

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Gempa bumi adalah guncangan yang terjadi di permukaan bumi yang disebabkan adanya pelepasan energi yang menyebabkan pergeseran lempeng bumi. Semakin lama energi itu akan membesar dan akan mencapai keadaan *maximum*. Apabila pinggiran lempeng tidak bisa menahan energi tersebut maka akan mengakibatkan terjadinya gempa bumi. Disamping pergeseran lempeng bumi, gerak lempeng yang saling menjauh juga dapat memicu terjadinya gempa bumi. Karena apabila dua lempeng tersebut saling menjauh maka akan membentuk lempeng baru diantara kedua lempeng tersebut. Lempeng yang baru akan ditekan oleh kedua lempeng lama, yang akan mengakibatkan lempeng baru bergerak ke bawah. Dari hal inilah akan menghasilkan suatu energi dengan kekuatan yang sangat luar biasa. Energi inilah yang menjadi sebab utama terjadinya getaran atau guncangan di permukaan bumi. Faktor lain yang dapat menyebabkan terjadinya gempa bumi adalah pergerakan lempeng bumi yang saling mendekat. Karena saat pergerakan lempeng yang saling mendekat akan membentuk gunung baru yang terus bertumpuk yang juga memicu terjadinya gempa bumi.

Gaya yang terjadi akibat gempa bumi dan bekerja terhadap struktur bangunan merupakan gaya lateral yang merupakan gaya yang bersifat horizontal dengan arah yang tidak menentu. Hal yang harus diperhatikan pada struktur bangunan adalah stabilitas dan kemampuannya dalam menahan gaya lateral tersebut. Bangunan tahan gempa didesain harus dapat menerima dan menahan gaya gempa yang ditimbulkan akibat gempa bumi, sehingga pada saat terjadi gempa bumi struktur bangunan dapat mengikuti atau menerima rambatan gelombang tanpa mengalami kegagalan struktur yang berarti. Gaya gempa yang bekerja pada struktur bangunan berbanding lurus dengan massa struktur itu sendiri seperti pada Hukum Newton yang merumuskan bahwa $F = m \cdot a$, maka pada kasus ini dapat kita artikan jika m = massa bangunan dan a = percepatan yang dihasilkan. Dengan kata lain, bahwa semakin berat massa struktur bangunan

tersebut maka akan semakin besar pula gaya gempa yang terjadi pada struktur bangunan tersebut.

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian ini tentu saja tidak pernah terlepas dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan terdahulu yang dimana dalam penelitian-penelitian tersebut membahas tentang ketahan struktur bangunan terhadap gaya gempa. Berikut adalah penelitian-penelitian terdahulu yang telah dilakukan:

Yanuar Haryanto, dkk. (2015), melakukan penelitian tentang “ Kinerja Model Struktur Gedung Lima Lantai Pada Kondisi Tanah Keras Di Wilayah Banyumas Akibat Beban Gempa SNI 03-1726-2002 Dan SNI 03-1726-2012”. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis beban dorong (*pushover*) untuk mengkaji kinerja model struktur gedung lima lantai pada kondisi tanah keras di wilayah Banyumas akibat beban gempa SNI 03-1726- 2002 dan SNI 03-1726-2012. Hasil kajian tersebut menunjukkan 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%. Sehingga tidak terdapat kerusakan yang cukup berarti pada struktur, kekuatan, kekakuan gedung dan tetap pada *level Immediate Occupancy* atau hampir sama dengan kondisi gedung sebelum terkena gempa.

Muhammad Anugerah Ghaffar, dkk. (2015), melakukan penelitian tentang “Perencanaan Ulang Struktur Gedung Tahan Gempa Menggunakan Metode Dinding Geser Yang Mengacu Pada SNI 03-1726-2012 Pada Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya”. Dalam Penelitian ini, dilakukan perencanaan ulang struktur gedung dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang terdiri dari delapan lantai. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh besarnya momen, gaya lintang dan gaya lateral yang digunakan untuk menghitung luas tulangan dan dimensi elemen struktur balok, kolom dan dinding geser. Peneliti juga menggunakan konsep perencanaan *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, peneliti melakukan 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. Hasil perhitungan yang didapat digunakan untuk menghitung detail gambar penulangan. 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.

Bambang Hadibroto, dkk. (2012), melakukan penelitian tentang “Evaluasi Ketahanan Gempa Bangunan Ruko di Kota Pematang Siantar”. Penelitian ini dilakukan untuk melihat seberapa jauh gempa dapat mengancam bangunan rumah toko (ruko) di kota Pematang Siantar. Bahaya yang ditinjau peneliti adalah kekuatan material yang digunakan, kapasitas struktur ruko, analisa kehancuran, tingkat kehancuran dan kinerja ruko akibat beban getaran gempa jauh yang mengandung *frekuensi* rendah dan berdurasi panjang dan kehancuran yang mungkin ditimbulkan. Bangunan ruko yang diteliti tiga lantai dua pintu (3B2) dengan ruko tiga lantai tiga pintu (3B3) dimana ruko tersebut diasumsikan terletak diatas tanah lunak, sedang dan keras. Hasil yang diperoleh dari program tidak linear beton bertulang menunjukkan bahwa ruko yang berada diatas tanah lunak adalah sangat bahaya bagi keselamatan jiwa bila skenario patahan gempa aktif $M_b=6,8$ dari kawasan renun terjadi. Bangunan ini diperkirakan mengalami kerusakan parah yang tidak dapat di perbaiki. Untuk bangunan lainnya umumnya semua ujung elemen struktur mengalami retak-retak dan sendi plastis dalam batas yang bisa diperbaiki. Perilaku leleh awal kemudian sendi plastis dan gagal struktur sering ditemui terjadi pada elemen kolom terlebih dahulu baru kemudian elemen balok. Perilaku seperti telah diketahui bersama tidak boleh terjadi pada konsep *strong column weak beam*.

