

TUGAS AKHIR

**TINJAUAN PERENCANAAN STRUKTUR ATAS DAN
PENERAPAN KRITERIA BANGUNAN TAHAN
GEMPA (STUDI KASUS SEKOLAH DIAN
HARAPAN PANIKI MANADO)**

Diajukan Sebagai Persyaratan Untuk Menyelesaikan Studi Pada
Program Studi Diploma IV Konsentrasi Bangunan Gedung
Jurusan Teknik Sipil

Oleh :

Daniel M. Manoppo
NIM. 12 012 008

Dosen Pembimbing

Ir. Julius E. Tenda, MT.
NIP. 19620711 199403 1 001

Ir. Charles H. L. Sulangi, MMT.
NIP. 19581031 199403 1 001



**KEMENTRIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
POLITEKNIK NEGERI MANADO
JURUSAN TEKNIK SIPIL
2016**

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Beban dan Muatan Pada Gedung

Berdasarkan PPIUG 1983 pembebanan pada gedung dikelompokkan dalam beberapa kategori yaitu : beban mati; beban hidup; beban angin; beban gempa; dan beban khusus.

1. Beban Mati

Beban mati ialah gaya akibat semua bagian gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta segala peralatan yang tidak terpisahkan dari bangunan. Dalam Tabel 2.1. dan 2.2. dapat dilihat beberapa berat bahan konstruksi maupun komponen-komponen pelengkap yang biasa digunakan.

Tabel 2.1. Berat Isi Bahan Bangunan

No.	Bahan Bangunan	Berat Isi (kg/m ³)
1.	Baja	7.850
2.	Batu alam	2.600
3.	Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1.500
4.	Batu karang (berat tumpuk)	700
5.	Batu pecah	1.450
6.	Besi tuang	7.250
7.	Beton	2.200
8.	Beton bertulang	2.400
9.	Kayu (Kelas I)	1.000
10.	Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1.650
11.	Pasangan bata merah	1.700
12.	Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2.200
13.	Pasangan batu cetak	2.200
14.	Pasangan batu karang	1.450
15.	Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600
16.	Pasir (jenuh air)	1.800
17.	Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.850
18.	Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700
19.	Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000
20.	Timah hitam (timbel)	11.400

(Sumber : PPIUG 1983)

Tabel 2.2. Berat Komponen Gedung

No.	Bahan Bangunan	Berat (kg/m ²)
1.	Adukan, per cm tebal : - dari semen - dari kapur	21 17
2.	Aspal, beserta bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14
3.	Dinding pasangan bata merah : - satu batu - setengah batu	450 250
4.	Dinding pasangan batako berlubang : - tebal dinding 20 cm (HB 20) - tebal dinding 10 cm (HB 10)	200 120
5.	Dinding pasangan batako tanpa lubang : - tebal dinding 15 cm - tebal dinding 10 cm	300 200
6.	Dinding pasangan bata hebel	57,5
7.	Partisi Horizontal dan Vertikal, dengan rusuk dan tanpa penggantung : - semen asbes dan bahan sejenis tebal maksimum 4 mm - kaca, tebal 3 – 4 mm	11 10
8.	Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dan bentang maksimum 5 m dimana beban hidup yang bekerja $\leq 200 \text{ kg/m}^2$	40
9.	Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak sisi ke sisi minimum 0,80 m	7
10.	Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per luasan bidang atap	50
11.	Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso per luasan bidang atap	40
12.	Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gording	10
13.	Penutup atap galvalum per luasan bidang atap tanpa gording	12
14.	Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24
15.	Semen asbes gelombang tebal 5 mm	11

(Sumber : PPIUG 1983)

2. Beban Hidup

Beban hidup merupakan berat akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dimana hal tersebut berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin dan peralatan tidak tetap.

Biasanya beban hidup ini terjadi pada pelat lantai maupun atap yang disebabkan oleh penghuni, pekerja, perabotan, dan sebagainya. Khusus untuk atap termasuk berat air hujan baik akibat genangan maupun tekanan jatuh butirannya. Dalam Tabel 2.3. diuraikan beberapa nilai pembebanan ini berdasarkan fungsi dari masing-masing ruangan.

Tabel 2.3. Beban Hidup pada Lantai Gedung

No.	Fungsi Ruangan	Beban Hidup (kg/m ²)
1.	Lantai dan tangga rumah tinggal, selain disebutkan dalam 2	200
2.	Lantai dan tangga rumah sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk took, pabrik, dan bengkel	125
3.	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, restoran, hotel, asrama, dan rumah sakit	250
4.	Lantai ruang olahraga	400
5.	Lantai ruang dansa	500
6.	Lantai dan balkon-dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain dari 1 s/d 5, seperti masjid, gereja, pegelaran, bioskop, ruang rapat, dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap	400
7.	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri	500
8.	Tangga, bordes, dan gang dari yang disebut dalam 3	300
9.	Tangga, bordes, dan gang dari yang disebut dalam 4 s/d 7	500
10.	Lantai ruang perlengkapan dari yang disebut dalam 3 s/d 7	250
11.	Lantai untuk : pabrik; bengkel; gudang; perpustakaan; ruang arsip; toko buku; toko besi; ruang alat-alat; dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri, dengan minimum	400
12.	Lantai gedung parkir - lantai bawah bertingkat : - lantai tingkat lainnya	800 400
13.	Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum	300

(Sumber : PPIUG 1983)

a) Reduksi Beban Hidup

Untuk mencapai suatu prosentase tertentu dari beban hidup yang bergantung pada bagaian struktur pemikul; penggunaan gedung; dan ditinjau untuk apa hal tersebut, maka pembebanan ini harus dikalikan oleh suatu nilai atau faktor reduksi (Tabel 2.4.).

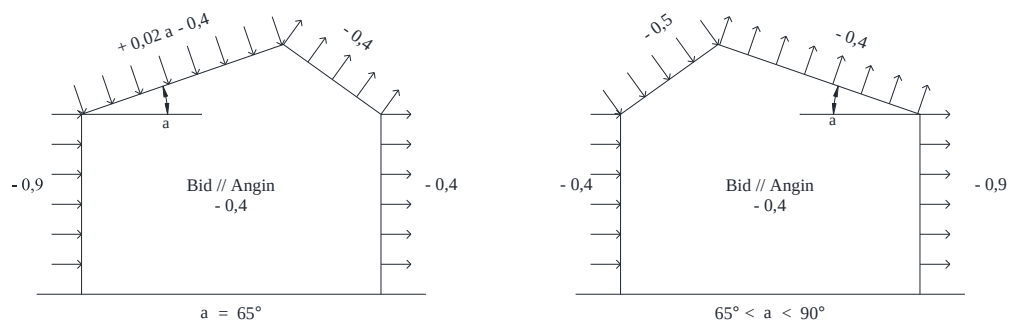
Tabel 2.4. Koefisien Reduksi Beban Hidup Kumulatif

Jumlah Lantai Tingkat	Koefisien Reduksi Beban Hidup
1	1,0
2	1,0
3	0,9
4	0,8
5	0,7
6	0,6
7	0,5
8 dan lebih	0,4

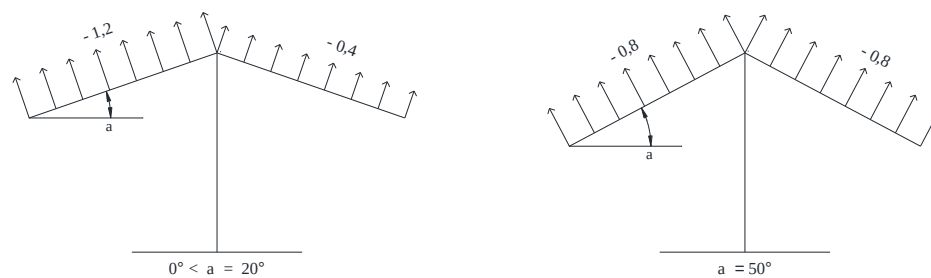
(Sumber : PPIUG 1983)

3. Beban Angin

Beban angin disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara, dengan kata lain merupakan hasil dari hembusan angin pada bagian gedung. Hal ini dianggap menghasilkan represi positif dan negatif serta bekerja tegak lurus bidang yang dibebani. Besarnya tiupan (+) maupun hisapan (-) akibat gaya tersebut ditentukan dengan mengalikan kekuatan tiup angin dengan koefisien-koefisien (Gambar 2.1.) tertentu berdasarkan geometrik bagian tinjauan.



(a) Koefisien Angin Gedung Tertutup



(b) Koefisien Angin Atap Pelana Biasa Tanpa Dinding

Gambar 2.1 koefisien Angin

Adapun beberapa ketentuan mengenai tekanan angin berdasarkan PPIUG 1983 yang ditinjau terhadap lokasi dan keadaan geografis sekitar gedung berada atau dibangun, dimana hal-hal tersebut diuraikan sebagai berikut ini :

- Tekanan tiup minimum 25 kg/m^2 , kecuali seperti dalam butir (2), (3), dan (4).
- Tekanan tiup di laut dan tepinya sampai sejauh 5 km dari pantai diambil minimum 40 kg/m^2 , kecuali yang ditentukan dalam butir (3), dan (4).
- Untuk daerah di dekat laut serta lokasi lain tertentu, dimana kecepatan angin pada wilayah itu mungkin menghasilkan tekanan tiup lebih besar dari pada yang di tentukan dalam butir (1) dan (2), nilainya sesuai persamaan (1).

$$P_w = \frac{V^2}{16} \quad (1)$$

dimana V adalah kecepatan angin dalam m/det, yang ditentukan oleh instansi yang berwenang.

- d) Pada cerobong tekanan tiup angin harus ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

$$P_w = 42,5 + 0,6 \times h \quad (2)$$

dimana, h merupakan tinggi keseluruhan cerobong, diukur dari lapangan yang berbatasan.

- e) Apabila dapat dijamin suatu gedung terlindung efektif dari angin terhadap arah tertentu oleh bangunan-bangunan lain; hutan; maupun penghalang lain, maka nilai tekanan tiup berdasarkan butir (1) s/d (4) dikalikan dengan koefisien reduksi sebesar 0,5.

4. Beban Gempa

Beban gempa terjadi akibat gerakan lapisan batuan di bawah bangunan yang merupakan hasil dari pergeseran lapisan kulit bumi karena adanya aktivitas vulkanik di dalam perut bumi. Besarnya hal tersebut ditentukan oleh beberapa parameter yakni jenis tanah; wilayah kegempaan tempat gedung berdiri; berat gedung; jumlah tingkat; dan sistem struktur yang digunakan.

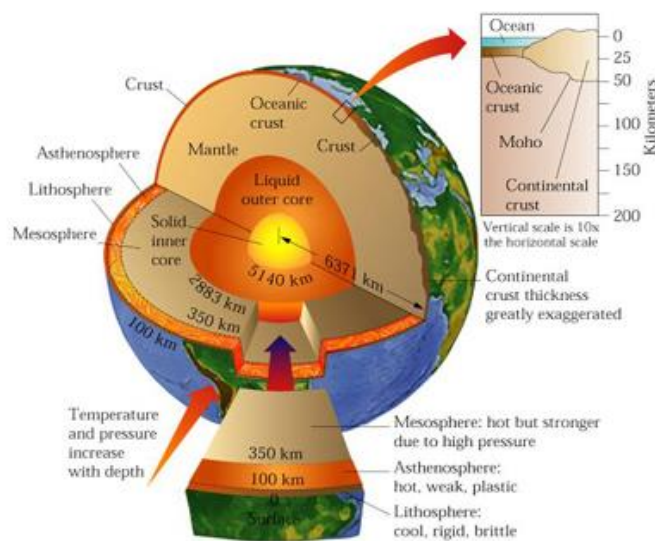
5. Beban Khusus

Beban khusus bekerja pada seluruh bagian gedung yang diakibatkan oleh pengaruh-pengaruh tidak langsung seperti selisih suhu; pengangkatan dan pemasangan; penurunan pondasi; susut; gaya rem, serta sentrifugal atau parabola.

2.2. Gempa

Dalam bidang teknik sipil gempa didefinisikan sebagai getaran kuat yang terjadi sesaat, disebabkan oleh pergeseran lempeng tektonik bumi sebagai suatu fungsi adanya tekanan dari dalam perut bumi dari hasil aktivitas vulkanik, dimana hal tersebut memberikan beban lateral tambahan pada struktur bangunan.

Bumi sendiri terbagi atas beberapa lapisan seperti pada Gambar 2.2, dimana *litosfer* merupakan kulit terluar dan *solid inner core* merupakan intinya yang merupakan pusat aktivitas vulkanik.

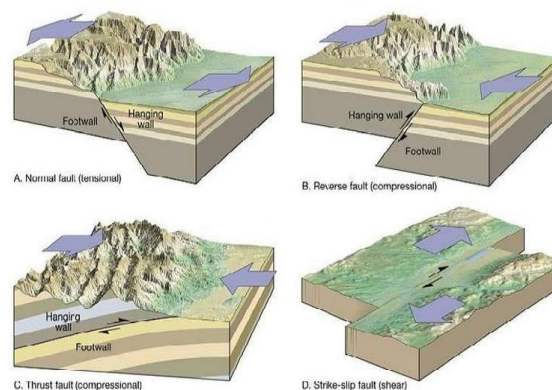


Gambar 2.2. Lapisan Bumi

Gempa sendiri dapat dikelompokkan berdasarkan penyebab terjadinya yang mana hal-hal tersebut seperti diuraikan di bawah ini :

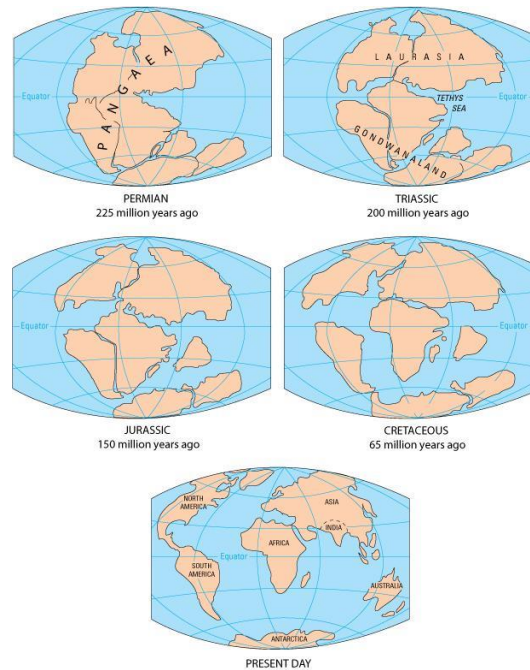
1. Gempa Tektonik

Gempa yang terjadi akibat patahnya lapisan kulit bumi, dimana hal tersebut disebabkan oleh gerakan lempeng tektonik sebagai fungsi dari aktifitas di dalam perut planet ini yang memberikan tekanan kesegala arah. Jenis-jenis patahan yang sering terjadi dapat dilihat dalam Gambar 2.3.

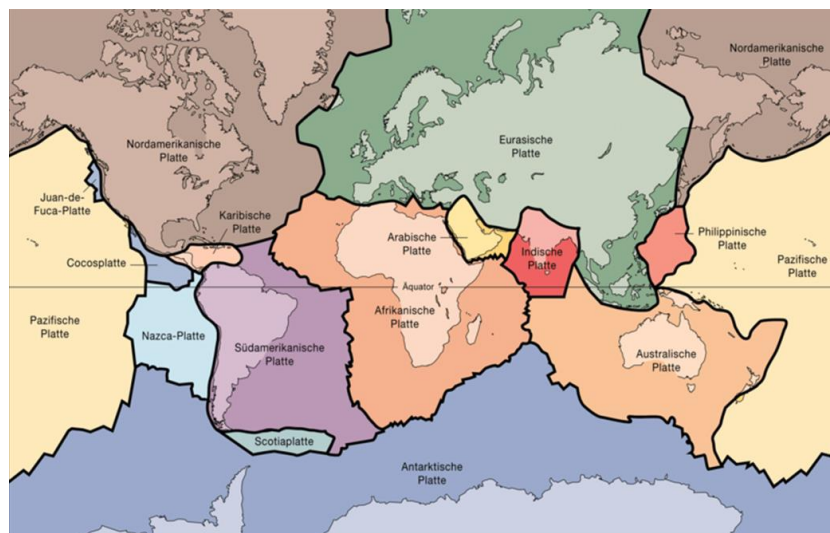


Gambar 2.3. Jenis-jenis Patahan Akibat Pergeseran Lempeng Tektonik

Gempa ini yang paling banyak menjadi gaya luar penyebab kerusakan dalam bidang teknik sipil, dikarenakan lempeng tektonik merupakan segmen keras terapung di atas astenosfer cair dan panas dimana ia bebas bergerak serta berinteraksi satu sama lain. Pergerakan lapisan ini juga menyebabkan terbentuknya pulau-pulau; benua; dan samudra, dalam Gambar 2.3. disajikan proses evolusi dari kulit bumi, serta Gambar 2.4. merupakan lempeng duni zaman sekarang.



