

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. TINJAUAN UMUM

Pada Studi Pustaka ini akan membahas mengenai dasar-dasar dalam merencanakan struktur untuk bangunan bertingkat. Dasar-dasar perencanaan tersebut berdasarkan referensi-referensi dari buku-buku dan peraturan-peraturan standar yang berlaku serta dari data-data yang kami dapatkan sehingga dapat diketahui gambaran perencanaan struktur gedung ICT UNDIP.

Perencanaan struktur merupakan tahap yang penting dalam sebuah proyek sebelum berlanjut ke tahap pelaksanaan. Oleh karena itu, dalam perencanaan struktur gedung ICT UNDIP perlu dilakukan studi pustaka untuk mengetahui dasar-dasar teori dari tahap perencanaan struktur dan hubungan antara susunan fungsional gedung dengan sistem struktural yang akan digunakan.

Pada bab ini akan dijelaskan tentang mengenai konsep pemilihan sistem struktur dan konsep perencanaan struktur bangunan tahan gempa yang telah disesuaikan dengan syarat-syarat dasar perencanaan suatu gedung bertingkat yang berlaku di Indonesia seperti Standar Nasional Indonesia (SNI), sehingga diharapkan hasil yang akan diperoleh nantinya tidak akan menimbulkan kegagalan struktur.

Pada perencanaan struktur gedung ini digunakan balok dan kolom sebagai elemen-elemen utama struktur. Balok dan kolom merupakan struktur yang dibentuk dengan cara meletakkan elemen kaku horisontal diatas elemen kaku vertikal. Secara umum jenis-jenis material yang digunakan untuk membuat elemen-elemen struktur yang biasa digunakan untuk bangunan gedung adalah struktur baja (*steel structure*), struktur komposit (*composite structure*), struktur kayu (*wooden structure*), struktur beton bertulang cor di tempat (*cast in situ reinforced concrete structure*), struktur beton pracetak (*precast concrete structure*), dan struktur beton prategang (*prestressed concrete structure*). Material struktur yang digunakan untuk perencanaan struktur gedung ICT UNDIP pada Laporan Tugas Akhir ini adalah struktur beton bertulang (*reinforced concrete structure*).

2.2. KONSEP DISAIN / PERENCANAAN STRUKTUR

2.2.1. Resiko Terjadinya Gempa

Berdasarkan akibat-akibat yang dapat ditimbulkan oleh bencana gempa di Indonesia, maka perlu adanya upaya-upaya untuk menekan bahaya bencana yang diakibatkan oleh gempa. Aspek rekayasa gempa sangat perlu diterapkan pada rekayasa struktur, agar bangunan mempunyai ketahanan yang baik terhadap pengaruh gempa.

Konsep keamanan dari suatu struktur terhadap pengaruh gempa, harus dikaitkan dengan risiko atau peluang terjadinya (*incidence risk*) gempa tersebut selama umur rencana (*design life time*) dari struktur bangunan yang ditinjau. Karena gempa merupakan peristiwa probabilistik, maka gempa dengan kekuatan atau intensitas tertentu, mempunyai periode ulang (*return period*) yang tertentu pula. Dengan demikian, jika risiko terjadinya suatu gempa selama umur rencana bangunan sudah tertentu, maka periode ulang dari gempa tersebut sudah tertentu pula. Hubungan antara umur rencana bangunan, periode ulang gempa, dan risiko terjadinya gempa, berdasarkan teori probabilitas dapat dinyatakan dalam suatu persamaan matematika sebagai berikut :

$$R_N = \left\{ 1 - \left[1 - \frac{1}{(a)} \right]^{(b)} \right\} \times 100\%$$

dimana : R_N = Risiko terjadinya gempa selama umur rencana (%)

T_R = Periode ulang terjadinya gempa (tahun)

N = Umur rencana dari bangunan (tahun)

Dalam standar gempa yang baru dicantumkan bahwa, untuk perencanaan struktur bangunan terhadap pengaruh gempa digunakan **Gempa Rencana**. Gempa Rencana adalah gempa yang peluang atau risiko terjadinya dalam periode umur rencana bangunan 50 tahun adalah 10% ($R_N = 10\%$), atau gempa yang periode ulangnya adalah 500 tahun ($T_R = 500$ tahun).