Yuyun Tajunnisa, dkk. (2014), melakukan penelitian tentang “Perbandingan Evaluasi kinerja Bangunan Gedung Tahan Gempa Antara Metode SRPMM dan

SRPMK”. Penelitian ini membandingkan struktur bangunan tiga lantai beton bertulang tahan gempa dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) pada wilayah gempa IV. Analisis dan evaluasi kinerjanya menggunakan *pushover* yang *built-in* pada SAP2000. SRPMM dan SRPMK direncanakan menggunakan dimensi struktur yang sama. Perhitungan struktur antara kedua metode juga menghasilkan perbedaan pada luasan tulangan yaitu SRPMM lebih besar dibandingkan dengan SRPMK dan persamaan pada luas daktilitas struktur ($\mu\Delta$) serta faktor reduksi (R) yaitu $\mu\Delta = 3,36$ dan $R = 5,37$. Persyaratan SNI 03-1726-2002 untuk SRPMM adalah $\mu\Delta = 3,50$ dan $R = 5,50$; sedangkan untuk SRPMK ($\mu\Delta = 5,20$ dan $R = 8,5$). Dari hasil yang diperoleh dengan syarat SNI 03-1726-2002, SRPMM memenuhi persyaratan dalam nilai daktilitas dan faktor reduksi sedangkan SRPMK tidak memenuhi syarat tersebut. Besar target perpindahan maksimum pada struktur SRPMM menurut rumus dari SNI 03-1726-2002 dan FEMA (273/356) berturut-turut diperoleh sebesar 0,122 m dan 0,77 m. Sedangkan struktur SRPMK berturut-turut sebesar 0,75 m dan 0,77 m. Evaluasi kinerja struktur menggunakan analisa *pushover* masing-masing masihh berkinerja IO (*Intermediate Occupancy*).

Redha Sadhu Leksono, dkk. (2012), melakukan penelitian tentang “Studi Pengaruh Kekuatan dan Kekakuan Dinding Batu Bata Pada Bangunan Bertingkat”. Dalam penelitian ini peneliti membahas tentang cara mendesain suatu struktur seperti portal, para perencana umumnya tidak memperhitungkan komponen dinding pengisi seperti batu bata sebagai komponen struktural atau komponen *non structural* (beban terbagi rata). Namun kenyataannya dinding pengisi yang tersusun atas batu bata dengan mortar yang memiliki kekuatan dan kekakuan tertentu. Dinding pengisi, batu bata, ini juga memiliki kecenderungan untuk berinteraksi bersama portal yang ditempatinya, terutama bila terkena gaya lateral yang ditimbulkan oleh gempa bumi yang cukup besar. Penelitian ini menganalisa sampai pada tingkat berapakah kekuatan dan kekakuan dinding bata berpengaruh cukup signifikan terhadap suatu struktur gedung bertingkat. Dinding bata dianggap sebagai *bracing* tekan dan akan dimodelkan dengan batang diagonal, lalu akan dibandingkan dengan dinding bata yang dianggap sebagai

beban mati terbagi rata (*open frame*). Analisa struktur menggunakan metode Analisa Statik Non-Linier (*Pushover*) dengan program SAP2000 versi 14. Hasilnya menunjukkan bahwa struktur *open frame* memiliki perilaku struktur yang lebih baik daripada struktur dengan *bracing* tekan. Hal ini ditunjukkan dari nilai target perpindahan saat *performance point*, struktur *open frame* memiliki nilai yang lebih besar. Kesimpulan dari penelitian ini adalah dinding bata dapat mengganggu kinerja struktur utama untuk berdeformasi secara maksimal. Semakin tinggi tingkat lantai suatu gedung, maka tingkat pengaruh kekuatan dan kekakuan dinding bata semakin besar terhadap kinerja struktur utama. Sehingga perencanaan suatu desain bangunan harus memperhatikan kekuatan dan kekakuan dinding bata.

Hasriyasti Saptowati, dkk. (2015), melakukan penelitian tentang “Analisis Gempa Pada Struktur Gedung Iradiator Gamma Kapasitas 2MCi”. Dalam penelitian ini membahas analisis beban gempa yang ditimbulkan oleh gempa bumi pada struktur gedung Iradiator Gamma kapasitas 2MCi. Yang dimana Konstruksi gedung Iradiator tersebut haruslah diperhitungkan terhadap beban-beban yang akan diterima oleh struktur gedung tersebut baik itu beban mati maupun beban hidup. Beban-beban yang bekerja tersebut antara lain beban angin, beban gempa, beban tornado dan beban dari gedung itu sendiri. Beban eksternal adalah beban yang berasal dari luar gedung termasuk faktor ketahanan tanah, sedangkan beban internal yaitu berat sendiri gedung dan berat yang ditanggung di dalam gedung. Perhitungan terhadap beban gempa yang diterima haruslah dipertimbangkan dengan gabungan dari beban hidup yang telah direduksi dan beban mati. Demikian pula untuk pengaruh struktur terhadap akibat penurunan atau penyusutan yang ditimbulkan akibat dari perubahan suhu. Perhitungan pembebanan berdasarkan peraturan pembebanan untuk gedung di Indonesia.