Gambar 2.4. Evolusi Lempeng Benua



Gambar 2.5. Lempeng Tektonik Dunia

2. Gempa Vulkanik

Gempa akibat aktivitas vulkanik dari gunung berapi, dimana terjadi karena adanya gerakan magma dalam perut bumi yang bergerak ke luar menyebabkan terjadi gempa. Biasa terjadi sebelum atau sesudah erupsi dan getarannya dapat dirasakan selama beberapa jam hingga hari.

3. Gempa Tumbukan/Jatuhan

Gempa ini terjadi karena adanya benda-benda (contohnya asteroid / meteor) yang menghantam atau membentur permukaan bumi sehingga tanah disekitar tempat jatuhnya menjadi bergetar.

4. Gempa Akibat Ledakan

Gempa akibat peledakan yang menyebabkan suatu pelepasan energi dan menghasilkan suatu guncangan ataupun getaran.

2.2.1. Pusat Gempa

Pusat gempa merupakan titik dimana terjadinya patahan lempeng tektonik; aktivitas vulkanik; tumbukan; dan ledakan. Ukuran dari hal ini adalah *hypocenter* yang merupakan kedalaman getaran, serta *epicenter* yaitu jarak tegak lurus *hypocenter* ke titik tinjauan.

2.2.2. Macam-macam Gelombang Gempa

Gelombang gempa dapat dibedakan dalam dua kategori utama yaitu : gelombang dalam; dan gelombang permukaan. Dimana, keduanya ditinjau berdasarkan perambatannya.

1. Gelombang Dalam

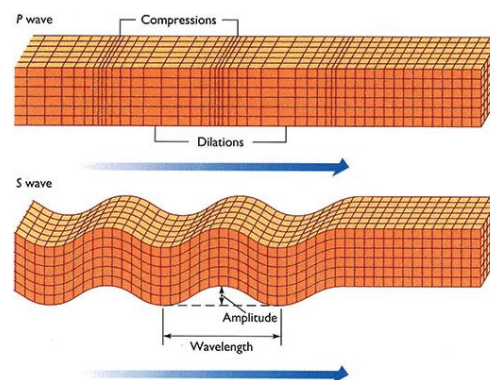
Gelombang gempa yang terjadi di dalam bumi dimana dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua) kategori yakni :

a) Gelombang Primer (*P-Wave*)

Gelombang longitudinal yang arah gerakan partikelnya searah dengan rambatannya; dapat merambat disemua jenis medium dimana kecepatannya diudara 330 m/det, diair 1.45 m/det, dan digranit 5.000 m/det; relative paling lembut dibandingkan lainnya; serta amplitudo kecil.

b) Gelombang Sekunder (*S-Wave*)

Gelombang transversal yang arah gerakan partikelnya tegak lurus dengan rambatannya; kecepatannya 60 % *P-Wave*; hanya dapat merambat pada medium padat; serta efek kerusakan dan amplitudo > *P-Wave*.



Gambar 2.6. Gelombang Dalam

2. Gelombang Permukaan

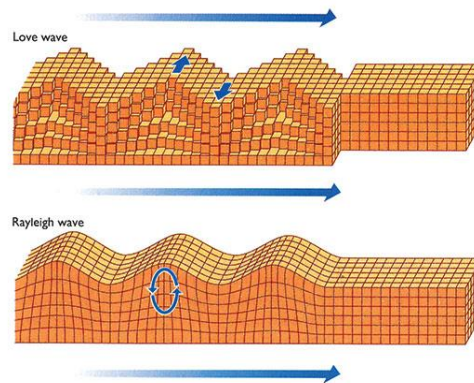
Gelombang yang merambat di atas permukaan bumi atau dengan kata lain pada lempeng kulit bumi, jenis ini dapat dikategorikan menjadi 2 (dua) tipe yaitu :

a) Gelombang Cinta (*Love Wave*)

Gelombang transversal yang arah gerakan partikelnya tegak lurus dengan rambatannya; kecepatannya 70 % *S-Wave*; dan sangat merusak.

b) *Rayleigh Wave*

Gerakan eliptik *retrograde/ground roll* (tanah memutar kebelakang) tapi secara umum arahnya kedepan dengan analogu seperti gelombang laut; kecepatannya 90 % *S-Wave*; dan ditemukan oleh Lord Rayleigh tahun 1885.



Gambar 2.7. Gelombang Permukaan

2.2.3. Skala Gempa

Skala ini bertujuan untuk mendefinisikan besar dari gaya maupun kerusakan yang disebabkan oleh gempa bumi. Secara umum ada dua macam bentuk skala dalam bidang kegempaan yakni Richter dan Mercalli .

1. Skala Richter

Suatu logaritma dari amplitudo maksimum yang diukur dalam satuan mikrometer hasil rekaman gempa oleh instrumen pengukur gempa (seismometer) pada jarak 100 km ditinjau terhadap pusat gempanya.

Tabel 2.5. Skala Richter Beserta Dampak

Skala Richter (SR)	Klasifikasi	Dampak	Frekuensi
< 2,0	Micro	Tidak terasa	8.000/hari
2,0 – 2,9	Minor	Tidak terasa tapi tercatat	1.000/hari
3,0 – 3,9	Minor	Terasa tapi tidak menyebabkan kerusakan	49.000/tahun
4,0 – 4,9	Ringan	Barang-barang bergoyang tidak menyebabkan kerusakan	6.200/tahun
5,0 – 5,9	Sedang	Kerusakan kecil – kerusakan besar	800/tahun
6,0 – 6,9	Kuat	Merusak hingga radius 160 km	120/tahun
7,0 – 7,9	Sangat Kuat	Kerusakan serius pada wilayah lebih besar	18/tahun
8,0 – 8,9	Kuat Sekali	Kerusakan serius pada beberapa ratus mil	1/tahun
9,0 – 9,9	Kuat Sekali	Kerusakan serius pada beberapa ribu mil	1/20 tahun
> 10,0	Hebat	Tidak diketahui	-

(Sumber : Seismoloh Teknik & Rekayasa Kegempaan)

2. Skala Mercalli

Skala ini didasarkan pada informasi pengamatan secara visual dari orang-orang yang selamat dari gempa kemudian dibuat oleh Giuseppe Mercalli pada tahun 1902 di Italia. Ukuran kegempaan ini kurang efektif bila dibandingkan milik Rithcer, karena bersifat subjektif atau menurut pandangan mata saja.

Tabel 2.6. Skala Modifikasi Keamatan Marcalli

Skala	Pengamatan
I	Tidak terasa
II	Terasa oleh orang yang berada di bangunan tinggi
III	Getaran dirasakan seperti ada kereta yang berat melintas.
IV	Getaran dirasakan seperti ada benda berat yang menabrak dinding rumah, benda tergantung bergoyang.
V	Dapat dirasakan di luar rumah, hiasan dinding bergerak, benda kecil di atas rak mampu jatuh.
VI	Terasa oleh hampir semua orang, dinding rumah rusak.
VII	Dinding pagar yang tidak kuat pecah, orang tidak dapat berjalan/berdiri.
VIII	Bangunan yang tidak kuat akan mengalami kerusakan.
IX	Bangunan yang tidak kuat akan mengalami kerusakan tekuk.
X	Jembatan dan tangga rusak, terjadi tanah longsor. Rel kereta api bengkok.
XI	Rel kereta api rusak. Bendungan dan tanggul hancur. Seluruh bangunan hampir hancur dan terjadi longsor besar. Efek bencana yang lain seperti tsunami, dan kebakaran.
XII	Seluruh bangunan hancur lebur. Batu dan barang-barang terlempar ke udara. Tanah bergerak seperti gelombang. Kadang- kadang aliran sungai berubah. Pasir dan lumpur bergeser secara horizontal. Air dapat terlempar dari danau, sungai dan kanal. Diikuti dengan suara gemuruh yang besar. Biasanya bisa menyebabkan longsor besar, kebakaran, banjir, tsunami di daerah pantai, dan aktivitas gunung berapi. Pasir dan tanah halus terlihat meledak.

(Sumber : Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan)

2.3. Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung

Dalam mendesain gedung terhadap gempa asumsi awal adalah struktur bangunan harus masih tetap berdiri setelah di pengaruhi gaya geser rencana akibat beban ini, walaupun sudah berada dalam kondisi diambang keruntuhan namun tidak akan menyebabkan korban jiwa. Besarnya beban tersebut ditetapkan mempunyai periode ulang setiap 500 tahun, agar probabilitas terjadinya terbatas pada 10 % selama umur yang ditargetkan yakni 50 tahun.

1. Kategori Gedung Untuk Perencanaan Ketahanan Gempa

Kategori gedung tergantung pada probabilitas terjadinya keruntuhan struktur selama umur bangunan dan masa pakai yang diharapkan, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan (I) menurut persamaan (3), sedangkan nilainya langsung dapat dilihat dalam Tabel 2.7.

$$I = I_1 \cdot I_2 \quad (3)$$

Tabel 2.7. Faktor Keutamaan (I) untuk Berbagai Kategori Gedung dan Bangunan

Kategori Gedung	Faktor Keutamaan		
	I_1	I_2	I
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

(Sumber : SNI – 1726 – 2002)

2. Kategori Struktur Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan Dalam Penentuan Analisa Gempa

A. Struktur Gedung Beraturan

Suatu struktur gedung beraturan dalam analisisnya terhadap kegempa dapat menggunakan metode statik ekuivalen untuk penentuan beban lateral rencana. Dimana, analisa tersebut dapat dipakai bila geometrik bangunan memenuhi ketentuan-ketentuan kesimetrisan berikut :

- a) Tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 10 tingkat atau 40 m.

- b) Skema bentuk struktur adalah persegi panjang tanpa tonjolan dan jika ada hal tersebut $< 25\%$ ukuran terbesar denah dalam arah tinjauan.
- c) Skema struktur gedung tidak menunjukkan coakan sudut dan walaupun ada panjang sisi takikan tersebut kurang dari 15% dari ukuran terbesar denah dalam arah tinjauan.
- d) Sistem struktur gedung terbentuk oleh subsistem-subsistem penahan beban lateral yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama ortogonal denah bangunan secara keseluruhan.
- e) Sistem struktur gedung tidak menunjukkan loncatan bidang muka dan walaupun terdapat lonjakan, ukuran denah struktur bagian gedung yang menjulang dalam masing-masing arah tidak kurang dari 75% dari nilai terbesar bagian sebelah bawahnya.
 Dalam hal ini, struktur rumah atap yang tingginya kurang dari 3 tingkat tidak perlu dianggap menyebabkan adanya loncatan bidang muka.
- f) Sistem struktur gedung memiliki kekakuan lateral yang beraturan tanpa adanya tingkat lunak (kurang dari 70% nilai bidang di atasnya atau tidak lebih besar 80% rata-rata 3 tingkat di atasnya).
 Dalam hal ini kekakuan lateral suatu tingkat adalah gaya geser yang bila bekerja pada lantai itu menyebabkan satu satuan simpangan bidang vertikal.
- g) Sistem struktur gedung memiliki berat per lantai yang beraturan, artinya setiap tingkat memiliki bobot tidak lebih dari 150% massa di atasnya atau di bawahnya. Atap atau rumah atap tidak perlu memenuhi ketentuan ini.
- h) Struktur gedung memiliki unsur-unsur vertikal dari sistem penahan beban lateral yang menerus, tanpa perpindahan titik beratnya, kecuali bila hal itu tidak lebih besar setengah ukuran unsur dalam arah pergeseran tersebut.
- i) Sistem struktur gedung memiliki lantai yang menerus, tanpa lubang atau bukaan dengan luas lebih dari 50% area seluruh tingkat. Walaupun ada jumlahnya tidak boleh melebihi 20% dari jumlah keseluruhan.

B. Struktur Gedung Tidak Beraturan

Suatu struktur dikatakan tidak beraturan jika salah satu ketentuan dalam syarat-syarat gedung beraturan tidak terpenuhi, dan harus direncanakan berdasarkan analisa gempa dinamis.

3. Faktor Daktilitas, Faktor Tahanan Lebih, dan Faktor Reduksi Gempa

Daktilitas merupakan kemampuan gedung untuk mengalami simpangan pasca-tarik besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa yang menyebabkan pelepasan pertama elemen struktural, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan guna menjaga struktur tetap berdiri meski berada dalam ambang keruntuhan.

Faktor daktilitas adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung (μ) pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan (δ_m) dan ketika terjadi pelepasan pertama (δ_y) seperti yang terlihat dalam persamaan di bawah :

$$1,0 \leq \mu = \frac{\delta_m}{\delta_y} \leq \mu_m \quad (4)$$

a) Daktil Penuh

Suatu tingkat dimana strukturnya mampu mengalami simpangan pasca-elastik pada saat mencapai kondisi diambang keruntuhan yang paling besar, yaitu mencapai nilai faktor sebesar 5,3.

b) Daktil Parsial

Kemampuan struktur dalam mengalami simpangan struktur yang elastik penuh dimana faktornya berada pada nilai minimum hingga maksimum (1,0 – 5,3).

Adapun F_o yang merupakan faktor tahanan lebih total dari struktur gedung, dimana nilainya ditentukan dengan persamaan berikut :

$$F_o = 1,6 + 0,83 + 0,17 \mu \quad (5)$$

Beban gempa harus dikalikan oleh suatu koefisien yang dinamakan faktor reduksi untuk mendekati kenyataan sebenarnya bahwa gaya tersebut bersifat tidak tetap, nilainya dibatasi berdasarkan persamaan (6).

$$1,6 \leq R = \mu f_o \leq R_m \quad (6)$$

Untuk mempermudah penentuan parameter-parameter yang sudah dibahas dalam butir 2.3.(3). ini, maka dalam Tabel 2.8. disuguhkan nilai maksimum dari faktor daktilitas, tahanan lebih total, dan reduksi gempa.