Dengan menggunakan Gempa Rencana ini, struktur dapat dianalisis secara elastis untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang bekerja pada tiap-tiap elemen struktur. Gaya-gaya dalam ini setelah dikombinasikan dengan gaya-gaya dalam yang diakibatkan oleh beban mati dan

beban hidup, kemudian digunakan untuk mendimensi penampang dari elemen struktur sesuai dengan standar desain yang berlaku.

2.2.2 Prinsip-Prinsip Utama Konstruksi Tahan Gempa

1. Denah yang sederhana dan simetris

Penyelidikan kerusakan akibat gempa menunjukkan pentingnya denah bangunan yang sederhana dan elemen-elemen struktur penahan gaya horisontal yang simetris. Struktur seperti ini dapat menahan gaya gempa lebih baik karena kurangnya efek torsi dan kekuatannya yang lebih merata.

2. Bahan bangunan harus ringan mungkin

Seringkali, oleh karena ketersedianya bahan bangunan tertentu, seringkali menggunakan bahan bangunan yang berat, tapi jika mungkin sebaiknya dipakai bahan bangunan yang ringan. Hal ini dikarenakan besarnya beban inersia gempa adalah sebanding dengan berat bahan bangunan.

3. Perlunya sistem konstruksi penahan beban yang memadai

Supaya suatu bangunan dapat menahan gempa, gaya inersia gempa harus dapat disalurkan dari tiap-tiap elemen struktur kepada struktur utama gaya horisontal yang kemudian memindahkan gaya-gaya ini ke pondasi dan ke tanah.

Sangat penting bahwa struktur utama penahan gaya horizontal itu bersifat duktail. Karena jika kekuatan elastis dilampaui keruntuhan getas yang tiba-tiba tidak akan terjadi, tetapi pada beberapa tempat tertentu akan terjadi leleh terlebih dulu. Tiap-tiap bangunan harus mempunyai jalur lintasan gaya (cara dimana gaya-gaya tersebut dialirkan) yang cukup untuk dapat menahan gaya gempa horisontal.

Konsep desain tahan gempa yang umum digunakan adalah konsep *capacity design*. Konsep ini merupakan konsep desain yang memperhitungkan distribusi momen ketika ada bagian dari struktur yang sudah mengalami leleh sehingga pada struktur akan terbentuk sendi plastis yang menyebabkan terjadinya mekanisme keruntuhan plastis.

Filosofi dasar dari perencanaan struktur bangunan tahan gempa adalah terdapatnya komponen struktur yang diperbolehkan untuk mengalami kelelahan. Salah satu aspek penting

dalam merekayasa bangunan tahan gempa adalah daktilitas. Daktilitas didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk berdeformasi secara plastik. Sebaliknya, kegetasan adalah kualitas bahan yang menyebabkan keretakan tanpa mengalami deformasi plastik. Dalam perspektif tersebut, baja struktur adalah material yang paling daktil yang secara luas digunakan dalam rekayasa material.

Pada konsep perencanaan struktur bangunan tahan gempa harus diperhitungkan kemampuannya dalam memikul beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, di antaranya adalah beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi adalah beban mati struktur dan beban hidup, sedangkan yang termasuk beban lateral adalah beban angin dan beban gempa.

Tujuan desain bangunan tahan gempa adalah untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur dan kehilangan korban jiwa. Untuk mencapai kriteria tersebut, perencanaan bangunan struktur tahan gempa harus dapat memperhitungkan dampak dari gaya lateral yang bersifat siklis (bolak-balik) yang dialami oleh struktur selama terjadinya gempa bumi. Untuk memikul gaya lateral yang dialami oleh bangunan, struktur harus dapat memiliki daktilitas yang memadai di daerah *joint* atau elemen struktur tahan gempa seperti bresing, link, atau dinding geser.

Perencanaan struktur dapat direncanakan dengan mengetahui skenario keruntuhan dari struktur tersebut dalam menahan beban maksimum yang bekerja. Pelaksanaan konsep desain kapasitas struktur adalah memperkirakan urutan kejadian dari kegagalan suatu struktur berdasarkan beban maksimum yang dialami struktur. Sehingga kita merencanakan bangunan dengan elemen-elemen struktur tidak dibuat sama kuat terhadap gaya yang direncanakan, tetapi ada elemen-elemen struktur atau titik pada struktur yang dibuat lebih lemah dibandingkan dengan yang lain dengan harapan di elemen atau titik itulah kegagalan struktur terjadi pada saat beban gempa maksimum bekerja.