Himawan Indarto, dkk. (2017), melakukan penelitian tentang “Mekanisme Kebijakan Standar Ketahanan Gempa Baru Pada Bangunan”. Dalam penelitian ini dilakukan penerapan standar bangunan tahan gempa baru yang merupakan bagian dari mekanisme kebijakan teknik dan harmonisasi kepentingan dari para praktisi gedung di daerah. Penelitian ini menguji mekanisme kebijakan standar ketahanan gempa terhadap keberlanjutan proyek gedung di daerah. Hal ini dimaksudkan

untuk memberikan bukti empirik bagaimana mekanisme kebijakan *retrofit* bangunan pasca penerapan SNI bangunan tahan gempa baru diterapkan pada bangunan rumah sakit umum di Jawa Barat. Metode yang digunakan adalah stimulasi model struktur dan wawancara *semi-structured* dengan praktisi yang berpengalaman. Dari hasil stimulasi model struktur ada beberapa elemen struktur harus dilakukan *retrofit* untuk meningkatkan kapasitas terhadap beban gempa terbaru yang relatif meningkat dua kali nya dari standar gempa lama. Keberhasilan penerapan standar gedung tahan gempa baru dipengaruhi oleh mekanisme komunikasi dari pengalaman kontraktor yang memadai pada eksekusi dilokasi. Interaksi antara pemilik proyek, kontraktor dan tim manajemen konstruksi adalah bentuk mekanisme yang bisa dikembangkan terutama bagi praktisi gedung di daerah dengan keterbatasan sumber daya teknologi dan keterampilan.

M. Afifuddin, dkk. (2017), melakukan penelitian dengan judul "*The Behaviour of Reinforced Concrete Structure Due to Earthquake Load Using Time History Analysis Method*". Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa respon dari struktur bangunan yang tersusun dari beton bertulang terhadap beban gempa yang ditimbulkan oleh gempa bumi serta melihat kinerja dari struktur setelah menerima beban gempa. Penelitian ini dilakukan pada sebuah hotel yang berlokasi di simpang lima kota Banda Aceh. Hotel tersebut terbuat dari struktur beton bertulang yang memiliki ketinggian sebesar 34,95 m dengan total luas bangunan sebesar 8872,5 m². Dengan kekuatan tekan beton sebesar 30 Mpa, kekuatan tarik untuk tulangan utama sebesar 400 Mpa, sedangkan untuk tulangan geser sebesar 240 Mpa. Dalam penelitian ini analisa yang digunakan menggunakan metode *Time History Analysis* dengan bantuan *software STERA 3D V.7.1*. Dalam pelaksanaannya, struktur bangunan diberikan beberapa jenis jenis beban gempa yaitu, gempa Irpinia, El-centro, Kobe dan Chi-chi. Berdasarkan hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa respon struktur bangunan hotel tersebut masih memenuhi kriteria berdasarkan SNI 03-1726-2012 dan dapat dinyatakan aman terhadap keempat jenis beban gempa yang diberikan. Berdasarkan nilai dari *displacement* terbesar untuk arah X adalah 56,64cm dan pada arah Y adalah 62,24 cm yang dimana nilai tersebut kurang dari 87,4 cm seperti yang dipersyaratkan didalam SNI 03-1726-2012. Lalu untuk

penyimpangan terbesar dari arah X adalah 9,74 cm diantara lantai dasar dan lantai pertama, nilai tersebut kurang dari 11,30 cm seperti yang dipersyaratkan didalam SNI 03-1726-2012. Sedangkan nilai geser terbesar di arah X adalah 15.830 kN, dan dalam arah Y 14.160 kN, nilai-nilai penyimpangan terbesar tersebut lebih besar dari 4.280 kN seperti yang dipersyaratkan oleh SNI.

Soltysik dan R. Jankowski, dkk. (2015), melakukan penelitian "*Building Damage Due to Structural Pounding During Earthquakes*". Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis numerik *non-linier* yang berfokus terhadap kerusakan yang ditimbulkan akibat ketukan antara dua bangunan baja di bawah eksitasi gempa. Analisis numerik ini dilakukan dengan menggunakan model struktur asimetris baja dengan jumlah lantai pada bangunan yang berbeda-beda yang membuat bangunan bergetar keluar-fase, waktu percepatan gempa bumi El Centro digunakan dalam analisis numerik. Berdasarkan hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa menumbuk secara substansial dapat mempengaruhi respon dari bangunan baja yang dapat meningkatkan resiko kerusakan bangunan selama terjadinya gempa bumi.

P. P. Chandurkar dan Dr. P. S. Pajgade (2013), melakukan penelitian "*Seismic Analysis of RCC Building with and Without Shear Wall*". Fokus utama dalam penelitian ini adalah memberikan solusi untuk menentukan lokasi dinding geser pada gedung bertingkat. Dalam penelitian ini juga disebutkan bahwa dalam desain seismik bangunan, dinding struktural beton bertulang, atau dinding geser, bertindak sebagai anggota utama yang tahan gempa. Dinding struktural menyediakan sistem penahan yang efisien dan menawarkan potensi besar untuk hambatan beban lateral.

