

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Partono dkk. (2015) mengembangkan peta rawan gempa pada wilayah Semarang dengan melakukan penelitian meliputi perhitungan hazard gempa, analisis kondisi tanah dan analisis tingkat resiko gempa, penelitian tersebut dilakukan dengan pendekatan deterministik akibat gempa dan percepatan permukaan tanah, hasil pengembangan tersebut akan digunakan sebagai acuan dalam upaya mengurangi resiko bencana gempa dan pedoman untuk merencanakan struktur bangunan di wilayah Semarang, hasil pengembangan menunjukkan bahwa untuk Semarang bagian selatan akan mengalami guncangan yang paling besar dibandingkan untuk Semarang bagian tengah ataupun utara. Pengembangan serupa juga dilakukan untuk wilayah Jakarta oleh Delfebriyadi dkk. (2017) dengan melakukan studi mikro zonasi dan analisis respon dinamik dengan *software* NERA, dimana pengembangannya menyimpulkan bahwa kelas tanah dari suatu situs percepatan permukaan tanah akan mempengaruhi frekuensi gelombang gempa, selain itu respon percepatan pada permukaan tanah cenderung mengalami peningkatan pada setiap periodenya, hal itu dapat diketahui dari nilai rata-rata aritmatik spektra percepatan di permukaan tanah yang bervariasi, sehingga untuk wilayah Jakarta digunakan tiga zona seismik dengan periode ulang 2500 tahun dengan nilai rata-rata aritmatik spektra percepatannya diantara periode bentang 0,5 sampai 1,5 detik.

Arfiandi (2013) melakukan penelitian “Implikasi Penggunaan Peta Gempa 2010 Pada Perencanaan Gedung di Yogyakarta” dengan tujuan untuk menjelaskan fungsi peta gempa 2010 sebagai penunjang RSNI 1726:201X yang akan menggantikan SNI 03-1726-2002 dan untuk memperoleh data perbandingan percepatan desain spektrum pada tanah serta gaya geser dasar pada struktur bangunan dari peta gempa sebelumnya yang tercantum pada peraturan SNI 03-1726-2002. Penelitian tersebut dilakukan dengan merencanakan struktur bangunan empat lantai yang direncanakan dibangun pada setiap kondisi tanah (lunak, sedang, dan keras), dengan membandingkan perhitungan gaya geser dasar rencana

berdasarkan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 1726:201X yang mengacu dari peta gempa 2010, dengan menggunakan metode perhitungan spektra desain yang dimodelkan pada SAP2000. Didapati dari penelitian tersebut adanya peningkatan dan penurunan nilai gaya geser sesuai dengan jenis tanahnya, untuk tanah lunak nilai gaya geser berdasarkan RSNI 1726:201X lebih kecil dari gaya geser berdasarkan SNI 03-1726-2002, sedangkan untuk tanah sedang nilai gaya geser berdasarkan RSNI 1726:201X mencapai 1,4 lebih besar dari SNI 03-1726-2002 dan untuk tanah keras nilai gaya geser berdasarkan RSNI 1726:201X mencapai rata-rata 70% lebih besar dari nilai gaya geser berdasarkan SNI 03-1726-2002. Hal tersebut terjadi karena pada tanah lunak didapati nilai percepatan spektra desainnya lebih kecil dari nilai percepatan pada tanah sedang dan tanah keras.

3.1.1. Penelitian Terdahulu

Rifa'i dkk. (2014) melakukan penelitian pada struktur bangunan hotel di wilayah Karanganyar, penelitian ini ditujukan untuk mengetahui respon struktur bangunan terhadap gempa yang ditunjukkan oleh parameter nilai seperti nilai *displacement* dan *drift ratio*, dan juga untuk mengetahui tingkatan level dari struktur bangunan hotel tersebut. Metode yang digunakan dalam melakukan analisis struktur bangunan hotel tersebut adalah analisis statik dan analisis dinamik yang dilakukan dengan memodelkan struktur bangunan menggunakan *software* ETABS sesuai SNI 1726:2012. Berdasarkan penelitian yang dilakukan diperoleh *displacement* maksimal arah X senilai 0,0465m dan arah Y senilai 0,0634m, sedangkan untuk nilai *drift ratio* didapati nilai maksimal untuk arah X senilai 0,00077 dan untuk arah Y senilai 0,00103. Hal serupa juga dilakukan Purnomo dkk. (2014) pada gedung hotel di wilayah Semarang, hasilnya menunjukkan bahwa *displacement* maksimal arah X sebesar 0,0573 dan arah Y sebesar 0,557 sedangkan nilai *drift stori* arah X yang diperoleh adalah 0,0018 dan 0,0017 untuk arah Y. Sehingga respon dari kedua struktur hotel tersebut dinyatakan aman dan memenuhi syarat berdasarkan SNI 1726:2012 dan berada pada level *Immediate Occupancy* jika ditinjau berdasarkan peraturan ATC-40.