Pada prinsipnya, dengan Konsep Desain Kapasitas elemen-elemen utama penahan beban gempa dapat dipilih dengan merencanakan agar kolom-kolom lebih kuat dari balok-balok portal (*strong column-weak beam*) sehingga bangunan mampu mendistribusikan energi gempa dengan deformasi inelastis yang cukup besar tanpa runtuh, sehingga mekanisme bangunan yang telah dipilih dapat dipertahankan saat gempa kuat.

2.2.3. Sistem Struktur

Sistem struktur bangunan gedung ada dua, yaitu sistem rangka penahan momen dan sistem rangka dengan diafragma vertikal.

Sistem struktur yang berbentuk rangka penahan momen (*moment-resisting frame*), merupakan sistem struktur yang paling banyak digunakan. Pada struktur portal beton bertulang, sistem Rangka Penahan Momen dapat berbentuk struktur portal yang dicor di tempat (*cast-in-place frame*), atau struktur portal yang disusun oleh elemen-elemen pracetak (*precast frame*). Sistem struktur portal beton yang dicor ditempat, dapat berbentuk : sistem portal yang tersusun oleh elemen balok (*beam*) dan elemen kolom (*column*), sistem portal yang tersusun oleh elemen pelat (*flat slab*) dan elemen kolom, dan sistem portal yang tersusun oleh elemen pelat dan dinding pemikul beban (*load bearing wall*).

Pada struktur portal yang dicor ditempat, tidak diperlukan adanya sambungan khusus dari elemen-elemen struktur. Sambungan elemen pada umumnya bersifat kaku dan monolit. Pada struktur portal dengan elemen-elemen pracetak, umumnya digunakan pengelasan untuk membuat sambungan antar elemen. Untuk menjamin keruntuhan yang bersifat daktail dari struktur akibat pembebanan yang berulang, dianjurkan untuk merancang bagian sambungan (*joint*) lebih kuat dari elemen-elemen yang disambung.

Pada Struktur gedung ICT UNDIP ini direncanakan menggunakan jenis struktur rangka penahan momen (*Momen resisting Frame*) dimana struktur menggunakan bahan beton bertulang yang dicor ditempat (*Cast in place*). Pemilihan jenis ini diharapkan dapat diperoleh keseragaman kekakuan dari struktur serta struktur bersifat monolit.

➤ **Sistem rangka pemikul momen** adalah sistem rangka ruang dalam mana komponen-komponen struktur dan join-joinnya menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial. Sistem rangka pemikul momen dapat dikelompokkan sebagai berikut :

a) Rangka pemikul momen biasa

Suatu sistem rangka yang memenuhi ketentuan-ketentuan pasal 3 hingga pasal 20 SK SNI 03 - xxxx – 2002 (Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung). Dengan faktor reduksi maksimum untuk baja 4,5 dan beton bertulang 3,5.

b) Rangka pemikul momen menengah

Suatu sistem rangka yang selain memenuhi ketentuan-ketentuan untuk rangka pemikul momen biasa juga memenuhi ketentuan-ketentuan untuk 23.2(2(3)) dan 23.10 SK SNI 03 - xxxx – 2002).

- Detail penulangan komponen SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan 23.10(4), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi ($10 'c Ag f$). Bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur melebihi ($10 'c Ag f$), maka 23.10(5) harus dipenuhi kecuali bila dipasang tulangan spiral sesuai persamaan 27. Bila konstruksi pelat dua arah tanpa balok digunakan sebagai bagian dari sistem rangka pemikul beban lateral, maka detail penulangannya harus memenuhi 23.10(6).
- Kuat geser rencana balok, kolom, dan konstruksi pelat dua arah yang memikul beban gempa tidak boleh kurang daripada:
 - (1) Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan gaya lintang akibat beban gravitasi terfaktor, atau
 - (2) Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk pengaruh beban gempa, E , dimana nilai E diambil sebesar dua kali nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahap gempa.
- Faktor daktilitas maksimum (μ_m) = 3,3, faktor reduksi gempa maksimum (R_m) = 5,2 dan faktor tahanan lebih struktur (f_1) = 2,8

c) Rangka pemikul momen khusus

Suatu sistem rangka yang selain memenuhi ketentuan-ketentuan untuk rangka pemikul momen biasa juga memenuhi ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

- Gaya aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak boleh melebihi $'c0,1Agf$.
- Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.
- Perbandingan lebar terhadap tinggi tidak boleh kurang dari 0,3.
- Lebarnya tidak boleh (a) kurang dari 250 mm, dan (b) lebih dari lebar komponen struktur pendukung (diukur pada bidang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen struktur lentur) ditambah jarak pada tiap sisi komponen struktur pendukung yang tidak melebihi tiga perempat tinggi komponen struktur lentur.

