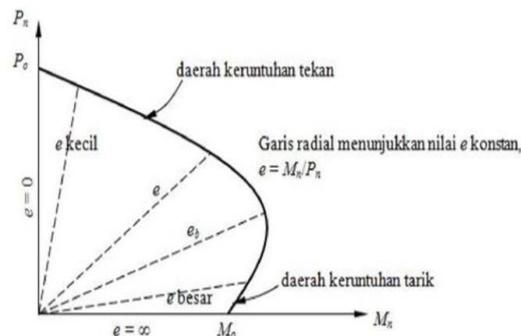
Analisis penampang kolom biasanya diklasifikasikan berdasarkan eksentrisitasnya. Kolom dengan eksentrisitas yang kecil, maka beton akan mencapai regangan ultimit sebelum tulangan baja tarik mencapai luluh, tulangan pada sisi yang jauh dari beban akan mengalami beban tekan. Lain halnya dengan kolom yang memiliki eksentrisitas besar maka keruntuhan ditandai oleh luluhnya tulangan tarik. Saat beton mengalami regangan ultimit, luluhnya tulangan baja ditentukan dari kompatibilitas dari regangan. Desain kolom dihitung dengan beban

terfaktor, tidak boleh lebih besar dari kuat rencana penampang sebagaimana dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$\phi Mn > Mu$$

$$\phi Pn > Pu$$

Metode yang baik digunakan untuk desain adalah dengan menggunakan diagram interaksi, yang memberikan beban runtuh dan momen runtuh pada penampang kolom untuk setiap nilai eksentrisitas dari nol sampai tak terhingga. Dari nilai eksentrisitas ini dihasilkan  $P_n$  dan  $M_n$  yang kemudian diplotkan dalam suatu diagram seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram interaksi kolom (Setiawan, 2016).

Adapun beberapa asumsi desain kolom sebagaimana dipersyaratkan dalam SNI 2847-2013, diantaranya :

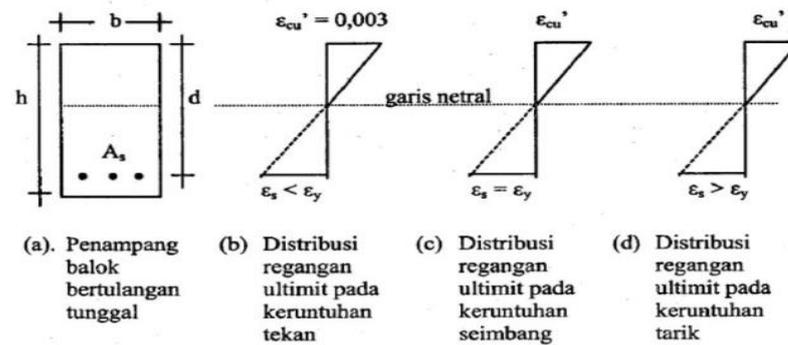
- 1) regangan pada beton dan baja dianggap proporsional terhadap jarak ke sumbu netral.
- 2) kesetimbangan gaya dan kompatibilitas regangan harus dipenuhi.
- 3) regangan tekan maksimum pada beton dibatasi sebesar 0,003.
- 4) kekuatan beton di daerah tarik dapat diabaikan.
- 5) tegangan pada tulangan baja,  $fs = Es < fy$ .
- 6) blok tegangan beton dianggap memiliki bentuk persegi sebesar  $0,85fc'$  dengan distribusi merata dari serat tekan terluar hingga setinggi  $\alpha = \beta 1c$ ,  $c$  adalah jarak dari serat tekan terluar ke sumbu netral penampang, nilai  $\beta 1$  adalah 0,85 untuk  $fc' < 30Mpa$ , nilai  $\beta 1$  berkurang 0,05 pada setiap kenaikan 7 Mpa, tetapi tidak boleh kurang dari 0,65.