Haryanto dkk. (2015) meneliti tentang respon struktur bangunan lima lantai terhadap gempa pada tanah keras di daerah banyumas, penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui respon struktur akibat perubahan peraturan gempa, penelitian

dilakukan dengan membandingkan peraturan gempa terbaru SNI 1726:2012 dan peraturan sebelumnya SNI 03-1726-2002 dengan metode *push over*, yaitu metode yang memberikan beban dorong secara bertahap pada struktur bangunan sampai menemui titik capai maksimal dari suatu struktur bangunan tersebut, analisis dilakukan dengan memodelkan struktur bangunan pada *software* ETABS sesuai dengan kondisi struktur di lapangan, sehingga hasil yang didapatkan akan mendekati kondisi struktur pada aslinya. Setelah pengujian dilakukan didapati adanya selisih perbedaan respon struktur untuk peraturan terbaru dan peraturan lama, hal ini dapat dilihat dari kenaikan gaya geser dasar sebesar 1,48% pada saat mencapai titik respon, dan juga kenaikan *displacement* pada struktur bangunan sebesar 19,61%, sedangkan untuk daktilitas struktur bangunan, didapati penurunan mencapai 43,14%. Namun demikian, struktur bangunan tetap berada pada kategori level *Immediate Occupancy* karena tidak didapati banyak kerusakan, dan sebagian besar fungsi bangunan tidak terganggu serta tetap dapat digunakan dengan normal, secara keseluruhan kekuatan struktur bangunan tidak berubah dan masih sama seperti kondisi sebelum terjadi gempa.

Refani dkk. (2016) meninjau struktur bangunan tingkat tinggi di wilayah Surabaya yang telah terbengkalai selama lebih dari 15 tahun, hal itu untuk mengetahui kelayakan dari struktur lama yang direncanakan dapat kembali dimanfaatkan, agar dapat merealisasikan rencana tersebut, dilakukan analisis terhadap kualitas dari mutu beton dan kekuatan strukturnya terhadap gempa. Digunakan alat *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) untuk mengetahui kualitas dari mutu betonya, sedangkan untuk mengetahui kekuatan struktur terhadap gempa dilakukan analisis respon spektrum yang mengacu pada peraturan perencanaan SNI 1726:2012. Hasil dari penelitian yang dilakukan, diketahui bahwa nilai rata-rata pengujian kuat tekan beton berdasarkan alat UPV menunjukan bahwa beton pada struktur bangunan yang diuji masih dapat dikategorikan “cukup baik”, dan untuk kekuatan strukturnya terhadap gempa, didapati hasil yang menunjukan respon cukup baik, hal ini karena perencanaan struktur bangunannya telah direncanakan sangat baik serta memiliki faktor keamanan pada dimensi dan penulangan yang sangat tinggi, selain itu pelaksanaan pada saat pembangunannya pun sangat baik, hal ini dapat dilihat dari baiknya kualitas kepadatan beton yang ada di lapangan.

Soelarso dan Baehaki (2017) melakukan evaluasi simpangan pada struktur bangunan akibat penambahan lantai, sebuah struktur bangunan dekanat fakultas teknik UNITRA direncanakan akan dilakukan penambahan lantai di atasnya, oleh karena itu dilakukan evaluasi respon pada struktur bangunan yang ada, dan perencanaan struktur tambahannya, evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui simpangan dan kekuatan struktur bangunan terhadap gempa akibat penambahan lantai di atasnya, dan untuk mengevaluasi rencana penambahan lantai tersebut, setelah dilakukan penelitian berdasarkan analisis respon spektrum terhadap gempa sesuai peraturan SNI 1726:2012, didapatkan nilai gaya geser arah X sebesar 1.549,45kN dan untuk arah Y sebesar 1.581,06kN, serta simpangan pada arah X adalah 298,65 mm dan arah Y adalah 249,59 mm, sedangkan simpangan izinnnya adalah 186 mm. Maka dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa struktur bangunan tidak mampu menerima beban yang ada, sehingga rencana penambahan lantai tersebut perlu dievaluasi kembali agar didapatkan struktur bangunan yang menjamin keamanannya.