- Faktor daktilitas maksimum (μ_m) = 5,2, faktor reduksi gempa maksimum (R_m) = 8,5 dan faktor tahanan lebih struktur (f_1) = 2.8

2.2.4. Metode Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa

Metode analisis yang dapat digunakan untuk memperhitungkan pengaruh beban gempa terhadap struktur adalah sebagai berikut:

1. Metode Analisis Statis

Merupakan analisis sederhana untuk menentukan pengaruh gempa tetapi hanya digunakan pada bangunan sederhana dan simetris, penyebaran kekakuan massa menerus, dan ketinggian tingkat kurang dari 40 meter.

Analisis statis prinsipnya menggantikan beban gempa dengan gaya - gaya statis ekuivalen bertujuan menyederhanakan dan memudahkan perhitungan, dan disebut Metode Gaya Lateral Ekuivalen (*Equivalent Lateral Force Method*), yang mengasumsikan gaya gempa besarnya berdasarkan hasil perkalian suatu konstanta/massa dan elemen struktur tersebut.

2. Metode Analisis Dinamis

Analisis Dinamis dilakukan untuk evaluasi yang akurat dan mengetahui perilaku struktur akibat pengaruh gempa yang sifatnya berulang. Analisis dinamik perlu dilakukan pada struktur-struktur bangunan dengan karakteristik sebagai berikut:

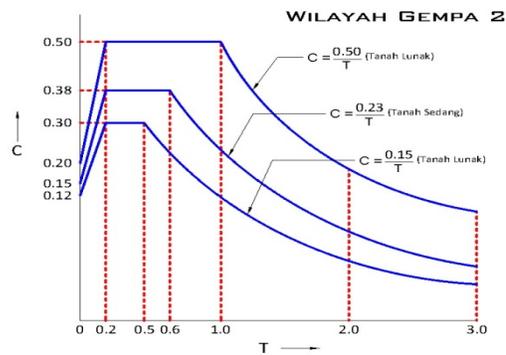
- a. Gedung - gedung dengan konfigurasi struktur sangat tidak beraturan
- b. Gedung - gedung dengan loncatan - loncatan bidang muka yang besar
- c. Gedung - gedung dengan kekakuan tingkat yang tidak merata
- d. Gedung - gedung dengan yang tingginya lebih dan 40 meter

Prosedur analisa dinamik yang dapat digunakan untuk menentukan besarnya beban gempa pada struktur seperti yang tercantum di dalam standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI 03-1726-2002), adalah Analisis Respon Dinamik Riwayat Waktu (*Time History Analysis*) yang memerlukan rekaman percepatan gempa rencana dan Analisis Ragam Spektrum Respon (*Spectrum Modal Analysis*) dimana respon maksimum dan tiap ragam getar yang terjadi didapat dari Spektrum Respon Rencana (*Design Spectra*).

Dengan mengacu pada ketentuan-ketentuan di atas dan berdasarkan denah serta konfigurasi bangunan yang ada, maka Struktur gedung ICT UNDIP yang akan dianalisis merupakan struktur bangunan gedung dengan bentuk yang beraturan. Dengan demikian, pengaruh gempa pada bangunan ini dapat ditinjau sebagai pengaruh beban gempa statik ekuivalen, dan analisisnya dapat dilakukan dengan metode analisis statik.

Faktor Respon Gempa

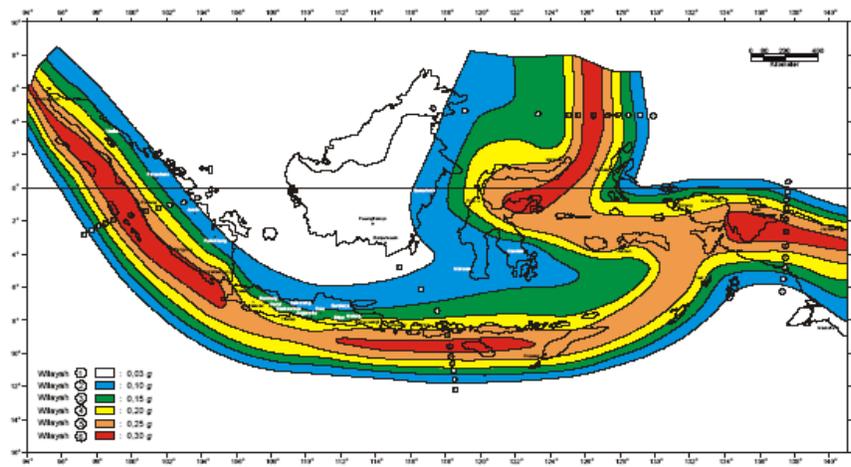
Gedung berlokasi di wilayah gempa 2 dari zona gempa Indonesia. Diagram Respon Spektrum Gempa Rencana untuk wilayah gempa 2, diperlihatkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.1. Spektrum Respon Wilayah Gempa 2