Kondisi seimbang terjadi pada penampang kolom, ketika beban  $P_b$  bekerja pada penampang menghasilkan regangan sebesar 0,003 pada serat tekan beton, pada saat bersamaan tulangan baja mengalami luluh atau regangannya mencapai  $y = f_y / E_s$ . Jika beban eksentris yang ada lebih besar daripada  $P_b$ , maka kolom mengalami keruntuhan tekan. Sedangkan jika beban eksentris yang ada lebih kecil daripada  $P_b$ , maka kolom mengalami keruntuhan tarik.

#### b. Balok

Balok adalah suatu bagian struktur yang memiliki fungsi sebagai pendukung beban horizontal dan beban vertikal. Beban vertikal disini adalah berat sendiri balok, berat dinding penyekat yang berada diatas balok, serta beban mati dan beban hidup yang diterima dari plat lantai. Sedangkan beban horizontal adalah beban akibat dari beban gempa dan beban angin. Beberapa asumsi yang diambil dalam mendesain balok beton bertulang dengan metode kekuatan (Strength Design Method) atau metode ultimit adalah sebagai berikut :

- 1) regangan yang terjadi pada beton dan tulangan baja adalah sama, atau terbentuknya lekatan yang cukup antara tulangan baja dan beton.
- 2) regangan pada beton berbanding lurus terhadap jaraknya ke sumbu netral penampang.
- 3) setelah terjadi lentur, penampang akan tetap datar.
- 4) nilai modulus elastisitas tulangan baja dianggap sebesar 200.000 MPa dan tegangan yang timbul pada tulangan baja dalam daerah elastis sama dengan nilai regangan dikalikan dengan modulus elastisitas.
- 5) kuat tarik dari beton diabaikan, karena kuat tarik beton hanya bernilai 10% dari nilai kuat tekannya.
- 6) pada kondisi keruntuhan regangan maksimum pada serat tekan beton terluar adalah sebesar 0,003.
- 7) untuk perhitungan kuat rencana, bentuk distribusi tegangan tekan beton diasumsikan berbentuk segi empat, sesuai dengan asumsi dalam SNI 2847-2013. (Setiawan, 2016). Berdasarkan presentase tulangan baja yang digunakan dalam suatu struktur balok, ada tiga macam keruntuhan lentur balok yang dapat terjadi sebagaimana digambarkan seperti dibawah ini :



Gambar 2.3 Distribusi regangan ultimit pada keruntuhan lentur (Setiawan, 2016).

Dalam SNI 2847-2013 terdapat beberapa nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ), diantaranya adalah :

- 1) untuk penampang terkendali tarik  $\phi = 0,90$
- 2) untuk penampang terkendali tekan ;  
dengan tulangan spiral  $\phi = 0,75$   
dengan tulangan non-spiral  $\phi = 0,65$
- 3) untuk geser dan puntir  $\phi = 0,75$
- 4) untuk tumpu pada beton  $\phi = 0,65$

#### c. Plat

Plat beton berfungsi untuk menyediakan suatu permukaan horizontal yang rata pada lantai bangunan, atap, jembatan atau struktur lainnya. Plat ini ditumpu oleh dinding, balok, kolom atau langsung berada di atas tanah. Struktur plat beton dapat diklasifikasikan menjadi :

- 1) plat satu arah.

Plat satu arah ini adalah pelat yang ditumpu di kedua sisinya sehingga akan mengalami lendutan pada arah tegak lurus dari sisi tumpuan dan beban didistribusikan dalam satu arah yaitu arah tumpuan. Plat ini dapat ditumpu di keempat sisi dengan rasio bentang panjang dan pendeknya lebih besar atau sama dengan 2.

$$\left(\frac{L_y}{L_x} \geq 2\right).$$

- 2) sistem plat rusuk.

Plat rusuk ini terdiri dari plat beton dengan tebal 50 hingga 100 mm, yang ditumpu oleh sejumlah rusuk dengan jarak beraturan. Rusuk ini memiliki lebar minimum 100 mm dan tinggi tidak lebih dari 3,5 kali lebar minimumnya, biasanya rusuk ini bersisi miring dan disusun dengan jarak tertentu tidak lebih dari 750 mm.