Tabel 2.8. Faktor Daktilitas Maksimum, Faktor Reduksi Gempa Maksimum, dan Faktor Tahanan Lebih Total Beberapa Jenis Sistem dan Subsistem Struktur Gedung

Sistem dan Subsistem Struktur Gedung	Uraian Sistem Pemikul Beban Gempa	μ_m	R_m	f_o
Sistem dinding penumpu (Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dinding penumpu atau sistem bresing memikul hampir semua beban gravitasi. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing).	1. Dinding geser beton bertulang	2,7	4,5	2,8
	2. Dinding penumpu dengan rangka baja ringan dan bresing tarik	1,8	2,8	2,2
	3. Rangka bresing di mana bresingnya memikul beban Gravitasi			
	a) Baja	2,8	4,4	2,2
	b) Beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	1,8	2,8	2,2
Sistem rangka gedung (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing).	1. Rangka bresing eksentris baja (RBE)	4,3	7,0	2,8
	2. Dinding geser beton bertulang	3,3	5,5	2,8
	3. Rangka bresing biasa			
	a) Baja	3,6	5,6	2,2
	b) Beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	3,6	5,6	2,2
	4. Rangka bresing konsentrik khusus			
	a) Baja	4,1	6,4	2,2
Sistem rangka pemikul momen (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur)	1. Rangka pemikul momen khusus (SRPMK)			
	a) Baja	5,2	8,5	2,8
	b) Beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	2. Rangka pemikul momen menengah beton (SRPMM)	3,3	5,5	2,8
	3. Rangka pemikul momen biasa (SRPMB)			
Sistem struktur gedung kolom kantilever (Sistem struktur yang memanfaatkan kolom kantilever untuk memikul beban lateral)	a) Baja	2,7	4,5	2,8
	b) Beton bertulang	2,1	3,5	2,8
	4. Rangka batang baja pemikul momen khusus (SRBPMK)	4,0	6,5	2,8
Sistem interaksi dinding geser dengan rangka	Beton bertulang biasa (tidak untuk Wilayah 3, 4, 5 & 6)	3,4	5,5	2,8
Sistem ganda, terdiri dari : 1) rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi; 2) pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral; 3) kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi/sistem ganda)	1. Dinding geser			
	a) Beton bertulang dengan SRPMK beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	b) Beton bertulang dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
	c) Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang	4,0	6,5	2,8
	2. RBE baja			
	a. Dengan SRPMK baja	5,2	8,5	2,8
	b. Dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
	3. Rangka bresing biasa			
	a) Baja dengan SRPMK baja	4,0	6,5	2,8
	b) Baja dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
	c) Beton bertulang dengan SRPMK beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	4,0	6,5	2,8
	d) Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	2,6	4,2	2,8
Subsistem tunggal (Subsistem struktur bidang yang membentuk struktur gedung secara keseluruhan)	4. Rangka bresing konsentrik khusus			
	a) Baja dengan SRPMK baja	4,6	7,5	2,8
	b) Baja dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
	1. Rangka terbuka baja	5,2	8,5	2,8
	2. Rangka terbuka beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	3. Rangka terbuka beton bertulang dengan balok beton pratekan (bergantung pada indeks baja total)	3,3	5,5	2,8
	4. Dinding geser beton bertulang berangkai daktail penuh.	4,0	6,5	2,8
	5. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail	3,3	5,5	2,8

(Sumber : SNI – 1726 – 2002)

4. Klasifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Nilai N-SPT

Jenis tanah berdasarkan nilai N SPT dari percobaan bor dalam (*deep boring*) di lapangan ditentukan berdasarkan batasan-batasan yang ditetapkan dalam Tabel 2.9. di bawah dengan ketebalan lapisan maksimum 30 m.

Tabel 2.9. Klasifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Nilai N-SPT

Jenis Tanah	Kecepatan Rambat Gelombang Geser Rata-rata, $\bar{v}_s$ (m/det)	Nilai N-SPT Rata-rata, $\bar{N}$	Kuat Geser Niralir Rata-rata, $\bar{S}_u$
Tanah Keras	$\bar{v}_s \geq 350$	$\bar{N} \geq 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
Tanah Sedang	$175 \leq \bar{v}_s < 350$	$15 \leq \bar{N} < 50$	$50 \leq \bar{S}_u < 100$
Tanah Lunak	$\bar{v}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
	atau, setiap profil dengan tanah lunak yang tebal total > 3 m; $PI > 20$; $w_n \geq 40$ %; dan $S_u < 25$ kPa		
Tanah Khusus	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi		

(Sumber : SNI – 1726 – 2002)

Nilai N-SPT rata-rata ($\bar{N}$) harus ditentukan berdasarkan persamaan (7) sebagai acuan dalam menggolongkan jenis tanah.

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / N_i} \quad (7)$$

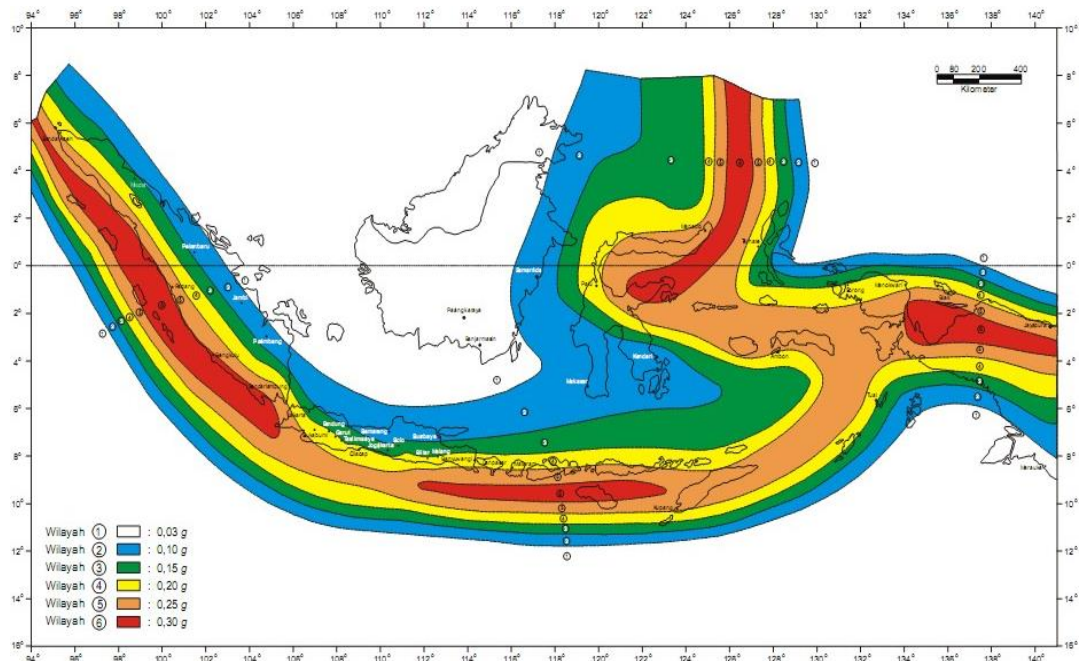
5. Wilayah Gempa dan Spektrum Respon

Berdasarkan SNI – 1726 – 2002 wilayah kegempaan di Indonesia dibagi atas 6 zona (Gambar 2.8.), pembagian daerah-daerah ini didasarkan pada percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh gempa rencana dengan periode ulang 500 tahun, yang nilai rata-ratanya dicantumkan dalam Tabel 2.10.

Tabel 2.10. Percepatan Puncak Batuan Dasar dan Muka Tanah untuk Setiap Wilayah Gempa Indonesia

Wilayah Gempa	Percepatan Puncak Batuan Dasar (g)	Percepatan Puncak Muka Tanah, A_o (g)			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,24	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,20	0,33	0,33	0,36	

(Sumber : SNI – 1726 – 2002)



Gambar 2.8. Wilayah Gempa Indonesia dengan Percepatan Puncak Batuan Dasar untuk Periode Ulang 500 tahun

Percepatan puncak batuan dasar dan muka tanah dari wilayah gempa 1 pada Tabel 2.10. ditetapkan sebagai minimum dari nilai yang harus diperhitungkan dalam perencanaan struktur gedung, guna menjamin kekerasan (*robustness*) terkecil dari bangunan tersebut.

Untuk menentukan pengaruh gempa rencana pada struktur gedung, yaitu berupa beban geser nominal statik ekuivalen dan respon dinamik ragam, untuk masing-masing wilayah ditetapkan spektrum respon rencana *C-T* seperti dalam Gambar 2.8.

Pada Gambar 2.8. *C* merupakan faktor respon gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi (m/det^2), dan *T* adalah waktu getar alami struktur gedung (det).

Bila ternyata waktu getar alami struktur adalah 0, maka besarnya faktor respon gempa diambil sama dengan percepatan puncak muka tanah sesuai wilayah gempanya berdasarkan Tabel 2.10.

Untuk waktu getar alami pendek ($0 \leq T \leq 0,2$) yang penuh dengan ketidakpastian, maka untuk nilai faktor respon gempa nilai paling minimumnya sama dengan nilai maksimumnya sesuai jenis tanahnya.

Untuk mencari percepatan respon maksimum muka tanah (A_m) yang dikatakan sebelumnya dapat digunakan persamaan berikut :

$$A_m = 2,5 A_o \quad (8)$$

Untuk waktu getar alami sudut (T_c) sebesar 0,5 det; 0,6 det; 1,0 det, untuk jenis tanah berturut-turut keras; sedang; lunak, faktor respon gempa (C) dapat ditentukan dengan persamaan dibawah :

untuk $T \leq T_c$

$$C = A_m \quad (9)$$

untuk $T > T_c$

$$C = \frac{A_r}{T} \quad (10)$$

Sementara A_r merupakan respon spektrum gempa rencana, yang mana nilainya merupakan fungsi dari persamaan (11).

$$A_r = A_m T_c \quad (11)$$

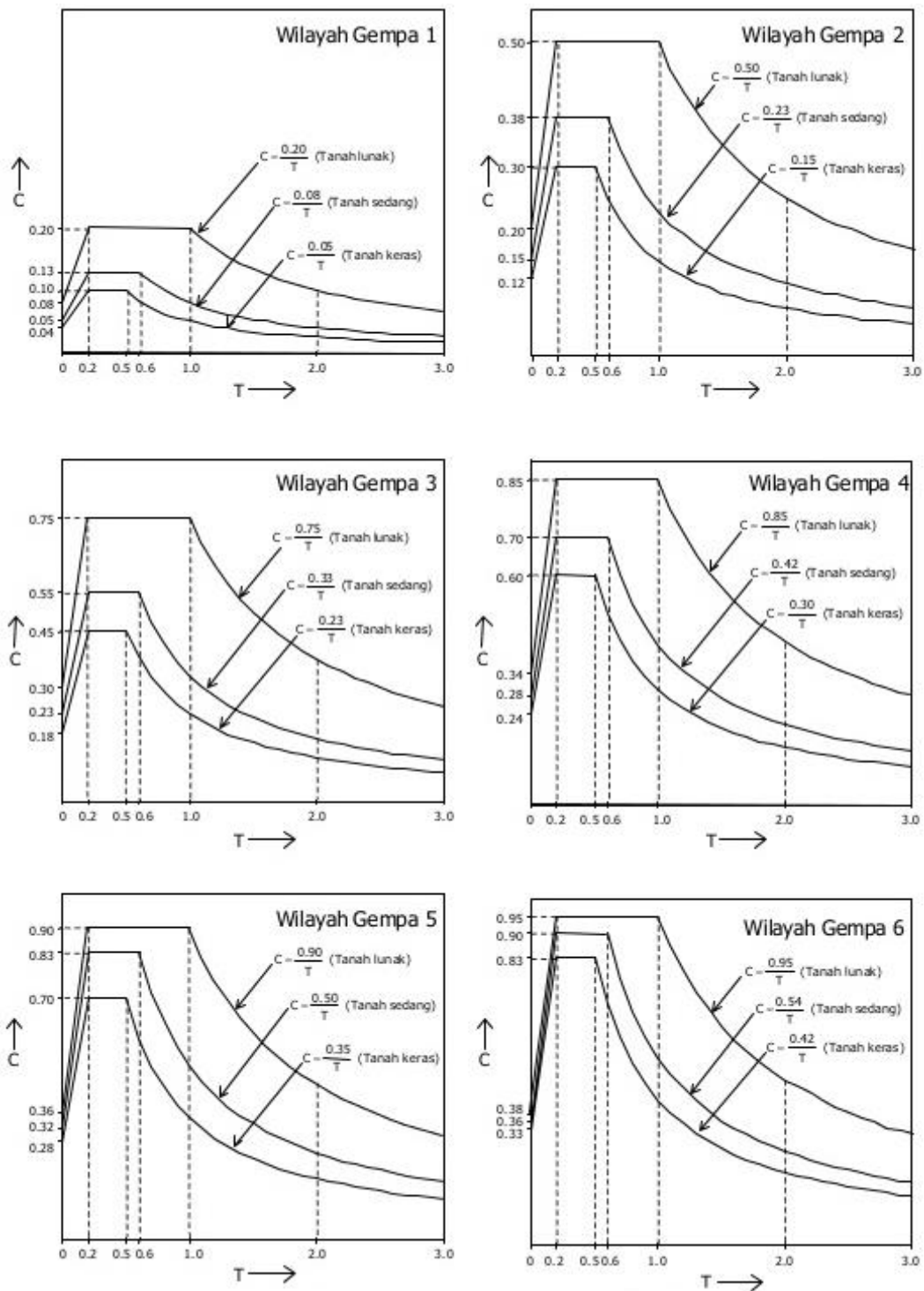
Dalam Tabel 2.11. disajikan nilai spectrum respon gempa rencana (A_r) berdasarkan besar wilayah yang bersangkutan; waktu getar alami sudut (T_c); dan percepatan maksimum (A_m).

Sementara dalam Gambar 2.9. dapat dilihat kurva respon spektrum gempa rencana dimana merupakan hasil turunan dari Tabel 2.11. untuk setiap wilayah kegempaan serta jenis tanahnya, hal tersebut akan dipakai dalam menentukan parameter-parameter beban geser dasar baik dalam analisa statik ekuivalen maupun respon dinamik.

Tabel 2.11. Spektrum Respon Gempa Rencana

Wilayah Gempa	Tanah Keras $T_c = 0,5$ det.		Tanah Sedang $T_c = 0,6$ det.		Tanah Lunak $T_c = 1,0$ det.	
	A_m	A_r	A_m	A_r	A_m	A_r
1	0,10	0,05	0,13	0,08	0,20	0,20
2	0,30	0,15	0,38	0,23	0,50	0,50
3	0,45	0,23	0,55	0,33	0,75	0,75
4	0,60	0,30	0,70	0,42	0,85	0,85
5	0,70	0,35	0,83	0,50	0,90	0,90
6	0,83	0,42	0,90	0,54	0,95	0,95

(Sumber : SNI – 1726 – 2002)



Gambar 2.9. Respon Spektrum Gempa Rencana

6. Struktur Penahan Beban Gempa

Dalam perencanaan gempa terhadap struktur gedung, semua unsur atau komponen bangunan baik bagian dari subsistem pemikul beban maupun sistemnya sendiri seperti rangka (portal); dinding geser; kolom; balok; pelat; dan kombinasinya, harus diperhitungkan memikul pengaruh gempa rencana.

Pengabaian pemikulan gempa rencana oleh salah satu atau lebih kolom atau subsistem struktur dapat dilakukan hanya bila partisipasi kekuatannya untuk menahan beban geser tersebut kurang dari 10 %.

Dalam suatu sistem struktur kombinasi dari rangka terbuka dan dinding geser, beban gempa dasar nominal dipikul oleh portal sekurang-kurangnya harus 25 % dari gaya geser rencana total.

7. Lantai Tingkat Sebagai Diafragma

Pelat, atap beton, dan sistem lantai tingkat dengan ikatan suatu struktur gedung dapat dianggap sangat kaku dalam bidangnya serta bias diasumsikan bekerja sebagai diafragma terhadap beban gempa horizontal.

Bila terdapat suatu tingkat dengan bukaan lantai melebihi 50 % luas keseluruhannya dianggap sebagai bidang yang tidak kaku, dan dapat mengalami deformasi akibat beban gempa horizontal.

8. Eksentrisitas Pusat Massa Terhadap Pusat Rotasi Lantai Tingkat

Pusat massa merupakan titik tangkap dari resultante beban mati dan hidup yang bekerja pada struktur gedung, serta dalam perencanaan gempa merupakan lokasi terjadinya geser statik ekuivalen maupun dinamik. Sementara itu pusat rotasi adalah lokasi pada bidang lantai bila suatu gaya horizontal bekerja padanya tingkat tersebut tidak berotasi namun hanya bertranslasi, sedangkan tingkat lainnya terjadi kebalikannya.