Harga dari faktor respon gempa dapat ditentukan dari Diagram Spektrum Respon Gempa Rencana, sesuai dengan wilayah gempa dan kondisi jenis tanahnya untuk waktu getar alami fundamental.

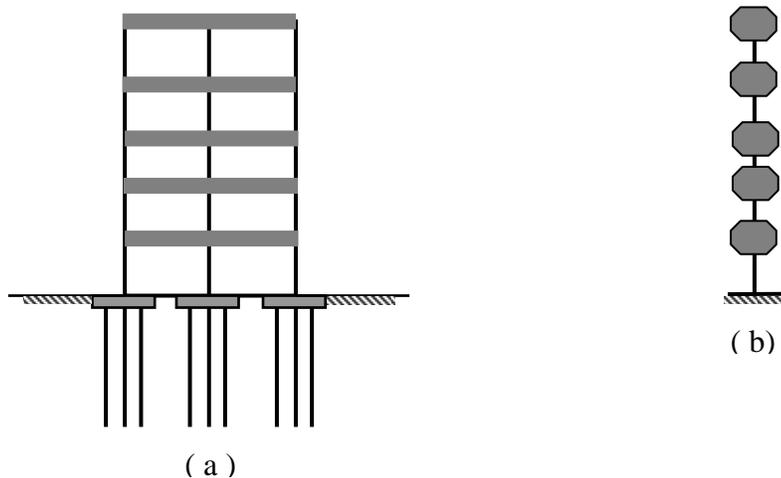
Peta Wilayah Gempa Indonesia dibuat berdasarkan analisis probabilistik bahaya gempa (*probabilistic seismic hazard analysis*), yang telah dilakukan untuk seluruh wilayah Indonesia berdasarkan data seismotektonik mutakhir yang tersedia saat ini. Data masukan untuk analisis pembuatan peta gempa adalah, lokasi sumber gempa, distribusi magnitudo gempa di daerah sumber gempa, fungsi perambatan gempa (atenuasi) yang memberikan hubungan antara gerakan tanah setempat, magnitudo gempa di sumber gempa, dan jarak dari tempat yang ditinjau sampai sumber gempa, serta frekuensi kejadian gempa per tahun di daerah sumber gempa.



Gambar 2.2. Pembagian Daerah Gempa di Indonesia (Sumber : SNI 1726 – 2002)

Ragam Getar Struktur

Pada perhitungan distribusi beban gempa dengan cara analisis dinamik, struktur bangunan gedung dengan berat atau massa setiap tingkat dipusatkan pada bidang lantainya. Pemodelan massa bangunan seperti ini disebut model massa terpusat (*lumped mass model*), yang bertujuan untuk mengurangi jumlah derajat kebebasan yang terdapat pada struktur.



Gambar 2.3. Model struktur bangunan gedung untuk analisis dinamik : (a). Model struktur portal. (b). Model massa terpusat

Diperlihatkan struktur bangunan gedung 5 lantai yang dimodelkan sebagai bangunan geser dengan massa-massa terpusat pada bidang lantainya. Struktur mendapat pengaruh gempa pada tanah dasar.

2.3. KRITERIA DESAIN

Desain merupakan perhitungan setelah dilakukan analisis struktur. Lingkup desain pada struktur beton konvensional meliputi pemilihan dimensi elemen dan perhitungan tulangan yang

diperlukan agar penampang elemen mempunyai kekuatan yang cukup untuk memikul beban – beban pada kondisi kerja (*service load*) dan kondisi batas (*ultimate load*).

Struktur dirancang dengan konsep kolom kuat balok lemah (*strong column weak beam*), dimana sendi plastis direncanakan terjadi di balok untuk meratakan energi gempa yang masuk. Elemen struktur bangunan gedung ini merupakan bagian dari sistem struktur statis tak tentu, sehingga proses analisis dan desain akan memerlukan prosedur yang berulang – ulang atau lebih dikenal dengan *trial and error*.