### 3) plat dua arah.

Plat dua arah ini adalah plat yang ditumpu di keempat sisinya dengan rasio antar bentang panjang dan bentang pendek kurang dari 2.

$$(L_y/L_x < 2).$$

Sistem plat dua arah juga dibedakan menjadi :

- a) sistem balok-plat dua arah,
- b) sistem slab datar (*flat slab*),
- c) sistem plat datar (*flat plate*),
- d) plat dua arah berusuk dan plat *waffle*.

Analisis plat dua arah dapat menggunakan metode numerik seperti metode elemen hingga. Pada peraturan SNI dijelaskan dua metode pendekatan untuk menganalisis dan mendesain plat dua arah, yaitu :

- 1) metode perencanaan langsung (*direct design method*), metode ini membatasi untuk plat yang dibebani oleh beban yang terdistribusi merata dan bertumpu pada kolom dengan jarak yang sama.
- 2) metode rangka ekuivalen (*equivalent frame method*), pada metode ini struktur rangka dianalisis terpisah tiap lantainya dalam arah memanjang dan melintang. Sama seperti perhitungan desain balok, pada desain plat ini diperlukan rasio tulangan yang diperlukan ( $\rho$ ) untuk mendapatkan luas tulangan ( $A_s$ ) dan jarak antar tulangan ( $s$ ) yang diperlukan.

Lendutan yang dapat terjadi pada plat harus dikontrol sehingga tidak menyebabkan keruntuhan yang dapat membahayakan. Syarat yang harus dipenuhi untuk lendutan ini antara lain :

$$\delta_{tot} \leq \frac{Lx}{240}$$

dimana,

$$\delta_{tot} = \delta_s + \delta_g$$

Lendutan elastis seketika akibat dari beban mati dan beban hidup

$$\delta_e = \frac{5}{384} Q \frac{Lx^4}{E_c I_e}$$

Lendutan jangka panjang akibat rangkai dan susut

$$\delta_g = \frac{5}{384} \lambda Q \frac{Lx^4}{E_c I_e}$$

Beban merata pada plat

$$Q = Q_D + Q_L$$

Momen elastisitas beton

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$$

Momen elastisitas tulangan

$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

Inersia efektif

$$I_e = \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr}$$

Momen inersia bruto plat

$$I_g = \frac{1}{2} b h^3$$

Momen inersia penampang retak yang ditransformasikan ke beton

$$I_{cr} = \frac{1}{3} b c^3 + n A_s (d - c)^2$$

Perbandingan modulus elastisitas,  $n = \frac{E_s}{E_c}$

Jarak garis netral ke sisi atas beton,  $c = \frac{n A_s}{b}$

Momen retak

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{Y_t}$$

Modulus keruntuhan lentur beton,  $f_r = 0,7 \sqrt{f'_c}$

Garis tengah plat,  $Y_t = \frac{h}{2}$

Momen maksimum akibat beban

$$M_a = \frac{1}{8} Q L_x^2$$

Faktor ketergantungan waktu untuk beban mati,  $\lambda = \frac{\zeta}{1+50\rho}$

$$\text{Rasio tulangan slab, } \rho = \frac{A_s}{bd}$$

Keterangan :

QD = Beban mati

QL = Beban hidup

Lx = Panjang bentang plat arah x

Ly = Panjang bentang plat arah y

h = Tebal plat

b = Lebar plat yang ditinjau

d = Tebal efektif plat lantai

$\zeta = 2,0$

Jika lendutan yang terjadi pada plat yang telah didesain memenuhi syarat  $\left(\delta_{tot} \leq \frac{Lx}{240}\right)$ , maka desain plat tersebut dapat digunakan.

#### d. Analisis Beban Gempa

Menurut SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung ada beberapa kategori risiko struktur bangunan sesuai dengan pemanfaatannya dapat dilihat pada Tabel 2.8. Pengaruh gempa rencana kemudian dikalikan dengan faktor keutamaan ( $I_e$ ) pada Tabel 2.9 yang didapatkan berdasarkan kategori risiko struktur bangunan.

Tabel 2.8 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (SNI 1726, 2012).