Dalam perencanaan perlu ditinjau eksentrisitas dari pusat massa dan rotasi lantai tingkat, agar diketahui lokasi diantara keduanya yang akan menjadi titik tangkap beban horizontal.

untuk $0 < e \leq 0,3 b$

$$e_d = 1,5 e + 0,05 b \quad (12)$$

atau

$$e_d = e - 0,05 b \quad (13)$$

untuk $e > 0,3 b$

$$e_d = 1,33 e + 0,1 b \quad (14)$$

atau

$$e_d = 1,17 e - 0,1 b \quad (15)$$

Dari persamaan (12) dan (13), serta (14) dan (15) dipilih paling menentukan dari kedua klasifikasi yang diberikan untuk menentukan koreksi eksentrisitas rencana pusat massa dan rotasi.

9. Kekakuan Struktur

Dalam perencanaan gedung terhadap beban gempa, pengaruh peretakan beton harus diperhitungkan terhadap kekakuannya. Untuk itu, momen inersia penampang unsur struktur dapat ditentukan dengan mengalikan momen inersia utuh dari elemen yang ditinjau dengan suatu presentase efektif sebagai berikut :

1. untuk kolom dan balok rangka beton bertulang terbuka : 75 %
2. untuk dinding geser beton bertulang kantilever : 65 %
3. untuk dinding geser beton bertulang berangkai
 - komponen dinding yang mengalami tarikan aksial : 50 %
 - komponen dinding yang mengalami tarikan aksial : 80 %
 - komponen dinding yang mengalami tarikan aksial : 40 %
 - komponen dinding yang mengalami tarikan aksial : 20 %

10. Pembatasan Waktu Getar Alami

Untuk mencegah suatu struktur gedung yang terlalu fleksibel, maka waktu getar alammi fundamental (T_1) harus dibatasi dengan koefisien (ζ) sesuai zona gempa.

$$T_1 < \zeta n \quad (16)$$

Tabel 2.12. Koefisien ζ yang Membatasi Waktu Getar Alami Fundamental Struktur Gedung

Wilayah Gempa	ζ
1	0,20
2	0,19
3	0,18
4	0,17
5	0,16
6	0,15

(Sumber : SNI – 1726 – 2002)

11. Arah Pembebanan Gempa

Dalam perencanaan struktur gedung arah pembebanan gempa dibagi atas sumbu-sumbu utama yakni X dan Y, dimana hal tersebut untuk mendapatkan pengaruh terbesar akibat beban geser rencana terhadap unsur-unsur subsistem dan sistem keseluruhan dari bangunan.

Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarangan pada struktur gedung, maka pengaruh beban geser harus dianggap efektif 100 % terhadap sumbu utamanya dan bersamaan diasumsikan bekerja 30 % tegak lurus terhadap jurusannya.

12. Perencanaan Kapasitas

Struktur gedung harus memenuhi persyaratan “*strong column weak beam* (SCWB)” atau “kolom kuat balok lemah (KKBL)”, artinya ketika gedung memikul gaya gempa sendi plastis yang terbentuk hanya boleh terjadi pada ujung-ujung balok, kaki kolom, dan kaki dinding geser.

2.4. Analisa Gempa Statik Ekuivalen

Analisa gempa statik ekuivalen dikhususkan untuk perencanaan gedung beraturan, dimana beban geser dasar nominal akibat pengaruh kegempaan ditampilkan sebagai gaya horizontal pada struktur bangunan dalam arah sumbu-sumbu utama.

1. Beban Gempa Nominal Statik Ekuivalen

Beban gempa nominal statik ekuivalen diuraikan pada arah sumbu utama gedung, dimana hal ini disebabkan pengaruh gempa rencana.

Gaya geser dasar nominal (V) sebagai respon ragam pertama terhadap pengaruh gempa rencana dapat dihitung berdasarkan persamaan (17), dengan memperhatikan parameter-parameter yang menghasilkan beban ini yaitu berat bangunan; faktor respon, keutamaan bangunan, dan reduksi.

$$V = \frac{C_x I}{R} W_t \quad (17)$$

Setelah gaya geser dasar nominal (V) didapatkan, maka nilai tersebut perlu didistribusi sepanjang tinggi bangunan dan akan menjadi gaya geser tingkat statik ekuivalen (F_i) yang mempunyai titik tangkap pada tiap-tiap pusat massa lantai yang bersangkutan.

$$F_i = \frac{W_i x Z_i}{\sum_{i=1}^n W_i x Z_i} V \quad (18)$$

Untuk gedung dengan rasio antara tinggi dan ukuran denah arah pembebanan gempa melebihi atau sama dengan 3, maka 0,1 V harus dianggap sebagai beban terpusat horizontal pada tingkat teratas, sedangkan 0,9 V sisanya harus didistribusikan keseluruh tinggi bangunan menjadi gaya geser statik ekuivalen.

2. Waktu Getar Alami Fundamental

Waktu getar alami fundamental (T_1) dimaksudkan untuk beban gempa statik ekuivalen guna membatasi fleksibilitas struktur dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$T_1 = 6,3 \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \times d_i^2}{g \times \sum_{i=1}^n F_i \times d_i}} \quad (19)$$

2.5. Analisa Respon Dinamik

Perencanaan beban gempa nominal bangunan tidak beraturan harus berdasarkan pada analisa dinamik, untuk mencegah terjadinya respon struktur yang dominan dalam torsi, paling tidak gerak ragam pertama (fundamental) harus lebih banyak kearah translasi.

Nilai akhir respon dinamik struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam setiap arah sumbu utama minimum 80 % dari gaya geser dasar gempa statik ekuivalen.

$$V \geq 0,8 V_1 \quad (20)$$

2.5.1. Analisa Ragam Spektrum Respon

Perhitungan respon dinamik struktur gedung tidak beraturan akibat beban gempa nominal rencana dapat dilakukan dengan analisa ragam spektrum berdasarkan Gambar 2.8., namun nilai ordinat dari kurva tersebut harus dikalikan suatu faktor koreksi sebesar yakni :

$$F_{PGA} = \frac{g \times I}{R} \quad (21)$$

Dalam hal ini, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau pada penjumlahan respon ragam menurut metode tersebut harus sedemikian rupa, sehingga partisipasi massa menghasilkan respon total minimal 90 %.

Penjumlahan respon ragam untuk struktur gedung tidak beraturan yang memiliki waktu-waktu getar alami berdekatan (selisih nilainya kurang dari 15 %) harus dilakukan dengan metode bernama Kombinasi Kuadratik Lengkap (*Complete Quadratic Combination* atau CQC).

Sementara untuk struktur dengan waktu getar alami berjauhan, maka penjumlahan respon ragam tersebut dilakukan berdasarkan metode Akar Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares* atau SRSS).

2.5.2. Analisa Riwayat Waktu

Bila diinginkan, perhitungan struktur gedung tidak beraturan terhadap pengaruh gempa rencana dapat dilakukan dengan metode analisa respon dinamik linier dan non-linier riwayat waktu menggunakan suatu akselerogram gempa yang diangkakan sebagai gerakan tanah masukan.

Percepatan muka tanah asli dari gempa masukan harus diskalakan ke taraf pembebanan beban geser nominal, sehingga nilainya menjadi seperti pada persamaan (22).

$$A = \frac{A_o \times I}{R} \quad (22)$$

Dalam analisa respon dinamik linier riwayat waktu redaman struktur yang harus diperhitungkan dapat dianggap sebesar 5 % dari nilai kritisnya.

Untuk mengkaji perilaku pasca-elastik struktur gedung terhadap gempa rencana, perlu dilakukan analisis respon dinamik non-linier riwayat waktu, dimana percepatan puncaknya perlu diskalakan.

Akselerogram gempa masukan yang ditinjau dalam analisa dinamik linier dan no-linier riwayat waktu, harus diambil dari rekaman gerakan tanah lokasi dengan kemiripan kondisi geologi; topografi; dan seismotektoniknya daerah tinjauan bangunan berada.

Untuk mengurangi ketidakpastian kondisi akselerogram yang dijelaskan sebelumnya, maka sedikitnya ada 4 (empat) buah akselerogram dari 4 (empat) gempa berbeda, salah satunya harus diambil rekaman kejadian 15 Mei 1940 di California yakni El Centro N-S.

2.6.Kinerja Struktur Gedung

Kinerja struktur adalah suatu batasan untuk menjamin suatu struktur dapat tetap melayani pengguna gedung saat terjadi gempa, serta memastikan gedung tidak akan runtuh ketika hal yang dimaksudkan terjadi.

2.6.1. Kinerja Batas Layan

Kinerja batas layan ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana, dan hal ini dimaksudkan untuk membatasi pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, disamping itu berfungsi mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni.

Simpangan struktur dihitung setiap tingkatnya berdasarkan simpangan keseluruhan akibat pengaruh gempa nominal yang telah dibagi faktor skala. Besar setiap lantainya tidak boleh melebihi batasan sesuai persamaan di bawah :

$$drift\ s < \frac{0,03I}{R} \times h_i \text{ atau } 30\text{ mm} \quad (23)$$

2.6.2. Kinerja Batas Ultimit

Kinerja batas ultimit struktur gedung merupakan batasan simpangan dan simpangan antar-tingkat maksimum akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi bangunan diambang keruntuhan.

Batasan ini bertujuan untuk membatasi kemungkinan runtuhnya struktur, maupun benturan berbahaya antar gedung atau antar bagian gedung dengan delatasi.

Simpangan dan simpangan antar-tingkat untuk pemeriksaan batas kinerja layan harus dihitung dari simpangan struktur akibat pembebanan gempa nominal dikalikan dengan suatu faktor pengali (ξ) seperti berikut ini :

untuk struktur gedung beraturan

$$\xi = 0,7 \times R \quad (24)$$

untuk struktur gedung tidak beraturan

$$\xi = \frac{0,7 \times R}{F_{PGA}} \quad (25)$$

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas ultimit struktur gedung, simpangan antar tingkat harus memenuhi ketentuan dalam persamaan berikut :

$$drift\ m < 0,02 \times h_i \quad (26)$$

atau

$$drift\ m < 0,025 \times Z_n \quad (27)$$

Celah pemisah (delatasi) harus memiliki lebar minimum sama dengan simpangan ultimit tiap tingkat, dan ditetapkan harus lebih dari sama dengan 75 mm.

2.7. Beton Bertulang

Beton adalah bahan konstruksi yang berupa campuran antara agregat halus dan kasar dengan bahan pengikat berupa semen portland beserta air, dengan atau tanpa bahan tambahan.

Kelebihan dari bahan konstruksi ini adalah sebagai berikut :

1. Kuat tekan beton tinggi,
2. Tahan api dan air,

3. Mudah dibentuk,
4. Kurangnya biaya perawatan,
5. Awet,
6. Material penyusun relatif mudah didapatkan.

Sementara itu kelemahan dari bahan beton yaitu :

1. Kuat Tarik beton relatif kecil (10%) dibanding kuat tekannya,
2. Beton memiliki berat yang cukup besar disbanding material konstruksi lain,
3. Untuk mencapai mutu yang diinginkan diperlukan biaya dan pengawasan dalam pelaksanaanya,
4. Waktu pembuatan relatif lama,
5. Konstruksi bersifat permanen dan tidak dapat dipindahkan.

Sementara Beton bertulang adalah material yang terbentuk dari beton beserta baja tulangan, dimana hal tersebut dimaksudkan untuk meningkatkan kekuatan dari bahan pertama agar kuat terhadap tarikan.

Kelebihan dari beton yang sudah diberikan baja tulangan yaitu :

1. Kuat tekan lebih tinggi dibandingkan material lain,
2. Kuat tarik tinggi akibat pemberian tulangan baja,
3. Tahan terhadap api dan air,
4. Tahan korosi,
5. Mudah dibentuk,
6. Awet,
7. Instalasi pembuatan relatif mudah dibandingkan material lain,
8. Bahan pembentuk mudah didapat hampir disemua daerah.

Sedangkan untuk kekurangan material beton bertulanga diuraikan seperti di bawah ini :

1. Berat dari beton bertulang cukup berat yakni 2.400 kg/m^3 ,
2. Perlu perhatian khusus untuk mendapatkan mutu yang sesuai,
3. Waktu pengerjaan cukup lama,
4. Sulit dilakukan pembongkaran, serta sisah bongkaran tidak dapat digunakan.

2.7.1. Kekuatan beton

Kekuatan beton diperhitungkan terhadap tekan dikarenakan sifat mekanis bahan ini sangat tinggi terhadap tekanan.

Beton sendiri akan mencapai kuat tekan yang direncanakan pada umur 28 hari setelah dilakukan pengecoran, dalam penggunaannya material ini dikelompokkan berdasarkan kekuatannya, yang mana hal tersebut dapat dilihat seperti berikut ini :

- a) $f'_c < 10$ MPa, digunakan untuk beton non-struktural (contohnya kolom praktis; dan balok praktis).
- b) $10 \text{ MPa} < f'_c \leq 20 \text{ MPa}$, digunakan untuk beton pada elemen struktural (seperti kolom; balok; dan pelat).
- c) $f'_c > 20 \text{ MPa}$, digunakan untuk beton khusus (seperti untuk struktur tahan gempa).

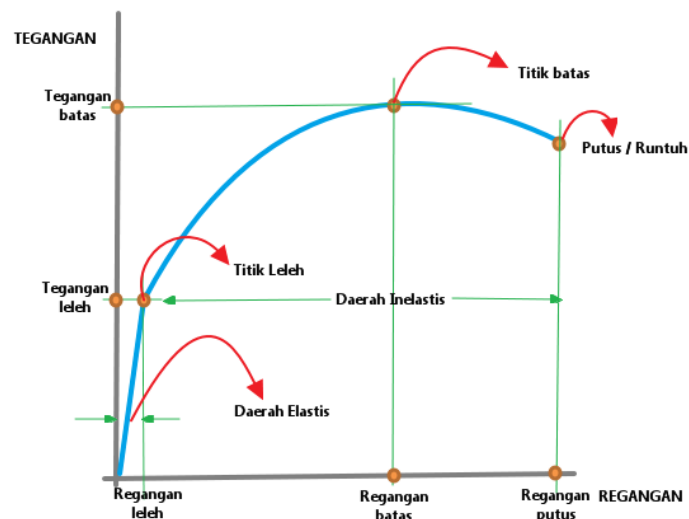
1. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton didapatkan dari hasil pengujian tekan pada luasan benda uji berbentuk silinder yang dibuat dari adukan beton pada umur 28 hari.

$$\sigma_c = P/A \quad (28)$$

Akibat gaya tekan yang terjadi pada pengujian tekan akan terjadi suatu peregangannya atau deformasi bentuk dari silinder (Gambar 2.10),

$$\varepsilon_c' = \Delta L/L_0 \quad (29)$$



Gambar 2.10. Diagram Hubungan Tegangan-Regangan Beton

2. Kuat Tarik Beton

Beton memiliki kuat tarik sebesar 10 % dari kekuatannya, untuk itu dalam perencanaan hal tersebut bias diabaikan untuk keamanan dengan menganggap seluruh beban yang menyebabkan tarikan dipikul oleh baja tulangan.

Besar kuat tarik beton dapat dituliskan dengan persamaan berikut ini :

$$f'_{ct} = 0,33 \sqrt{f'_c} \quad (30)$$

3. Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton merupakan tangens sudut yang terbentuk dari garis lurus daerah elastis pada hubungan tegangan- regangan beton, besarnya dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$E_c = W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c} \quad (31)$$

Untuk beton normal, modulus elastisitas boleh diambil sebesar :

$$E_c = 4.700 \times \sqrt{f'_c} \quad (32)$$

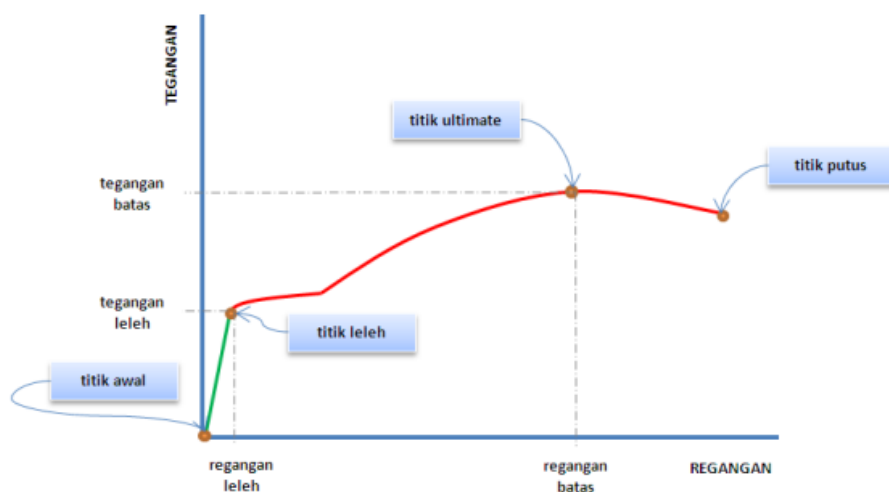
2.7.2. Kekuatan Baja Tulangan

Dalam SNI – 03 – 2847 – 2002 tulangan yang ada pada beton ditentukan terbatas hanya untuk baja, penggunaan material lain tidak dibahas dalam aturan tersebut.