Ida Ayu Made Budiawati dan Made Sukrawa (2017), melakukan penelitian "Kinerja Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Penambahan Dinding Pengisi Berlubang sebagai Perkuatan Seismik". Tujuan dari penelitian ini adalah meninjau penggunaan dinding pengisi berlubang dengan penambahan lintel sebagai perkuatan seismik karena dianggap banyak diterapkan di lapangan. Dalam peneltian ini dibuat model struktur RDP berlubang yang sesuai dengan kondisi di Indonesia seperti sifat-sifat bahan dinding dan pemakaian kolom dan balok praktis di sekitar lubang. Pada tahap awal akan dilakukan validasi model

yaitu membandingkan model komputer dengan hasil uji laboratorium. Setelah itu dibuat model struktur beton bertulang, terdiri atas tiga bentang untuk bangunan 3, 4, dan 5 lantai, dengan variasi lubang 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. Dari analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan diagram beban simpangan lateral yang diperoleh dari model validasi menggunakan elemen *shell* lebih mendekati diagram hasil uji laboratorium dibandingkan dengan menggunakan model *strat* diagonal. Penambahan lintel di sekeliling lubang mampu menambah kekakuan rangka dan mengurangi tegangan maksimum pada sudut lubang sampai 40%. Pada rangka 3 lantai, penambahan dinding pengisi berlubang menghasilkan penurunan simpangan masing-masing sebesar 65%, 58%, 43%, 22%, dan 5% untuk rasio lubang 0%, 20%, 40%, 60%, dan 80%. Persentase pengurangan yang hampir sama juga terjadi pada rangka 4 dan 5 lantai. Dari kebutuhan tulangan pada rangka 3-lantai, penambahan dinding pengisi dengan rasio lubang sampai dengan 60% sudah memadai untuk menahan beban gempa yang disyaratkan dalam SNI 03-1726:2012. Sedangkan pada rangka 4 dan 5 lantai, diperlukan penambahan dinding dengan rasio lubang maksimum 40%. Analisis *push over* menunjukkan bahwa penambahan dinding pengisi meningkatkan kemampuan struktur dalam menahan gaya geser dasar akibat gempa. Namun demikian, peningkatan kekuatan ini disertai dengan penurunan daktilitas struktur seiring dengan menurunnya rasio lubang.

Agus dan Reynold Gushendra (2015), melakukan penelitian “Perbandingan Analisa Struktur Model Portal *Open Frame*, *Bresing*, dan Dinding Geser pada Struktur Gedung Beton Bertulang Terhadap Beban Gempa”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana perbandingan analisa struktur model portal *open frame*, *bresing* dan dinding geser pada struktur gedung beton bertulang terhadap beban gempa yang dimodelkan menggunakan *software* SAP2000 versi 14, dan menentukan struktur beton bertulang yang efektif terhadap beban gempa, model portal *open frame*, *bresing* atau dinding geser. Berdasarkan hasil analisis perbandingan struktur beton bertulang model *open frame*, *bresing* dan dinding geser terhadap beban gempa, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut 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. Struktur gedung beton bertulang yang menggunakan *bresing* atau dinding geser menghasilkan gaya dalam, diantaranya momen dan gaya geser lebih kecil dibandingkan model struktur *open frame*. Dengan momen dan gaya geser elemen struktur yang lebih kecil akan mengurangi jumlah pemakaian tulangan pokok dan tulangan geser. Dengan pemakaian *bresing* atau dinding geser pada struktur gedung beton bertulang dapat menggunakan dimensi kolom dan balok yang lebih kecil dari model struktur *open frame*.

Hanantatur Adeswastoto, Zulfikar Djauhari, dan Reni Suryanita (2017), melakukan penelitian “Evaluasi Kerentanan Bangunan Gedung Terhadap Gempa Bumi Berdasarkan ASCE 41-13”. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan evaluasi berdasarkan ASCE 41-13 untuk bangunan di Indonesia terutama Pekanbaru. Dimana ini dimaksudkan untuk melihat apakah evaluasi berdasarkan ASCE 41-13 dapat diterapkan di Indonesia, sehingga bisa dijadikan bahan pertimbangan untuk menjadi pedoman mengenai sistem penilaian gedung terhadap kerentanan gempa yang sesuai dengan peraturan-peraturan yang ada dan bisa di terapkan di Indonesia. Dari evaluasi gedung Menara Lancang Kuning terhadap pembebanan gempa dengan menggunakan peraturan *American Society of Civil Engineering* 41-13 (ASCE 41-13) dapat diambil kesimpulan sebagai berikut. Dari hasil analisis bangunan gedung dengan Evaluasi Tahap 1 standar ASCE 41-13, bahwa bangunan gedung memenuhi tingkat kinerja yang menjadi acuan. Berdasarkan pengamatan visual pada bangunan gedung, bahwa bangunan gedung memenuhi tingkat kinerja sesuai dengan ASCE 41-13. Pada Evaluasi Tahap 1 mengidentifikasi banyak evaluasi struktur dan non struktur sebagai *Not Applicable* (N/A). Identifikasi ini bukan berarti bangunan gedung tidak mencapai tingkat kinerja bangunan yang menjadi acuan, namun karena adanya kendala dalam proses evaluasi. Secara keseluruhan hasil evaluasi tahap 1 menunjukkan bahwa Gedung Menara Lancang Kuning tahan terhadap gempa dengan tingkat kinerja *Immediate Occupancy*.