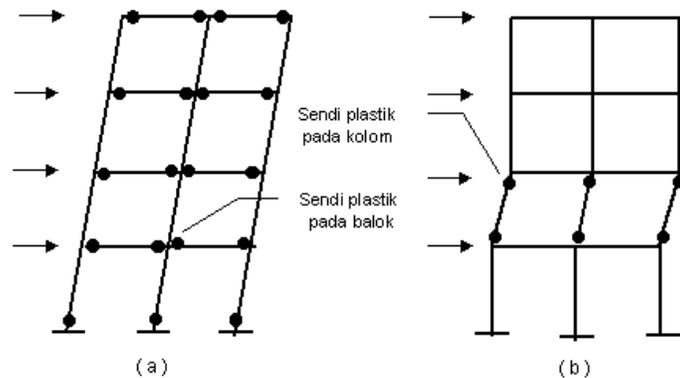
Dalam desain struktur bangunan perlu direncanakan dengan dimensi se-ekonomis mungkin, namun struktur tersebut mampu memikul beban-beban yang bekerja dan tidak mengalami keruntuhan pada saat terjadi Gempa kuat, untuk itu sistem struktur harus bersifat duktail. Pada prosedur Desain Kapasitas, elemen-elemen dari struktur bangunan yang akan memancarkan energi gempa melalui mekanisme perubahan bentuk atau deformasi plastis, dapat terlebih dahulu dipilih dan ditentukan tempatnya. Sedangkan elemen-elemen lainnya, direncanakan dengan kekuatan yang lebih besar untuk menghindari terjadinya kerusakan. Pada struktur beton bertulang, tempat-tempat terjadinya deformasi plastis yaitu tempat-tempat dimana penulangan mengalami pelelehan, disebut daerah sendi plastis. Karena pada prosedur perencanaan kapasitas ini terlebih dahulu harus ditentukan tempat-tempat di mana sendi-sendi plastis akan terbentuk, maka dalam hal ini perlu diketahui mekanisme kelelahan yang dapat terjadi pada sistem struktur portal.

2.3.1. Mekanisme Keruntuhan

Kedua jenis mekanisme kelelehen atau terbentuknya sendi-sendi plastis pada struktur portal adalah :

- a) Mekanisme Kelelehan pada Balok (*Beam Sidesway Mechanism*), yaitu keadaan dimana sendi-sendi plastis terbentuk pada balok-balok dari struktur bangunan, akibat penggunaan kolom-kolom yang kuat (*Strong Column–Weak Beam*).

- b) Mekanisme Kelelahan pada Kolom (*Column Sidesway Mechanism*), yaitu keadaan dimana sendi-sendi plastis terbentuk pada kolom-kolom dari struktur bangunan pada suatu tingkat, akibat penggunaan balok-balok yang kaku dan kuat (*Strong Beam–Weak Column*)



Gambar 2.4. Sendi Plastis pada Balok (a) dan pada Kolom (b)

Pada perencanaan struktur portal daktail dengan metode Desain Kapasitas, mekanisme kelelahan yang dipilih adalah *Beam Sidesway Mechanism*, karena alasan-alasan sebagai berikut :

- Pada *Column Sidesway Mechanism*, kegagalan dari kolom pada suatu tingkat akan mengakibatkan keruntuhan dari struktur bangunan secara keseluruhan.
- Pada struktur dengan kolom-kolom yang lemah dan balok-balok yang kuat (*strong beam– weak column*), deformasi akan terpusat pada tingkat-tingkat tertentu, sehingga daktilitas yang diperlukan oleh kolom agar dapat dicapai daktilitas dari struktur yang disyaratkan, sulit dipenuhi.

Kerusakan-kerusakan yang terjadi pada kolom-kolom bangunan, akan lebih sulit diperbaiki dibandingkan jika kerusakan terjadi pada balok. Jadi mekanisme kelelehen pada portal yang berupa *Beam Sidesway Mechanism*, merupakan keadaan keruntuhan struktur bangunan yang lebih terkontrol. Pemilihan perencanaan struktur bangunan dengan menggunakan mekanisme ini membawa konsekuensi bahwa kolom-kolom pada struktur bangunan harus direncanakan lebih kuat dari pada balok-balok struktur, sehingga dengan demikian sendi-sendi plastis akan terbentuk lebih dahulu pada balok.