1. Kuat Tarik Baja

Meskipun baja memiliki kuat tekan namun untuk mencapainya dibutuhkan biaya yang cukup besar, oleh sebab itulah dalam asumsi perencanaan dianggap tulangan beton hanya menahan tarikan saja.

Diagram hubungan tegangan-regangan dari baja tulangan dapat dilukiskan seperti Gambar 2.11., dimana terdapat kondisi plastis yang terjadi saat tegangan leleh tercapai.



Gambar 2.11. Diagram Hubungan Tegangan-Regangan Baja

2. Modulus Elastisitas Baja

Modulus elastisitas baja merupakan tangens sudut yang terbentuk dari garis lurus daerah elastis pada hubungan tegangan- regangan baja, berdasarkan ketentuan SNI – 03 – 2847 – 2002 besar nilainya untuk tulangan non-pratekan $E_s = 200.000$ MPa.

2.7.3. Kekuatan dan Kemampuan Layan

1. Kuat Perlu

Struktur dan komponennya harus direncanakan hingga semua penampang mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu, yang dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya terfaktor sesuai ketentuan standar perencanaan.

Di bawah ini adalah kombinasi pembebanan yang digunakan dalam SNI – 03 -2847 – 2002, guna mencapai kekuatan yang dimaksud di atas.

$$U = 1,4 DL \quad (33)$$

$$U = 1,2 DL + 1,6 LL \quad (34)$$

$$U = 1,2 DL + 1,0 LL \pm 1,6 WL \quad (35)$$

$$U = 0,9 DL \pm 1,6 WL \quad (36)$$

$$U = 1,2 DL + 1,0 LL \pm 1,0 EQ \quad (37)$$

$$U = 0,9 DL \pm 1,0 EQ \quad (38)$$

$$U = 1,4 (DL + FP) \quad (39)$$

$$U = 1,2 (DL + T) + 1,6 LL \quad (40)$$

2. Kuat Rencana

Kuat rencana suatu struktur beserta bagian-bagiannya harus diambil sebagai kuat nominalnya yang dikalikan dengan suatu faktor reduksi kekuatan (ϕ) di bawah, sesuai SNI – 03 – 2847 – 2002.

Lentur	:	0,80
Aksial Tarik	:	0,80
Aksial Tekan		
Tulangan Spiral	:	0,70
Tulangan Persegi	:	0,65
Geser dan Torsi	:	0,75
Geser Akibat Gempa	:	0,55
Geser Hubungan Balok-Kolom	:	0,80
Tumpuan Kecuali Daerah Pasca Tarik	:	0,65
Daerah Pengakuan Pasca Tarik	:	0,85
Lentur Tanpa Aksial	:	0,75

2.8.Desain Balok Beton Bertulang

Balok adalah komponen dari struktur beton bertulang yang memikul lentur serta geser, elemen ini sendiri bertumpuh pada bagian pendukung (kolom) bangunan.

Balok bertulang rangkap berarti baja tulangan dipasang pada daerah tertarik dan tertekan atau dengan kata lain di atas serta bawah.

Dalam asumsi perencanaan ada 3 (tiga) jenis keruntuhan pada elemen yang memikul beban lentur, yaitu :

1. Keruntuhan tekan (*brittle failure*)

Beton hancur sebelum tulangan leleh. Dimana regangan tekan beton sudah lewat batas 0,003 namun regangan tarik baja belum meleleh, $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}'$ tetapi $\varepsilon_s < \varepsilon_y$.

Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini terjadi pada penampang dengan rasio tulangan (ρ) yang besar, dan disebut *over-reinforced*.

2. Keruntuhan seimbang (*balance*)

Beton dengan keruntuhan seimbang terjadi ketika penampang hancur bersamaan dengan tulangan leleh. Hal ini berarti regangan tekan mencapai batas 0,003 dan regangan tarik baja leleh pada saat yang sama, atau $\varepsilon_c' = \varepsilon_{cu}'$ dan $\varepsilon_s = \varepsilon_y$.

Balok yang mengalami keruntuhan seimbang terjadi pada penampang beton dengan rasio tulangan seimbang (*balance*).

3. Keruntuhan tarik (*ductile failure*)

Keruntuhan tarik terjadi ketika tulangan leleh sebelum beton hancur. Hal ini berarti regangan tarik baja sudah mencapai titik leleh tetapi regangan tekan penampang belum mencapai batas 0,003 atau $\varepsilon_s = \varepsilon_y$ tetapi $\varepsilon_c' < \varepsilon_{cu}'$.

Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini terjadi pada penampang dengan rasio tulangan (ρ) yang kecil, dan disebut *under-reinforced*.

Untuk perencanaan beton bertulang pada penampang sangat dihindari (tidak boleh) terjadi keruntuhan tekan (*over-reinforced*), karena sistem ini bersifat getas dan dapat berakibat runtuhnya balok secara mendadak.

Sistem perencanaan beton bertulang pada penampang balok dengan keruntuhan seimbang (*balance*) merupakan kondisi yang paling ideal tetapi sulit dan tidak pernah dapat dicapai. Untuk itulah keruntuhan tarik (*under-reinforced*) boleh digunakan, karena mudah dipenuhi dan dapat dijamin keamanannya asalkan luasan baja tulangan yang digunakan jangan terlalu kecil.

Menurut SNI 03 – 2847 – 2002, sistem perencanaan beton bertulang dibatasi dengan 2 (dua) kondisi pada persamaan (41) dan (42).

- a) Agar tulangan yang digunakan tidak terlalu sedikit atau rasio tulangan (ρ) tidak terlalu kecil, diberikan syarat berikut :

A_s harus $\geq A_{s \min}$ atau $\rho \geq \rho_{\min}$ dengan $\rho = A_s/(b.d) f_y$ dengan :

$$A_{s \min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} \times b \times d \quad (41)$$

atau

$$A_{s \min} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \quad (42)$$

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} \quad (43)$$

atau

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (44)$$

- b) Agar penampang beton dapat mendekati keruntuhan seimbang diberikan syarat berikut :

$A_s \leq A_{s \max}$ atau $\rho \leq \rho_{\max}$

$$A_{s \max} = 0,75 \times A_{s,b} \quad (45)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b \quad (46)$$

2.9.Desain Kolom Beton Bertulang

Kolom ialah suatu struktur yang mendukung gaya aksial dengan atau tanpa momen lentur, fungsinya sebagai pendukung beban-beban dari balok dan pelat, untuk diteruskan ke tanah dasar melalui pondasi.

Kolom merupakan komponen struktur yang paling penting untuk diperhatikan, karena apabila elemen ini mengalami kegagalan, maka dapat berakibat keruntuhan gedung secara keseluruhan.

Beban yang bekerja pada kolom biasanya berupa kombinasi antara gaya aksial dan momen lentur. Hubungan antara kedua besaran ini digambarkan dalam suatu diagram yang disebut diagram interaksi kolom M – N.

Manfaat dari diagram interaksi, yaitu dapat memberikan gambaran tentang kekuatan dari kolom yang bersangkutan.

Untuk satu penampang kolom, dapat digambarkan diagram interaksi kolom yang meliputi 3 (tiga) macam, yaitu :

1. Diagram interaksi kolom untuk kuat rencana,
2. Diagram interaksi kolom untuk kuat nominal,
3. Diagram interaksi kolom untuk kuat batas (kapasitas).

Diagram interaksi kolom dibuat dengan pertolongan 2 buah sumbu (yaitu sumbu vertikal dan horizontal) dimana keduanya saling berpotongan tegak lurus satu sama lain. Sumbu Y menggambarkan beban aksial (P) atau gaya normal (N), sedangkan X menggambarkan momen lentur (M) yang dapat ditahan oleh kolom.

Prosedur pembuatan diagram interaksi dilaksanakan dengan memperhitungkan kekuatan kolom berdasarkan 5 macam kondisi beban pada suatu penampang.

Sementara itu untuk menjamin kapasitas kolom yang lebih besar dari elemen balok maka harus dipenuhi persyaratan berikut :

$$\Sigma M_e \geq (6/5) \Sigma M_g \quad (47)$$

Bila ketentuan di atas tidak terpenuhi, maka kolom perlu diperkaku dengan tulangan transversal yang mempunyai luas :

untuk sengkang spiral

$$\rho_s = 0,12 \frac{f'_c}{f_{ys}} \quad (48)$$

untuk sengkang tertutup persegi

$$A_{sh} = 0,3 \left(Shc_x \frac{f'_c}{f_{ys}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \quad (49)$$

$$A_{sh} = 0,09 \left(Shc_x \frac{f'_c}{f_{ys}} \right) \quad (50)$$

2.10. Desain Pelat Beton Bertulang

Pelat beton bertulang adalah elemen tipis yang dibuat dari beton bertulang dengan bidang arahnya horizontal, dan beban bekerja tegak lurus pada bidang tersebut.

Ketebalan bidang ini relatif sangat kecil apabila dibandingkan dengan bentang panjang atau lebar bidangnya. Pelat beton bertulang sangat kaku, sehingga pada bangunan gedung berfungsi sebagai diafragma (unsur pengaku horizontal) yang sangat bermanfaat untuk mendukung ketegaran balok portal.

Untuk merencanakan pelat beton bertulang yang perlu dipertimbangkan tidak hanya pembebanan saja, tetapi juga jenis perletakan dan penghubung di tempai

tumpuan. Kekakuan hubungan antara pelat dan penumpuhnya akan menentukan besar momen lentur pada pelat.

Perencanaan tulangan pelat dibagi atas 2 (dua) sistem yaitu satu arah/*one way slab* dan dua arah/*two way slab*.

a) Pelat Satu Arah/*One Way Slab*

Pelat dengan tulangan pokok satu arah ini akan dijumpai jika bidang beton lebih dominan menahan beban yang berupa momen lentur pada satu bentang saja.

b) Pelat Dua Arah/*Two Way Slab*

Pelat dengan tulangan pokok dua arah ini akan dijumpai jika pelat beton menahan beban yang berupa momen lentur pada bentang dua arah.

1. Perencanaan Tulangan Pelat

Penulangan pada pelat direncanakan berdasarkan metode koefisien momen baik untuk satu arah maupun dua arah, dimana langkah-langkah dan ketentuan-ketentuan perhitungannya adalah seperti diuraikan berikut ini :

a) Bentang tinjauan pelat, $L = 1.000 \text{ mm}$

b) Panjang Bentang (λ)

Pelat yang tidak menyatu dengan struktur pendukung

$$\lambda = \lambda_n + h \text{ dan } \lambda \leq \lambda_{as-as} \quad (51)$$

Pelat yang menyatu dengan struktur pendukung

Jika $\lambda_n \leq 3,0 \text{ m}$,

$$\lambda = \lambda_n \quad (52)$$

Jika $\lambda_n \leq 3,0 \text{ m}$,

$$\lambda = \lambda_n + 2 \times 50 \text{ mm (PBI-1971)} \quad (53)$$

c) Tebal Minimum Pelat (h)

- Untuk pelat satu arah, tebal minimumnya dapat dilihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Tebal Minimum Pelat Satu Arah atau Balok Non-Prategang Bila Lendutan Diabaikan

Komponen Struktur	Dua Tumpuan Sederhana	Satu Ujung Menerus	Kedua Ujung Menerus	Kantilever
	Komponen yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat Masif Satu Arah	$\ell/20$	$\ell/24$	$\ell/28$	$\ell/10$
Balok atau Pelat Rusuk Satu Arah	$\ell/16$	$\ell/18,5$	$\ell/21$	$\ell/8$

(Sumber : SNI – 03- 2847 – 2002)

- Untuk pelat dua arah, tebal minimum bergantung pada $\alpha_m = \alpha$ rata-rata, α adalah rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur bidang dengan rumus berikut:

$$\alpha = \frac{E_{cb}/I_b}{E_{cp}/I_p} \quad (54)$$

Jika $\alpha_m < 0,2$ maka

$$h \geq 120 \text{ mm} \quad (55)$$

Jika $0,2 \leq \alpha_m \leq 2$ maka f_y

$$h = \frac{\lambda_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 5 \cdot \beta \cdot (\alpha_m - 0,2)} \geq 120 \text{ mm} \quad (56)$$

Jika $\alpha_m > 2$

$$h = \frac{\lambda_n \left(0,8 - \frac{f_y}{1500} \right)}{36 - 9 \cdot \beta} \geq 90 \text{ mm} \quad (57)$$

dengan β adalah rasio bentang bersih pelat dalam arah memanjang dan memendek. Tebal pelat tidak boleh kurang dari ketentuan Tabel 2.14. yang bergantung pada tegangan tulangan f_y . Nilai f_y pada table dapat diinterpolasi linear.