Made Sukrawa (2015), melakukan penelitian “*Earthquake response of RC infilled frame with wall openings in low-rise hotel buildings*”. Penelitian ini membandingkan dari *frame* terisi dengan bukaan dan tanpa bukaan yang dimana

didapatkan hasil model validasi dari *frame* terisi dengan dan tanpa bukaan dinding menunjukkan bahwa model komputer menggunakan struts diagonal dan elemen *shell* meniru perilaku *frame* yang diuji dengan baik. Ini juga mengkonfirmasi hasil sebelumnya Studi bahwa *frame* terisi dengan pembukaan dinding secara signifikan lebih kuat dan lebih kaku daripada bingkai telanjang. Untuk bingkai terisi dengan bukaan dinding namun, respon model elemen *shell* cocok dengan data uji lebih baik dari pada model strut, di mana faktor reduksi untuk lebar strut meremehkan kekuatan bingkai. Ambang sekitar bukaan dinding menguatkan bingkai dan memperkuat dinding di sekitar bukaan dan karenanya, harus digunakan untuk yang lebih baik desain bingkai terisi dengan bukaan dinding. Dari analisis dan desain model 3-D untuk bangunan hotel bertingkat 3, 4, dan 5 menggunakan kerangka dan cangkang elemen ditemukan bahwa respon gempa dari bingkai RC di isi dengan dinding rasio pembukaan 20%, 60% secara signifikan lebih kaku dan lebih kuat dari itu tanpa dinding pengisi. Namun, kontribusi dinding dengan 80% membuka dalam mengurangi *drift* lantai dan penguatan *frame* itu sepele. Dengan demikian, dinding pengisi dengan pembukaan rasio kurang dari 80% harus dipertimbangkan dalam pemodelan struktural untuk mendapatkan analisis yang lebih akurat dan desain yang efisien.

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.

Pada penelitian ini difokuskan terhadap bencana alam yaitu gempa bumi dimana penulis melakukan perencanaan ulang struktur bangunan yang

direncanakan dapat menerima dan bekerja dengan gaya lateral yang ditimbulkan akibat gempa bumi sehingga struktur bangunan tidak mengalami kegagalan struktur yang berarti. Sebagaimana telah disebutkan dalam undang-undang bahwa gempa bumi merupakan bencana alam, gambaran dari 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 sendiri 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 yang ditimbulkan akibat gempa bumi itu sendiri berupa kerugian-kerugian, baik itu kerugian dari aspek kemanusiaan, lingkungan dan infrastruktur/fasilitas, hingga materi. Kerugian terhadap manusia dapat berupa hilangnya tempat tinggal, mengalami trauma, bahkan juga dapat menelan korban jiwa. Dari tahun ke tahun tidak sedikit dari kejadian gempa bumi yang telah banyak memakan 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 dampak yang ditimbulkan akibat gempa bumi itu seperti jumlah korban hingga kerusakan yang ditimbulkan seharusnya resiko kerugian-kerugian itu dapat diperkecil dari segi keilmuan teknik sipil. Salah satu cara mengantisipasi ataupun meminimalisir

resiko kerugian yang dapat ditimbulkan oleh gempa bumi adalah dengan merancang gedung tahan gempa yang dapat beradaptasi dengan gaya lateral akibat gempa bumi tanpa mengalami kerusakan yang berarti.

2.2.2. Bangunan Tahan Gempa

Bangunan tahan gempa adalah struktur bangunan yang dirancang sedemikian rupa, sehingga struktur bangunan tersebut dapat dianggap kuat dan dapat beradaptasi dengan gaya lateral yang ditimbulkan akibat gempa bumi tanpa mengalami kerusakan berarti dan jika apabila terjadi gempa bumi dengan kekuatan tinggi hingga melebihi kapasitas bangunan dalam menahan beban gempa yang telah direncanakan, maka struktur gedung atau bangunan tersebut tidak mengalami keruntuhan secara langsung tetapi secara perlahan sehingga dapat memberikan waktu bagi penghuni gedung untuk dapat menyelamatkan diri. Adapun persyaratan-persyaratan bangunan tahan gempa menurut Kementerian PU-Badan Penelitian dan Pengembangan Pemukiman (Puskim) 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. Pondasi harus diletakkan di atas tanah keras, sebaiknya pondasi terletak lebih dari 45cm dari tanah asli. Pondasi 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 untuk wilayah kota Yogyakarta. Selain peraturan yang telah disebutkan diatas, adapun beberapa konsep yang harus diperhatikan mengenai bangunan tahan gempa.

- e. Daktilitas

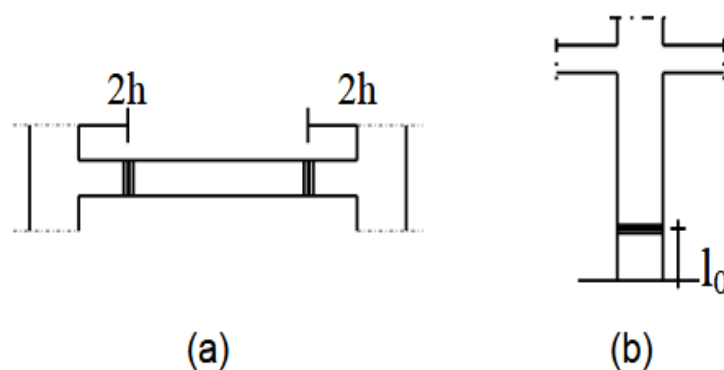
Menurut SNI 03-1726-2012, daktilitas adalah kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara

berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa, sehingga menyebabkan terjadinya pelepasan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan. Ditinjau dari faktor daktilitas, struktur dibagi menjadi 3 kategori sebagai berikut.

- 1) Sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB) atau bisa disebut prinsip elastik penuh.
- 2) Sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) atau bisa disebut prinsip daktail parsial.
- 3) Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) atau bisa disebut prinsip daktail penuh.

f. Sendi Plastis

Menurut SNI 2847-2013, daerah sendi plastis adalah panjang elemen rangka dimana pelepasan lentur diharapkan terjadi akibat perpindahan desain gempa. Ketika terjadi gempa struktur akan menerima gaya lateral bolak-balik, sehingga pada daerah-daerah yang mempunyai momen terbesar yaitu pada ujung-ujung balok, akan mengalami regangan tarik baja tulangan secara bergantian. Jika regangan tarik baja tulangan sudah mencapai titik leleh, maka beton akan mulai meretak. Berikut gambarnya sendi plastis pada SRPMM dan SRPMK.