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain :	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I

---

Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, II, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :

- Perumahan
- Rumah toko dan rumah kantor
- Pasar
- Gedung perkantoran
- Gedung aparteman/rumah susun
- Pusat perbelanjaan/mall
- Bangunan industri
- Fasilitas manufaktur
- Pabrik

II

---

Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :

- Bioskop
- Gedung pertemuan
- Stadion
- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat
- Fasilitas penitipan anak
- Penjara
- Bangunan untuk orang jompo

III

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 :

- Pusat pembangkit listrik biasa
  - Fasilitas penganganan air
  - Fasilitas penanganan limbah
  - Pusat telekomunikasi
-

---

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.

---

Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :

- 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 garasi kendaraan 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
- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat.

IV

Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.

---

Tabel 2.9 Faktor keutamaan gempa, Ie (SNI 1726, 2012).

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, Ie
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Untuk menentukan respons spektral percepatan gempa MCER dipermukaan tanah diperlukan faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi ini meliputi faktor amplifikasi percepatan pada getaran periode pendek atau pada periode 0,2 detik ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi percepatan getaran pada periode 1 detik ( $F_v$ ). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan pada periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang dipengaruhi oleh klasifikasi situs, ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_{MS} = F_a S_S$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$

dimana :

$S_S$  = Parameter respons spektral percepatan gempa MCER untuk periode pendek.

$S_1$  = Parameter respons spektral percepatan gempa MCER untuk periode 1,0 detik.

Parameter  $SS$  (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan  $S_1$  (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) masing-masing ditentukan dari respons spektral pada percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik. Koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  terdapat pada tabel 2.10 dan tabel 2.11 yang ditentukan berdasarkan klasifikasi kelas situs untuk masing-masing jenis tanah yaitu SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak) dan SF (tanah khusus).

Tabel 2.10 Koefisien situs,  $F_a$  (SNI 1726, 2012).

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCER)				
	Terpetakan pada Periode Pendek, $T = 0,2$ detik, $SS$				
	$SS \leq 0,25$	$SS = 0,5$	$SS = 0,75$	$SS = 1,0$	$SS \geq 1,25$
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	$S_S^a$				

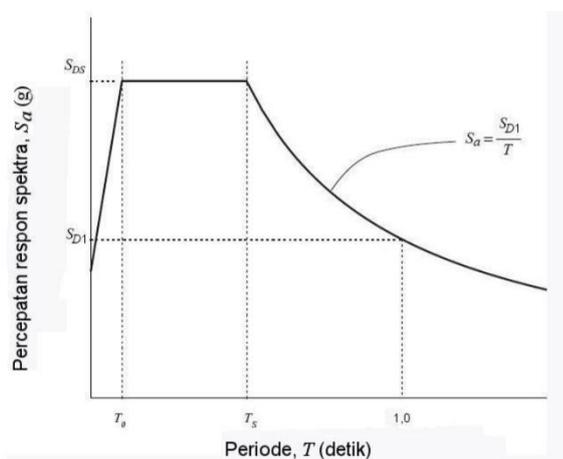
Tabel 2.11 Koefisien situs, Fv (SNI 1726, 2012)

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCER)				
	Terpetakan pada Periode Pendek, T = 0,2 detik, S1				
	$S1 \leq 0,1$	$S1 = 0,2$	$S1 = 0,3$	$S1 = 0,4$	$S1 \geq 0,5$
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	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	$S_1^a$				

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (SDS) dan periode 1 detik (SD1), ditentukan dengan rumus berikut :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$



Gambar 2.4 Spektrum respons desain (SNI 1726, 2012).

Apabila respons spektrum desain diperlukan dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva respons spektrum desain seperti pada Gambar 2.8 harus mengikuti ketentuan-ketentuan seperti dibawah ini :

- 1) untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , respons spektrum percepatan desain ( $S_a$ ) diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS}(0,4 + 0,6 T/T_0)$$

- 2) untuk periode lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_S$ , respons spektrum percepatan desain ( $S_a$ ) sama dengan  $S_{DS}$ .
- 3) untuk periode lebih besar dari  $T_S$ , respons spektrum percepatan desain ( $S_a$ ) diambil dari persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

dimana :

$S_{DS}$  = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek.

$S_{D1}$  = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik.

$T$  = Periode getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$