Tabel 2.14 Tebal Minimal Pelat Tanpa Balok Interior

Tegangan leleh f_y (MPa)	Tanpa penebalan			Dengan penebalan		
	Panel luar		Panel dalam	Panel luar		Panel dalam
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir	
300	$\lambda_n/33$	$\lambda_n/36$	$\lambda_n/36$	$\lambda_n/36$	$\lambda_n/40$	$\lambda_n/40$
400	$\lambda_n/30$	$\lambda_n/33$	$\lambda_n/33$	$\lambda_n/33$	$\lambda_n/36$	$\lambda_n/36$
500	$\lambda_n/28$	$\lambda_n/31$	$\lambda_n/31$	$\lambda_n/31$	$\lambda_n/34$	$\lambda_n/34$

(Sumber : SNI – 03- 2847 – 2002)

d) Tebal Selimut Beton Minimum (a)

- Untuk batang tulangan $D \leq 36$,
tebal selimut beton ≥ 20 mm
- Untuk batang tulangan D44 – D56,
tebal selimut beton ≥ 40 mm

e) Jarak Bersih Antara Tulangan (s)

$$s \geq D$$

$$s \geq 25 \text{ mm}$$

$$s \geq 4/3 \times \text{diameter maksimal agregat,}$$

$$s \geq 40 \text{ mm}$$

f) Jarak Maksimal Tulangan

- Tulangan pokok:
Pelat Satu Arah
 $s \leq 3h$
 $s \leq 450 \text{ mm}$
Pelat Dua Arah
 $s \leq 2h$
 $s \leq 450 \text{ mm}$

- Tulangan bagi:
 $s \leq 5h$
 $s \leq 450 \text{ mm}$

g) Luas Tulangan Minimum Pelat

- Tulangan Pokok

Untuk $f'_c \leq 31,36 \text{ MPa}$,

$$A_s \geq \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d \quad (58)$$

Untuk $f'_c > 31,36 \text{ MPa}$,

$$A_s \geq \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} \cdot b \cdot d \quad (59)$$

- Tulangan Bagi/Tulangan Susut dan Suhu

Untuk $f_y \leq 300 \text{ MPa}$,

$$A_{sb} \geq 0,0020 \cdot b \cdot h \quad (60)$$

Untuk $f_y = 400$ MPa,

$$A_{sb} \geq 0,0018.b.h \quad (61)$$

Untuk $f_y \geq 400$ MPa,

$$A_{sb} \geq 0,0018.b.h.(400/f_y) \quad (62)$$

tetapi

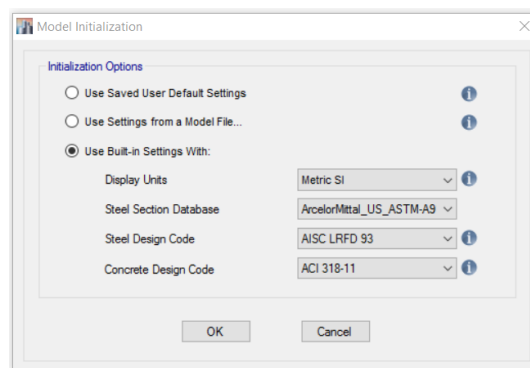
$$A_{sb} \geq 0,0014.b.h \quad (63)$$

2.11. Pemodelan dan Analisa Struktur Pada ETABS 15.2.2

1. Pembuatan *Grid Lines*

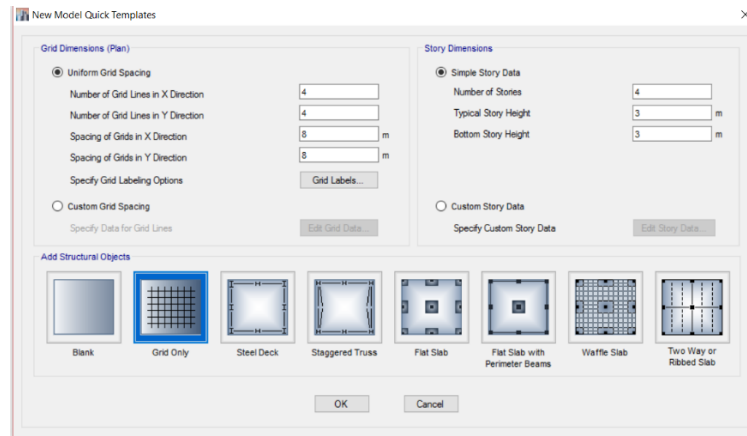
Grid lines adalah garis khayal yang berfungsi sebagai bagan untuk melakukan penggambaran struktur, langkah pembuatannya adalah sebagai berikut :

- Buka program **ETABS 15.2.2**.
- Pilih menu **File > New Model > Model Initialization > Use Built-in Setting With > OK**.
- Tentukan standar desain sesuai dengan lokasi gedung, atau yang mendekati aturan yang ada.



Gambar 2.12. Standar Ukuran dan Standar Perencanaan yang Digunakan

- New Model Quick Templates > Grid Dimensions (Plan) : Uniform Grid Spacing > Story Dimensions : Simple Story Data > Add Structural Object : Grid Only > OK**.
- Masukan jarak , tinggi, dan jumlah *grid* maupun *story*.

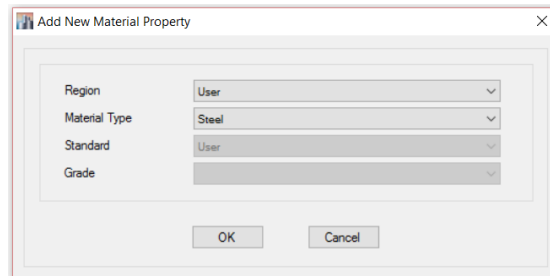


Gambar 2.13. Pembuatan Grid Lines

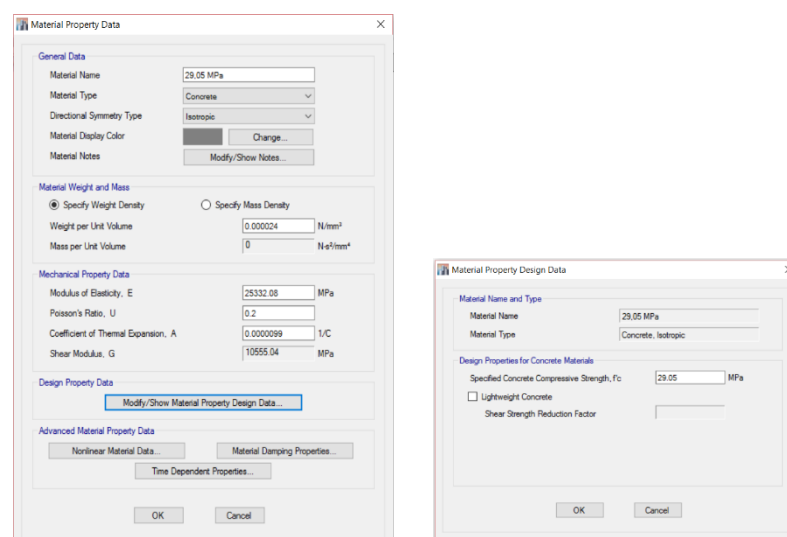
2. Definisikan Material Struktur

Definisi ini dimaksudkan untuk memasukan atau menjelaskan sifat fisik maupun mekanis dari material-material yang akan digunakan pada program ETABS 15.2.2.

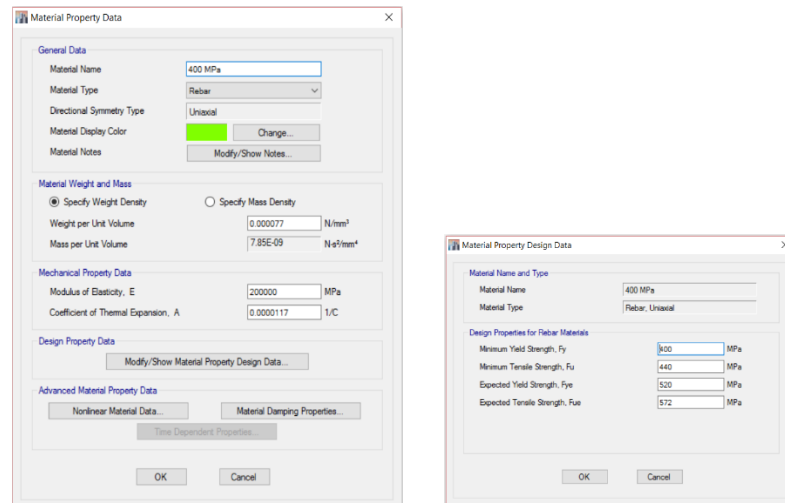
- a) Pilih menu **Define > Material Properties > Define Materials : Add New Material > Region : User > Material** : sesuai material yang dipakai > masukan parameter-parameter material > **OK**.



Gambar 2.14. Penambahan Jenis Material Struktur dalam ETABS 15.2.2.



Gambar 2.15. Contoh Material Properties Beton

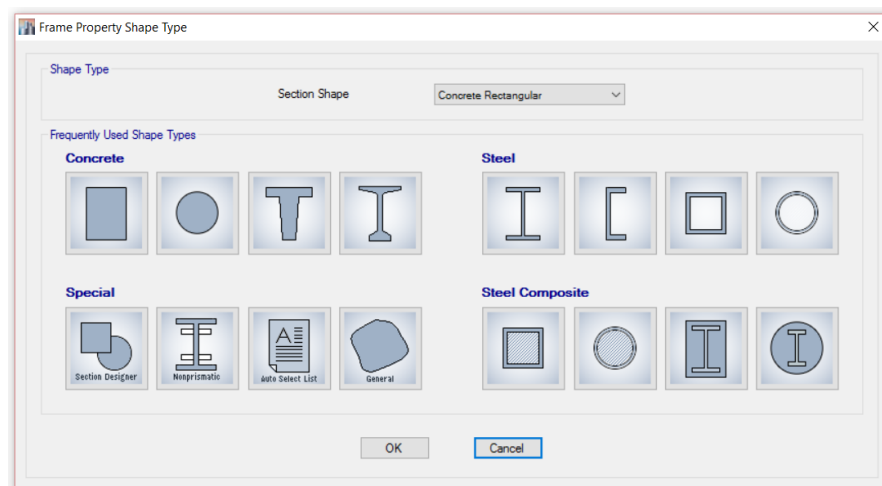


Gambar 2.16. Contoh Material Properties Baja Tulangan

3. Definisikan Penampang Elemen Struktur Rangka

Elemen struktur dapat berupa elemen yang menahan lentur maupu kombinasi lentur dan geser, dimana perlu dimodelkan dengan data-data sesuai ketentuan di wilayah lokasi bangunan.

- Pilih Menu **Define > Section Properties > Frame Section > Add New Property > Section Shape** : sesuai material dan bentuk yang digunakan > **OK**.
- Masukan data-data penampang baik ukuran, material, faktor modifikasi, dan tulangan.
- Untuk memodelkan elemen sebagai balok atau pun kolom, ganti gaya yang dipikul penampang dengan cara pada **Frame Section Property Data** pilih **Modify/Show Rebar > Design Type** : **P-M2-M3 Design** (kolom) dan **M3 Design Only** (balok) > **OK**.



Gambar 2.17. Definiskan Jenis Penampang Berdasarkan Bentuk dan Material

Frame Section Property Data

General Data

Property Name:

Material:

Notional Size Data:

Display Color:

Notes:

Shape

Section Shape:

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: mm

Width: mm

Property Modifiers

Currently User Specified

Reinforcement

Gambar 2.18. Input Data-data Penampang

Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

☒ P-M2-M3 Design (Column)

☐ M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars:

Confinement Bars (Ties):

Reinforcement Configuration

☒ Rectangular

☐ Circular

Confinement Bars

☒ Ties

☐ Spirals

Check/Design

☐ Reinforcement to be Checked

☒ Reinforcement to be Designed

Longitudinal Bars

Clear Cover for Confinement Bars: mm

Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face:

Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face:

Longitudinal Bar Size and Area: mm²

Corner Bar Size and Area: mm²

Confinement Bars

Confinement Bar Size and Area: mm²

Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis): mm

Number of Confinement Bars in 3-dir:

Number of Confinement Bars in 2-dir:

Gambar 2.19. Input Data-data Tulangan dan Penentuan Kolom/Balok

Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area:

Shear Area in 2 direction:

Shear Area in 3 direction:

Torsional Constant:

Moment of Inertia about 2 axis:

Moment of Inertia about 3 axis:

Mass:

Weight:

Gambar 2.20. Input Faktor Modifikasi Penampang

4. Definisikan Tebal Elemen Pelat

Pelat dimodelkan untuk membentuk diafragma lantai dan menyalurkan beban terbagi rata dari tiap tingkat ke balok-balok pendukung.

- a) Pilih Menu **Define > Section Properties > Slab Section > Add New Property > OK.**
- b) Masukkan data-data pelat baik jenis, tebal, material, dan faktor modifikasi.

Gambar 2.21. Input Data-data Pelat

Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Membrane f11 Direction	0.25
Membrane f22 Direction	0.25
Membrane f12 Direction	0.25
Bending m11 Direction	0.25
Bending m22 Direction	0.25
Bending m12 Direction	0.25
Shear v13 Direction	1
Shear v23 Direction	1
Mass	1
Weight	1

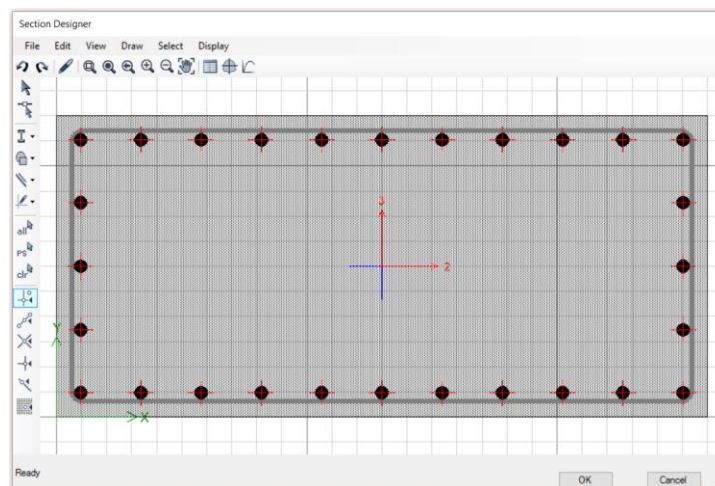
Gambar 2.22. Input Faktor Modifikasi Pelat

5. Definisikan Penampang Dinding Struktural

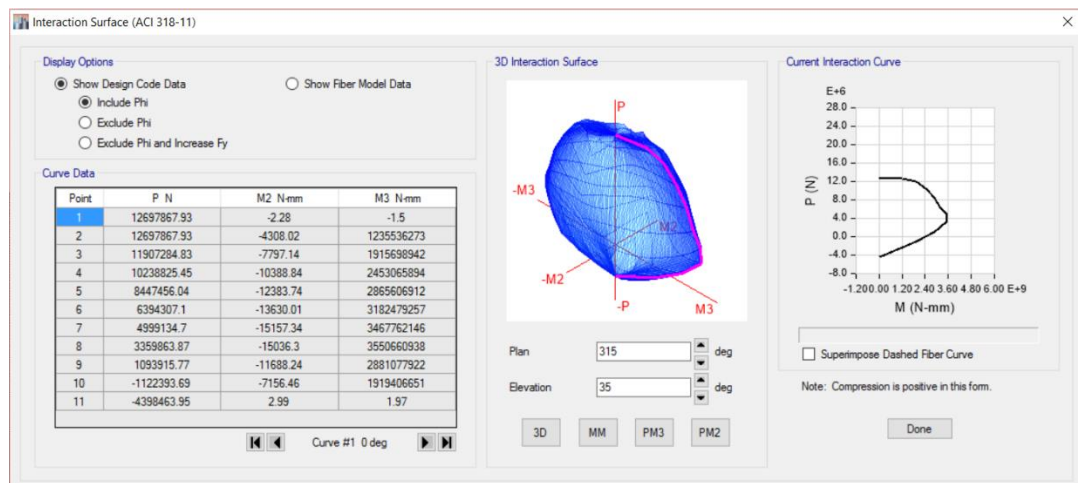
Dinding struktural merupakan elemen kaku dimana berfungsi menahan gaya geser besar. Komponen tersebut merupakan pelat, dan harus dimodelkan sebagai penopang atau diasumsikan memikul lentur dan geser seperti kolom.

- a) Modelkan dinding sebagai *pier* dengan cara : pilih Menu **Design > Shear Wall Design > Define General Pier Section > Add Pier Section > Section Designer > OK**.
- b) Masukan data-data dinding geser ukuran, material, dan faktor modifikasi.

Gambar 2.23. Input Data Pier Dinding Geser



Gambar 2.24. Pemodelan Penampang Dinding Geser



Gambar 2.25. Diagram Interaksi Pier Dinding Geser

6. Gambarkan Elemen Struktur Rangka, Dinding Struktural, dan Pelat pada *Grid Lines*

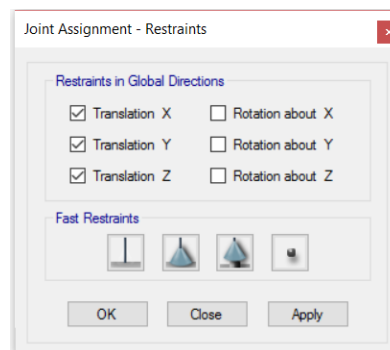
Penggambaran struktur dilakukan pada *grid lines* yang sudah dibentuk dalam tahap pertama.

- a) Pilih menu **Draw > Beam/Column/Brace Objects > Draw Beam/Column/Brace (Plan/Elev/3D) > OK.**
- b) Lakukan penggambaran objek balok dan kolom dengan memilih dua titik kumpul pad *grid lines* yang akan menjadi ujung-ujung dari elemen rangka.
- c) Pilih menu **Draw > Draw Floor/Wall Objects > Draw Floor/Wall (Plan/Elev/3D) > OK.**
- d) Lakukan penggambaran objek pelat lantai dan dinding struktural dengan memilih titik kumpul pad *grid lines* yang akan menjadi ujung-ujung dari elemen pelat.