Gambar 2.1 Sendi plastis pada balok (a) dan kolom (b).

2.2.3. Pembebanan

Pada peraturan pembebanan SNI 1727-2013 untuk komponen elemen struktur dan elemen-elemen pondasi harus dirancang sesuai dengan kekuatan rencana bahkan melebihi dari yang direncanakan. Berikut adalah kombinasi-kombinasi beban terfaktor :

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
3. $1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
4. $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
5. $1,2 D + 1,0 E + L + 0,2 S$
6. $0,9 D + 1,0 W$
7. $0,9 D + 1,0 E$

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 $(40-0,8\alpha) \text{ kg/m}^2$, dimana α adalah sudut kemiringan atap, dengan ketentuan beban tersebut tidak diambil lebih besar dari 20 kg/m^2 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 Sistem Penahan Beban Angin Utama (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 2.2.
- 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 2.1.

Tabel 2.1 Faktor arah angin, K_d .

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	0,85
berdiri bebas dan papan reklame terikat	
Papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85
Rangka batan menara	
Segitiga, segi empat, persegi panjang	0,85
Penampang lainnya	0,95

(Sumber : SNI 1727-2013).

- 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 di arah 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. Eksposur 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} .

$$K_{zt} = (1 + K_1 + K_2 + K_3)^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

K_1 dilihat pada Tabel 2.3.

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

$K_3 = e^{-\gamma z/L_h}$, 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 diatas elevasi tanah.

γ = faktor atenuasi ketinggian.

μ = faktor atenuasi horizontal.

Tabel 2.2 Kategori risiko bangunan dan struktur lainnya untuk beban banjir, angin, salju, gempa dan es.

Penggunaan atau Pemanfaatan Fungsi Bangunan Gedung dan Struktur	Kategori risiko
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 zatzat berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia berbahaya, atau limbah berbahaya) yang berisi jumlah yang cukup dari zat yang sangat 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.	IV

(Sumber: SNI 1727-2013).

Tabel 2.3 Parameter peningkatan kecepatan angin.

Bentuk bukit	Parameter untuk peningkatan di atas bukit dan tebing					
	$K_f/(H/L_h)$			γ	μ	
	Eksposur				Sisi angin datang dari puncak	Sisi angin pergi dari puncak
	B	C	D			
Bukit memanjang 2-dimensi dengan $-H$ dalam $K_f/(H/L_h)$	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

(Sumber : SNI 1727-2013).

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.

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

(Sumber : SNI 1727-2013).

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

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

$$K_z = 2,01(Z/Z_g)^{2/\alpha} \text{ untuk } 15 \text{ ft} \leq z \leq z_g \dots\dots\dots(2.2)$$

$$K_z = 2,01(15/Z_g)^{2/\alpha} \text{ untuk } z \geq 15 \text{ ft} \dots\dots\dots(2.3)$$

Untuk nilai α dan z_g dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Konstanta eksposur daratan.

Eksposur	α	$Z_g(\text{ft})$	A	b	\bar{u}	\bar{v}	c	$\epsilon_{(\text{ft})}$	ϵ	$Z_{\text{min}}(\text{m})$
B	7,0	365	1/7	0,84	1/4,0	0,45	0,30	97,5	1/3	9,14
C	9,5	274	1/9,5	1,00	1/6,5	0,65	0,20	152	1/5	4,57
D	11,5	213	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80	0,15	198	1/8	2,13

(Sumber : SNI 1727-2013).

- 7) Menentukan tekanan velositas dengan persamaan sebagai berikut :

$$q = 0,613K_zK_{zt}K_dV^2(N/m^2) \dots\dots\dots(2.4)$$

- 8) Menentukan koefisien tekanan eksternal, dilihat pada Tabel 2.6

Tabel 2.6 Koefisien tekanan pada dinding, C_p .

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

(Sumber : SNI 1727-2013).

- 9) Menghitung tekanan angin (p) dengan persamaan sebagai berikut :

$$p = qGC_p - q_i(qGC_{pi}) \text{ (N/m}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.5)$$

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.

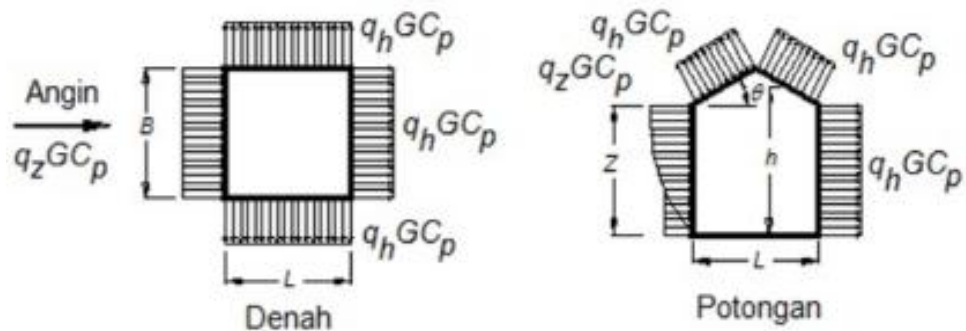
q_i = q_z untuk mengevaluasi tekanan internal positif pada bangunan gedung tertutup sebagian jika tinggi z ditentukan sebagai level dari bukaan tertinggi yang dapat mempengaruhi tekanan internal positif.

G = faktor efek tiupan angin.

C_p = koefisien tekanan eksternal.

GCP_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 2.2 Sisi angin datang dan angin pergi untuk atap pelana dan atap perisai. (Sumber : SNI 1727-2013).

2.2.4. Perancangan Struktur

2.2.4.1 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 :

$$P_o = 0,85f'_c (A_g - A_s) + A_{st}f_y \dots\dots\dots(2.6)$$

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 :

$$\phi P_n = \phi 0,8 P_o \dots\dots\dots(2.7)$$

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

$$\phi P_n = \phi 0,85 P_o \dots\dots\dots(2.8)$$

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 :

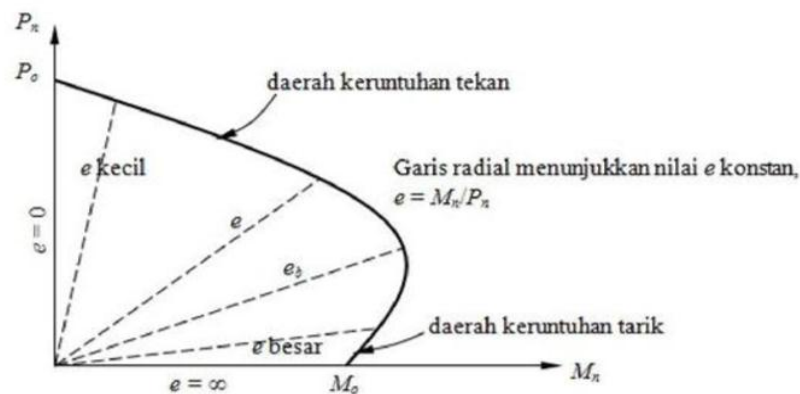
$$\phi Mn > Mu \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\phi Pn > Pu \dots\dots\dots(2.10)$$

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 kedalam sebuah diagram seperti pada Gambar 2.3.

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. Keseimbangan 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, $f_s = E_s < f_y$.
6. Blok tegangan beton dianggap memiliki bentuk persegi sebesar $0,85f_c'$ dengan distribusi merata dari serat tekan terluar hingga setinggi $\alpha = \beta_1 c$, c adalah jarak dari serat tekan terluar ke sumbu netral penampang, nilai β_1 adalah 0,85 untuk $f_c' < 30\text{Mpa}$, nilai β_1 berkurang 0,05 pada setiap kenaikan 7 Mpa, tetapi tidak boleh kurang dari 0,65.



Gambar 2.3 Diagram interaksi kolom.

(Sumber : SNI 2847-2013)

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.

2.2.4.2 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 Pelat 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 :

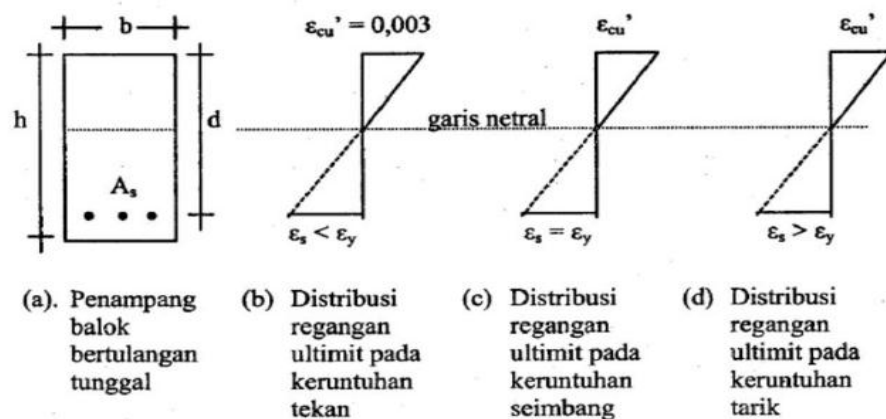
1. Regangan yang terjadi pada beton dan tulangan baja adalah sama, atau terbentuknya lekatan yang cukup antara tulangan baja dan beton.
2. Regangan pada beton berbanding lurus terhadap jaraknya ke sumbu netral penampang.
3. Setelah terjadi lentur, penampang akan tetap datar.

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.

Berdasarkan presentase tulangan baja yang digunakan dalam suatu struktur balok, ada tiga macam keruntuhan lentur balok yang dapat terjadi sebagaimana digambarkan seperti Gambar 2.4 :

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

- Untuk penampang terkendali tarik $\phi = 0,90$
- Untuk penampang terkendali tekan
Dengan tulangan spiral $\phi = 0,75$
Dengan tulangan non-spiral $\phi = 0,65$
- Untuk geser dan puntir $\phi = 0,75$
- Untuk tumpu pada beton $\phi = 0,65$



Gambar 2.4 Distribusi regangan ultimit pada keruntuhan lentur.

(Sumber : SNI 2847-2013)

2.2.4.3 Pelat

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

a. Pelat satu arah

Pelat 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. Pelat ini dapat ditumpu di keempat sisi dengan rasio bentang panjang dan pendeknya lebih besar atau sama dengan 2.

$$L_y/L_x \geq 2 \dots\dots\dots(2.11)$$

b. Sistem pelat rusuk

Pelat rusuk ini terdiri dari pelat 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.

c. Pelat dua arah

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

$$L_y/L_x < 2 \dots\dots\dots(2.12)$$

Sistem pelat dua arah juga dibedakan menjadi :

- 1) Sistem balok-pelat dua arah,
- 2) Sistem slab datar (*flat slab*),
- 3) Sistem pelat datar (*flat pelate*),
- 4) Pelat dua arah berusuk dan pelat *waffle*.