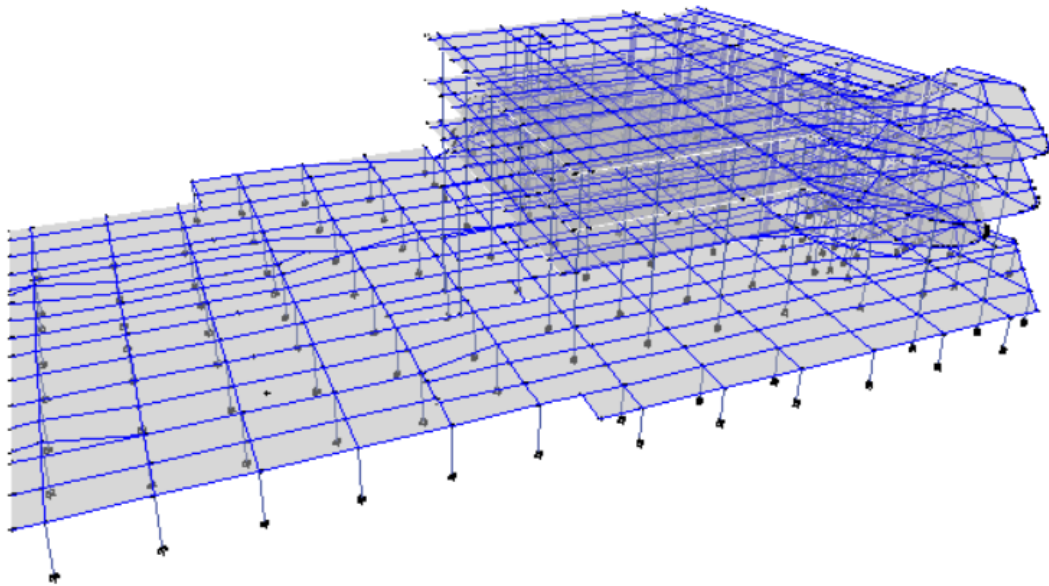
7. Definisikan Jenis Perletakan Struktur

Definisikan perletakan struktur pada lokasi penjepitan lateralnya dengan memodelkan sebagai jepit; sendi; rol; dan kopler. Dimana hal tersebut akan menghasilkan reaksi tumpuan yang dapat digunakan dalam perencanaan pondasi.

- a) Pilih titik kumpul yang akan menjadi perletakan struktur.
- b) Pilih menu **Assign > Joint > Restraints > pilih jenis perletakan > OK.**



Gambar 2.26. Input Jenis Perletakan Struktur

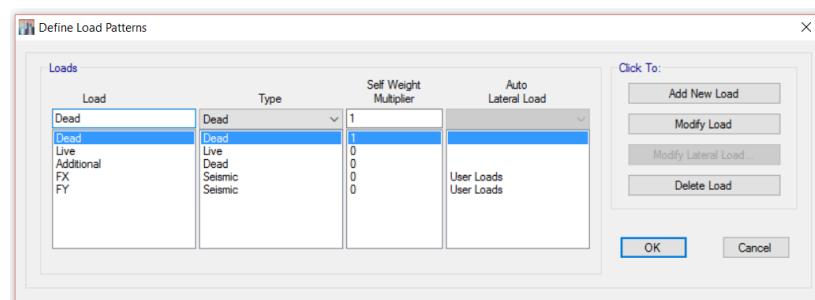


Gambar 2.27. 3D Struktur Sekolah Dian Harapan pada ETABS 15.2.2

8. Definisikan Jenis-Jenis Beban

Jenis pembebanan yang didefinisikan adalah berat sendiri struktur (SW), beban mati (DL), beban hidup (LL), dan beban gempa (EQ).

- Pilih menu **Define > Load Patterns > Add New Load > OK**.
- Pada kolom **Self Weight Multiplier** hanya berat sendiri yang diisi 1, sisanya dimasukan 0 (artinya beban SW dihitung otomatis dengan program, dan lainnya diinput secara manual).



Gambar 2.28. Penentuan Jenis Beban

9. Input Beban pada Penampang

Beban yang dimasukan pada penampang hanya pada balok saja dan berupa beban mati, yang nantinya akan dilimpahkan ke kolom.

- Pilih penampang yang akan input beban mati.
- Pilih menu **Assign > Frame Loads > Point** (beban terpusat) dan **Distributed** (berat merata) > **OK**.
- Masukan jenis, besar beban, lokasi, dan arah pembebanan.

Gambar 2.29. Input Beban Terpusat pada Penampang

Gambar 2.30. Input Beban Terbagi Rata pada Penampang

10. Input Beban Mati dan Beban Hidup pada Pelat

Beban yang dimasukkan pada pelat berupa berat luasan baik itu tergolong sebagai jenis tetap maupun bergerak.

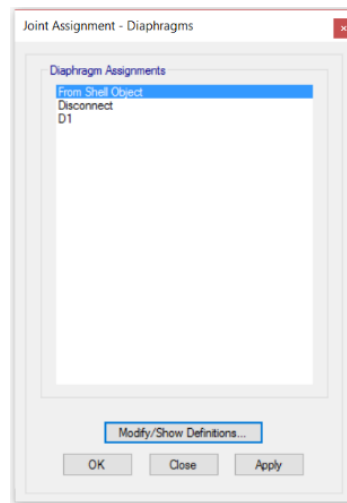
- Pilih pelat yang akan input beban luasan
- Pilih menu **Assign > Shell Loads > Uniform > OK**.
- Masukan jenis, besar beban, lokasi, dan arah pembebanan.

Gambar 2.31. Input Beban Luasan pada Pelat

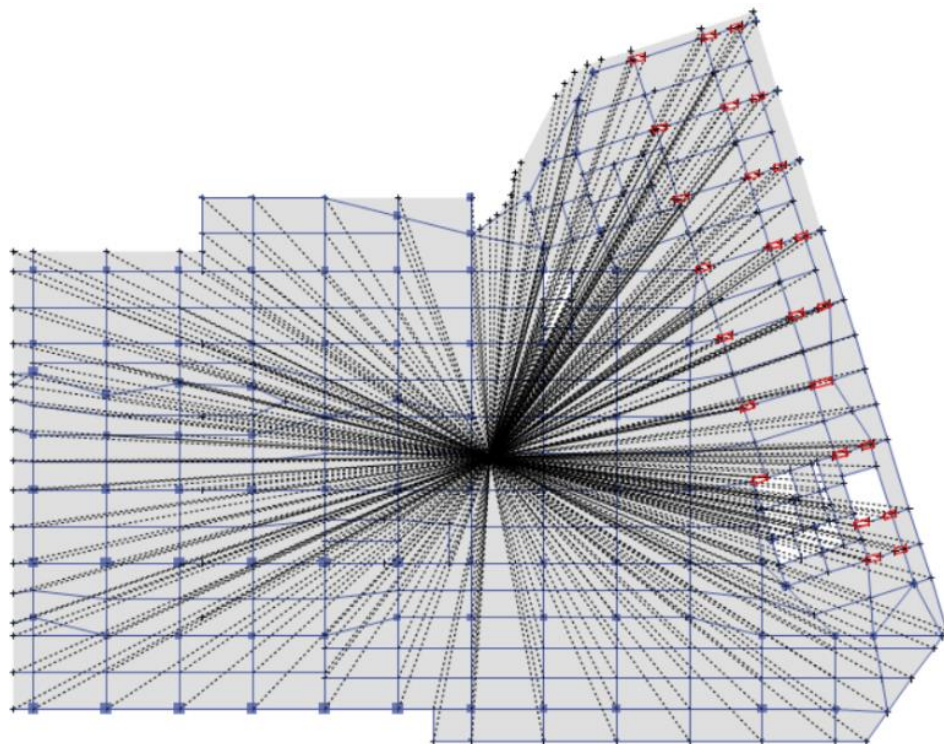
11. Diafragma Lantai

Diafragma dibentuk untuk menganggap pelat lantai/atap sebagai ikatan kaku struktur yang berhubungan langsung dengannya (kolom dan balok)

- a) Pilih semua objek pelat setiap tingkat.
- b) Pilih menu **Assign > Joint > Diaphragms > OK**.



Gambar 2.32. Pembuatan Diafragma Lantai / Atap

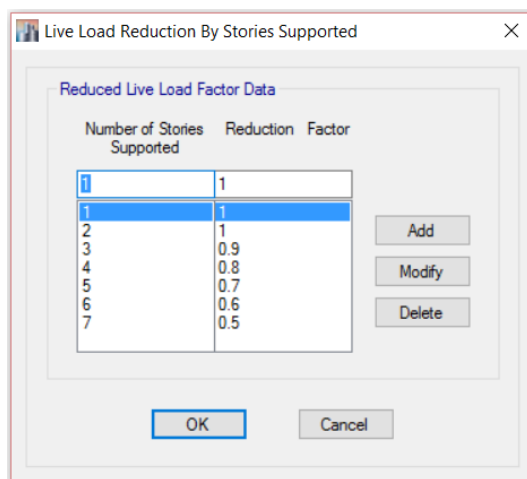


Gambar 2.33. Diafragma Lantai Dasar

12. Reduksi Beban Hidup

Beban hidup harus direduksi oleh suatu faktor sesuai dengan Tabel 2.4, dimana koefisien ini dipengaruhi oleh jumlah tingkat dari gedung.

- a) Pilih menu **Design > Live Load Reduction Factors > User Defined (By Stories Supported) > Define > Add** : masukan faktor reduksi sesuai Tabel 2.4 > **OK**.

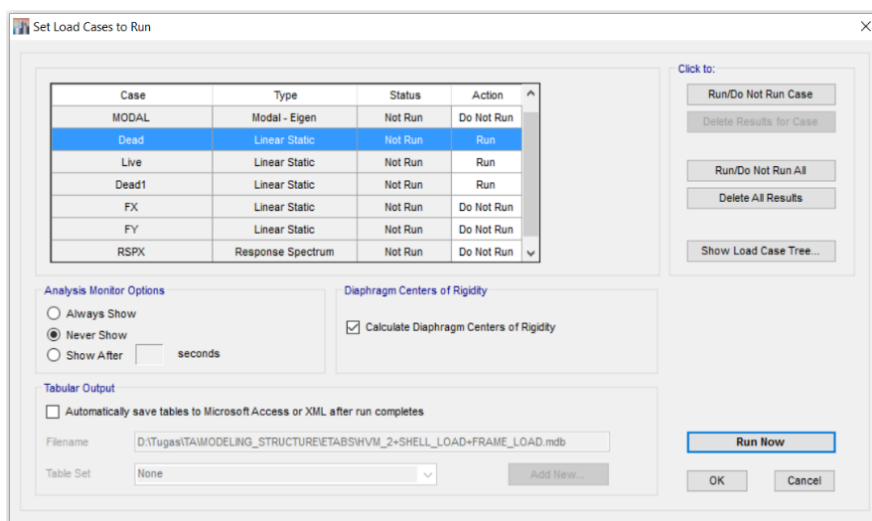


Gambar 2.34. Input Faktor Reduksi Beban Hidup

13. Berat Setiap Lantai

Berat setiap lantai didapat dari hasil analisa program ETABS 15.2.2 terhadap berat sendiri struktur, beban mati, dan beban hidup, gedung secara keseluruhan.

- a) Pilih menu **Analyze > Set Load Cases To Run** : pilih beban > **Run Now**.



Gambar 2.35. Penentuan Jenis Beban yang Akan Dianalisa

- b) Untuk menampilkan berat setiap lantai pilih menu **Display > Show Tables > Analysis > Result > Structure Results > Centers of Mass and Rigidity > OK**.

Centers of Mass and Rigidity											
Story	Diaphragm	Mass X kgf-s ² /m	Mass Y kgf-s ² /m	XCM m	YCM m	Cumulative X kgf-s ² /m	Cumulative Y kgf-s ² /m	XCCM m	YCCM m	XCR m	YCR m
Story7	D1	72619.35	72619.35	129.145	38.3882	72619.35	72619.35	129.145	38.3882	131.7836	42.3305
Story6	D1	25203	25203	145.7358	48.7105	97822.35	97822.35	133.4195	41.0477	132.2036	42.7952
Story5	D1	95342.85	95342.85	128.1006	38.5115	193165.2	193165.2	130.7941	39.7958	130.903	42.7179
Story4	D1	27457.09	27457.09	145.8362	48.48	220622.28	220622.28	132.6662	40.8766	131.013	43.1261
Story3	D1	92822.92	92822.92	126.0061	40.3131	313445.21	313445.21	130.6939	40.7097	128.9242	43.0888
Story2	D1	23289.27	23289.27	144.9724	47.354	336734.48	336734.48	131.6814	41.1693	129.135	43.8015
Story1	D1	305326.4	305326.4	110.5039	43.4798	642060.88	642060.88	121.6106	42.268	111.2825	44.8672

Gambar 2.36. Tabel Berat Setiap Lantai Hasil Analisa Program ETABS 15.2.2.

14. Input Beban Gempa Statik Ekuivalen

Berdasarkan berat bangunan yang didapat dari program menggunakan langkah-langkah pada butir 2.11.(13), dicari gaya geser per tingkat gempa statik dengan ketentuan dalam butir 2.4.

- Pilih menu **Define > Load Patterns > Auto Lateral Load : User Loads > Modify Lateral Load > OK.**
- Input gaya geser tingkat pada arah X maupun Y, beserta ordinat eksentrisitas pusat massa terhadap kekakuan berdasarkan ketentuan butir 2.3.8.

Number of Load Sets: 1

Load Set 1 of 1

Story	Diaphragm	Fx kgf	Fy kgf	Mz kgf-m	X Ordinate m	Y Ordinate m
Story7	D1	81027.85	0	0	137.993	50.784
Story6	D1	24866.58	0	0	135.99	46.756
Story5	D1	79496.54	0	0	133.319	50.14
Story4	D1	20303.83	0	0	135.431	47.832
Story3	D1	51692.88	0	0	134.054	49.607
Story2	D1	11711.63	0	0	134.966	48.919
Story1	D1	74579.86	0	0	130.876	53.828

1

☐ Apply Load at Diaphragm Center of Mass

Additional Eccentricity Ratio (all Diaphragms):

Sort Rows Add Row Delete Row(s)

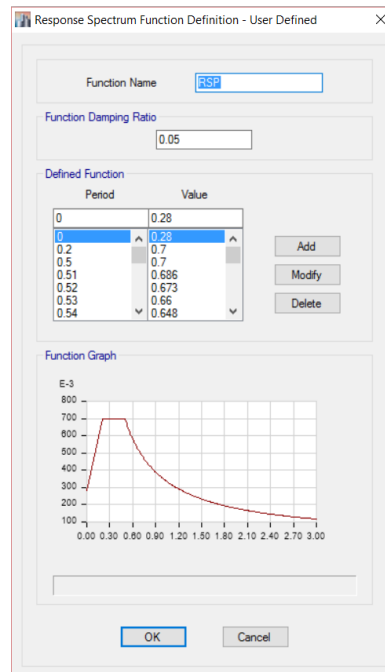
OK Cancel

Gambar 2.37. Input Gaya Geser Tingkat Beban Gempa Statik Ekuivalen Arah X dan Ordinat Eksentrisitas Pusat Massa Terhadap Rotasi.

15. Input Beban Gempa Respon Spektrum

Kurva respon spektrum yang akan diinput menjadi beban gempa dinamik ditentukan berdasarkan jenis tanah dan wilayah gempa lokasi gedung berdasarkan Gambar 2.9.