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

1. Metode perencanaan langsung (*Direct Design Method*), metode ini membatasi untuk pelat 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.

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

$$\delta_{tot} \leq \frac{Lx}{240} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

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

Lendutan elastis seketika akibat dari beban mati dan beban hidup

$$\delta_e = \frac{5}{384} Q \frac{Lx^4}{E_c I_e} \dots\dots\dots(2.14)$$

Lendutan jangka panjang akibat rangkakan dan susut

$$\delta_g = \frac{5}{384} \lambda Q \frac{Lx^4}{E_c I_e} \dots\dots\dots(2.15)$$

Beban merata pada pelat

$$Q = Q_D + Q_L \dots\dots\dots(2.16)$$

Momen elastisitas beton

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \dots\dots\dots(2.17)$$

Momen elastisitas tulangan

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

Inersia efektif

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \dots\dots\dots(2.18)$$

Momen inersia bruto pelat

$$I_g = \frac{1}{2} bh^3 \dots\dots\dots(2.19)$$

Momen inersia penampang retak yang ditransformasikan ke beton

$$I_{cr} = \frac{1}{3} bc^3 + nA_s(d - c)^2 \dots\dots\dots(2.20)$$

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

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

Momen retak

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{Y_t} \dots\dots\dots(2.21)$$

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

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

Momen maksimum akibat beban

$$M_a = \frac{1}{8} Q L_x^2 \dots\dots\dots(2.22)$$

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

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

Keterangan :

QD = Beban mati

QL = Beban hidup

Lx = Panjang bentang pelat arah x

Ly = Panjang bentang pelat arah y

h = Tebal pelat

b = Lebar pelat yang ditinjau

d = Tebal efektif pelat lantai

$\zeta = 2,0$

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

2.2.5. Analisis Beban Gempa

Menurut SNI 03-1726-2012 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 (Ie) pada Tabel 2.9 yang didapatkan berdasarkan kategori risiko struktur bangunan.

Tabel 2.8 Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa.

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, peternakan 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, II, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall - 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 <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 penganganan air - 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>	III
<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 	IV

Tabel 2.8. Lanjutan

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<ul style="list-style-type: none"> - 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. <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

(Sumber : SNI 03-1726-2012).

Tabel 2.9 Faktor keutamaan gempa, Ie.

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

(Sumber : SNI 03-1726-2012).

Untuk menentukan respon spektral percepatan gempa MCER dipermukaan tanah diperlukan sebuah faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi ini tidak lain 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 respon spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan pada periode 1 detik (S_{M1}) yang dipengaruhi oleh klasifikasi situs, ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_{MS} = F_a S_s \dots\dots\dots(2.23)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana :

S_5 = Parameter respon spektral percepatan gempa MCER untuk periode pendek.

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

Parameter SS (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) masing-masing dari itu ditentukan berdasarkan respon spektral pada percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik. Koefisien situs Fa dan Fv terdapat pada Tabel 2.10 dan Tabel 2.11 yang kemudian akan 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, Fa.

Kelas Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa (MCER) Terpetakan pada Periode Pendek, T = 0,2 detik, SS				
	$SS \leq 0,25$	$SS = 0,5$	$SS = 0,75$	$SS = 1,0$	$SS \geq 1,25$
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_5^a				

(Sumber : SNI 03-1726-2012).

Tabel 2.11 Koefisien situs, Fv.

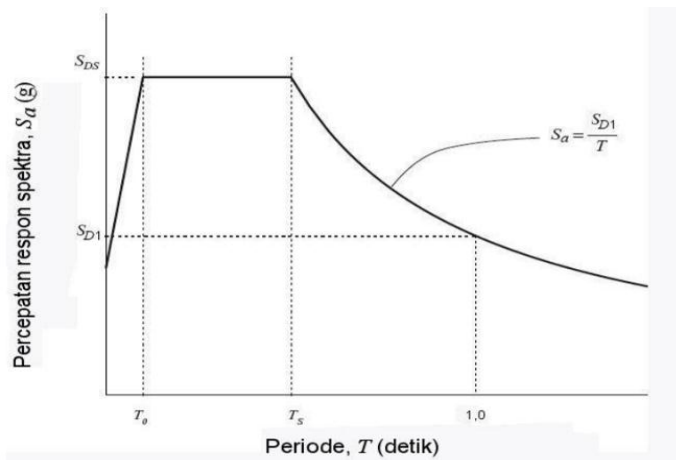
Kelas Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa (MCER) Terpetakan pada Periode Pendek, T = 0,2 detik, S1				
	$S1 \leq 0,1$	$S1 = 0,2$	$S1 = 0,3$	$S1 = 0,4$	$S1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	S_1^a				

(Sumber : SNI 03-1726-2012).

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (SDS) dan periode 1 detik (SD1), dapat ditentukan dengan berdasarkan rumus-rumus dibawah ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots(2.26)$$



Gambar 2.5 Spektrum respon desain.

(Sumber : SNI 03-1726-2012).

Apabila respon spektrum desain diperlukan dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva respon spektrum desain seperti pada Gambar 2.5 harus mengikuti ketentuan-ketentuan seperti dibawah ini :

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , respon spektrum percepatan desain (S_a) diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS}(0,4 + 0,6 T/T_0) \dots\dots\dots(2.27)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_S , respon spektrum percepatan desain (S_a) sama dengan S_{DS} .

3. Untuk periode lebih besar dari T_S , respon spektrum percepatan desain (S_a) diambil dari persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots(2.28)$$

Dimana :

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

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

T = Periode getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots(2.29)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots(2.30)$$