- Pilih menu **Define > Functions > Response Spectrum > Choose Function Type to Add : From File > Add New Function > Browse :** pilih file yang berisi tentang informasi numerik kurva respon spektrum sesuai wilayah gempa serta jenis tanah > **Convert to User Defined > OK.**



Gambar 2.38. Input Kurva Respon Spektrum pada Program ETABS 15.2.2

16. Simpangan Antar Tingkat

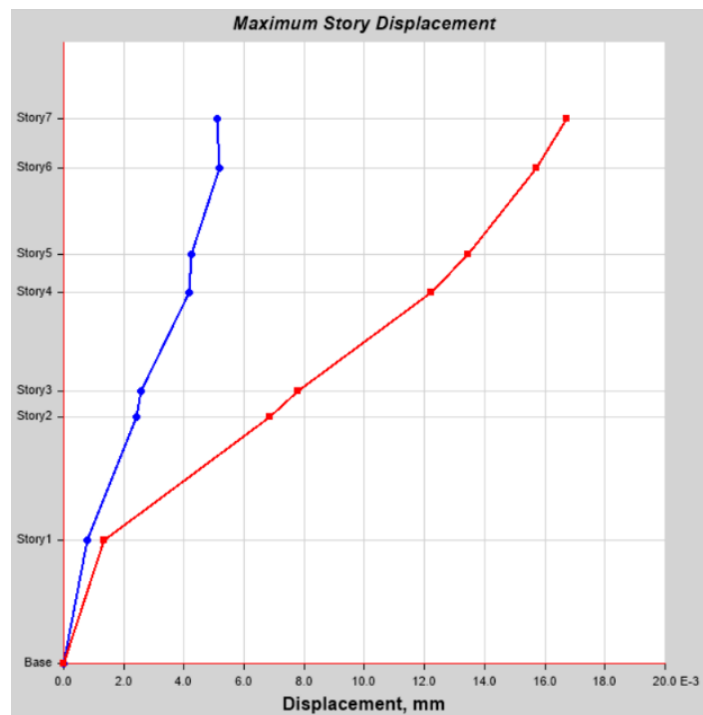
Simpangan antar tingkat akibat beban gempa dihitung untuk mendapatkan kinerja batas layan dan ultimit dari gedung seperti ketentuan butir 2.6.

- Pilih menu **Analyze > Set Load Cases To Run** : pilih beban gempa dan modal untuk respon dinamik > **Run Now**.
- Untuk menampilkan simpangan antar tingkat dari struktur pilih menu **Display > Show Tables > Analysis > Result > Structure Results > Displacements > Diaphragm Centers of Mass Displacements > OK**.

Story Drifts								
1 of 28 Reload Apply								
	Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Label	X mm	Y mm	Z mm
▶	Story7	RSPX Max	X	0.000773	325	133161.3	65724.64	21950
	Story7	RSPX Max	Y	0.000459	139	108500	48000	21950
	Story7	RSPY Max	X	0.000351	325	133161.3	65724.64	21950
	Story7	RSPY Max	Y	0.000671	19	108500	26000	21950
	Story6	RSPX Max	X	0.000721	325	133161.3	65724.64	19950
	Story6	RSPX Max	Y	0.000362	58	157797	34147.32	19950
	Story6	RSPY Max	X	0.000361	325	133161.3	65724.64	19950
	Story6	RSPY Max	Y	0.000745	58	157797	34147.32	19950
	Story5	RSPX Max	X	0.000824	224	119575	64000	16450
	Story5	RSPX Max	Y	0.000698	317	99025	36725	16450
	Story5	RSPY Max	X	0.000438	224	119575	64000	16450
	Story5	RSPY Max	Y	0.000987	31	157092.39	29731.04	16450
	Story4	RSPX Max	X	0.000857	325	133161.3	65724.64	14950
	Story4	RSPX Max	Y	0.000453	56	156271.05	33666.19	14950
	Story4	RSPY Max	X	0.00048	325	133161.3	65724.64	14950
	Story4	RSPY Max	Y	0.001064	56	156271.05	33666.19	14950
	Story3	RSPX Max	X	0.000844	325	133161.3	65724.64	10950
	Story3	RSPX Max	Y	0.000581	317	99025	36725	10950
	Story3	RSPY Max	X	0.000436	325	133161.3	65724.64	10950
	Story3	RSPY Max	Y	0.001037	31	157092.39	29731.04	10950
	Story2	RSPX Max	X	0.000718	241	145445.64	68000	9950
	Story2	RSPX Max	Y	0.000414	56	156271.05	33666.19	9950
	Story2	RSPY Max	X	0.000468	241	145445.64	68000	9950
	Story2	RSPY Max	Y	0.001065	56	156271.05	33666.19	9950
	Story1	RSPX Max	X	0.000159	4	84500	16000	4950
	Story1	RSPX Max	Y	8.4E-05	1	60500	16000	4950
	Story1	RSPY Max	X	0.000108	261	79000	72000	4950

Gambar 2.39. Simpangan Struktur Akibat Beban Gempa

- c) Untuk menampilkan diagram simpangan dari struktur pilih menu **Display** > **Story Response Plot** > **OK**.



Gambar 2.40. Diagram Simpangan Struktur Akibat Beban Gempa

17. Kombinasi Pembebanan

Untuk mencapai suatu kekuatan struktur minimum sama dengan kuat perlu, maka beban yang bekerja harus dikalikan suatu faktor sesuai dengan ketentuan butir 2.7.3.(1).

- a) Pilih menu **Define** > **Functions** > **Load Combinations** > **Add New Combo** > **Add** : masukan jenis beban dan faktor kombinasi yang sesuai > **OK**.

The screenshot shows a dialog box titled "Load Combination Data". It has two main sections: "General Data" and "Define Combination of Load Case/Combo Results".

General Data:

- Load Combination Name: Comb7
- Combination Type: Linear Add (dropdown menu)
- Notes: (empty text box)
- Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results:

Load Name	Scale Factor
Dead	0.9
Dead1	0.9
RSPX	1
RSPY	0.3

Buttons: Add, Delete, OK, Cancel.

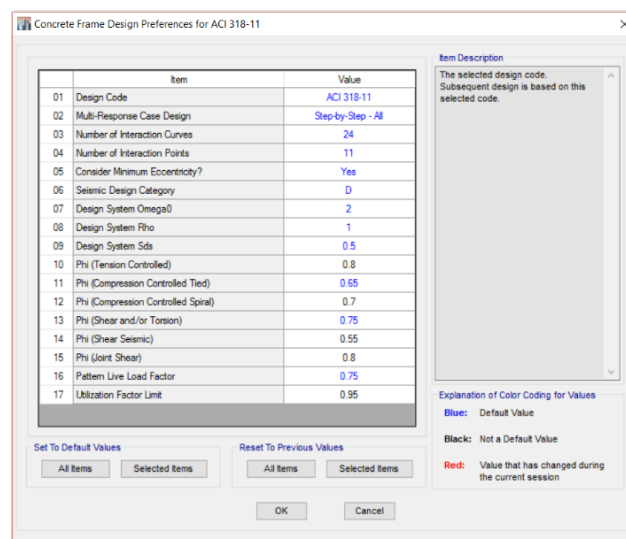
Gambar 2.41. Input Kombinasi Pembebanan

18. Faktor Reduksi Kekuatan

Reduksi kekuatan dimaksudkan untuk mengurangi kapasitas elemen struktur dalam menahan lentur, geser, dan torsi, guna menjamin suatu gedung memiliki faktor keamanan.

Reduksi ini didapat dengan cara mengalikan kuat nominal elemen struktur dengan suatu faktor sesuai dengan butir 2.7.3.(2).

- a) Pilih menu **Design** > pilih jenis konstruksi (*Steel/Concrete/Composite/Shear Wall*) > **View/Revise Preferences** > Masukkan parameter perencanaan yang sesuai > **OK**.

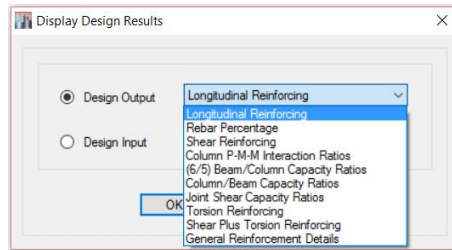


Gambar 2.42. Input Faktor Reduksi Kekuatan Rangka Portal Beton Bertulang

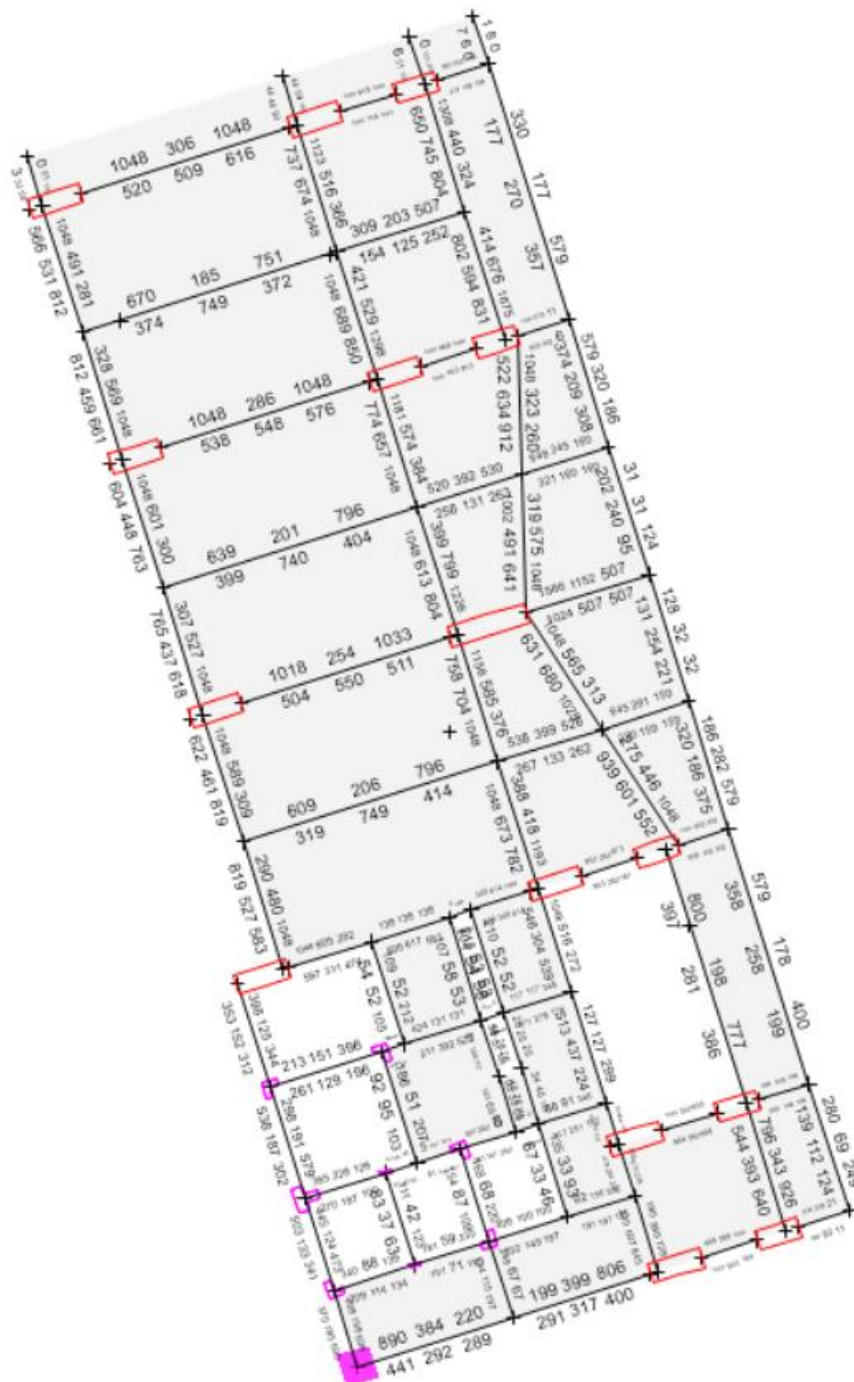
19. Desain Struktur Rangka Beton Bertulang dengan ETABS

Dalam ETABS 15.2.2. sudah terdapat fasilitas untuk menghitung kekuatan struktur rangka hingga jumlah tulangannya, serta dapat mengecek keamanan dari penampang.

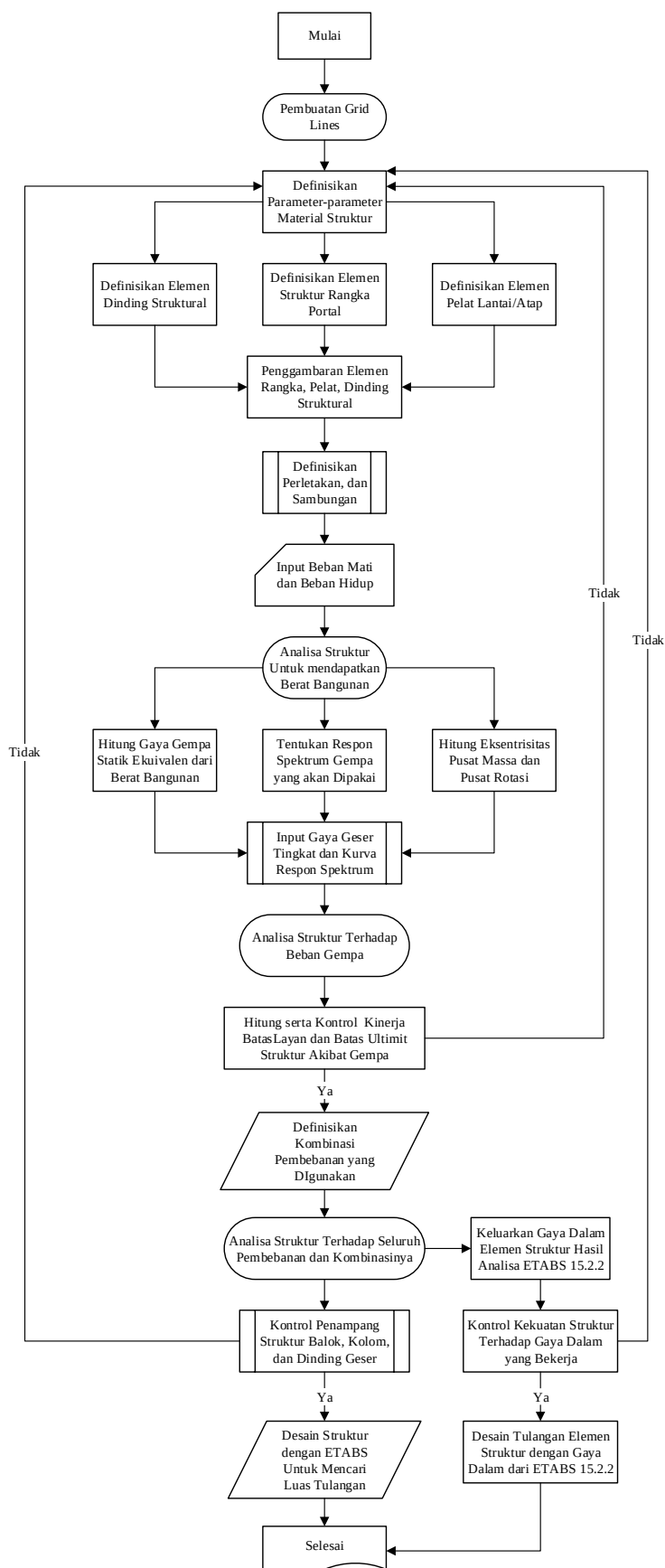
- a) Pilih menu **Analyze** > **Set Load Cases To Run** : pilih beban mati , hidup, dan gempa > **Run Now**.
- b) Pilih menu **Desig** > **Concrete Frame Design** > **Select Design Combinations** : pilih semua kombinasi pembebanan yang akan digunakan > **OK**.
- c) Pilih menu **Desig** > **Concrete Frame Design** > **Start Design/Check**.
- d) Pilih menu **Desig** > **Concrete Frame Design** > **Display Design Info** : tentukan jenis informasi hasil desain struktur beton bertulang yang diperlukan > **OK**.



Gambar 2.43. Informasi Hasil Desain Struktur Rangka Beton Bertulang



Gambar 2.44. Contoh Luas Tulangan Longitudinal Balok Hasil Desain Program ETABS 15.2.2



Gambar 2.45. Diagram Alir Pemodelan dan Analisa Struktur Gedung Beton Bertulangan Tahan Gempa dengan Program ETABS 15.2.2