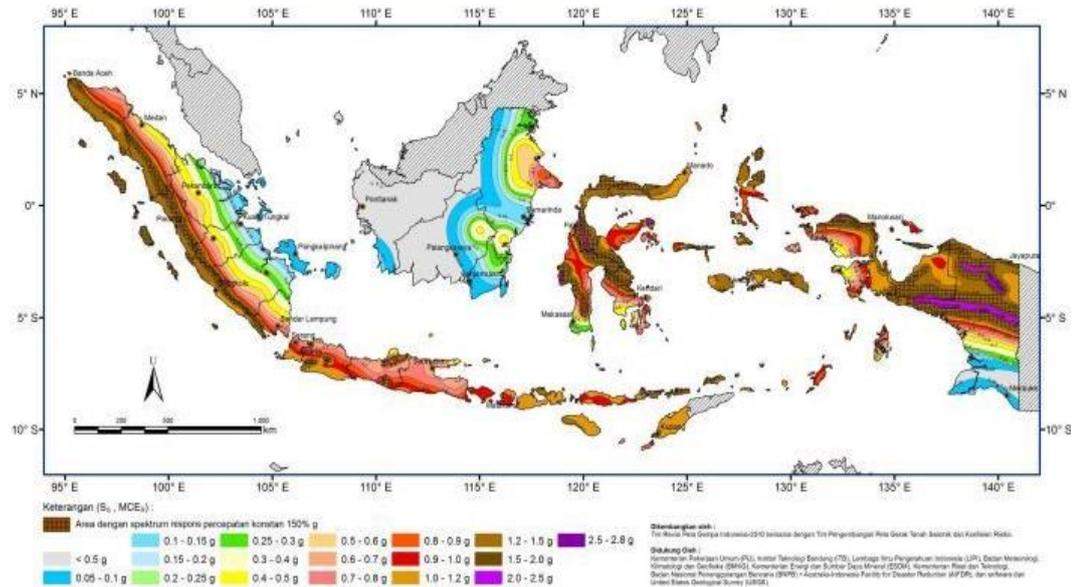
Tantra dkk. (2016) memodelkan bangunan tiga lantai dan tujuh lantai yang direncanakan dengan peraturan perencanaan SNI 1726-2002 dan SNI 1726:2012 untuk mengetahui perbandingan respon struktur akibat adanya peraturan baru, pemodelan dilakukan untuk beberapa perbedaan sistem rangka pemikul momen khusus, menengah dan biasa (SRPMK, SRPMM, SRPMB), menggunakan *software* SAP2000v.11. dengan meninjau berdasarkan *drift ratio* dan berdasarkan pola keruntuhan *beam side sway mechanism*. Setelah penelitian pada tinjauan berdasarkan *drift ratio* didapati bahwa bangunan tujuh lantai yang didesain berdasarkan peraturan SNI dapat bekerja baik untuk level gempa 225 dan 500 tahun, namun tidak mampu menerima beban gempa untuk level 2500 tahun, dan untuk bangunan tiga lantai didapati strukturnya tidak mampu menerima setiap beban yang diberikan, sedangkan pada tinjauan berdasarkan *beam side sway mechanism* menyimpulkan bahwa bangunan tujuh lantai menunjukkan respon yang baik untuk level gempa 72, dan 225 tahun, namun tidak baik untuk level gempa di atasnya, dan untuk bangunan tiga lantai didapati bahwa strukturnya menunjukkan respon baik pada level gempa 72 tahun, namun tidak baik untuk level di atasnya.

Budiono dan wicaksono (2016) melakukan penelitian terhadap perilaku struktur akibat ketidakberaturan gaya vertikal dan ketidakberaturan massa yang dapat mengakibatkan *soft story*, penelitiannya dilakukan dengan memodelkan struktur bangunan 20 lantai dengan ketidakberaturan yang berbeda, yaitu ketidakberaturan vertikal kekakuan tingkat lunak berlebih, ketidakberaturan massa, dan kombinasi keduanya yang ditempatkan pada ketinggian berbeda, seperti pada bagian bawah, tengah dan atas struktur, yang kemudian dianalisis dengan metode *push over*. Hasil penelitian menunjukkan perilaku struktur akibat ketidakberaturan masa tidak memberikan dampak yang terlalu besar, sedangkan untuk perilaku struktur akibat ketidakberaturan vertikal kekakuan lunak berlebih dan ketidakberaturan kombinasi mengalami penyimpangan yang sangat besar dan tingkat keamanan yang sangat rendah, terutama pada bagian bawah struktur bangunan (*soft story*). Sehingga berdasarkan peraturan SNI 1726:2012, kekakuan lateral yang tidak memenuhi syarat, dapat terjadi karena ketidakberaturan beraturan vertikal pada struktur bangunan, hal ini terjadi apabila suatu lantai pada struktur memiliki kekakuan 60% lebih kecil dari kekakuan lateral pada lantai di atasnya, atau kekakuan lateralnya 70% lebih kecil dari rata-rata tiga lantai di atasnya, sehingga perlu adanya analisis untuk mengetahui nilai dari *soft story* yang terjadi.

2.2. Dasar Teori

Gempa merupakan getaran yang terjadi pada permukaan bumi akibat pelepasan energi karena perpecahan atau pergerakan lempeng bumi yang terjadi secara tiba-tiba, sehingga kumpulan energi yang terlepas karena adanya pergerakan lempeng tersebut mengakibatkan terjadinya regangan, atau tegangan pada batuan, maka pada saat tegangan tersebut mencapai titik maksimal, terjadilah pelepasan energi yang mengakibatkan gempa (Prawirodikromo, 2012). Namun demikian energi yang terlepas berbeda pada setiap daerah, sehingga kemungkinan terjadinya gempa pada setiap daerah berbeda pula.

Menurut Partono dkk. (2015) tingkatan perbedaan kemungkinan terjadinya gempa, dapat diimplementasikan dalam bentuk sebuah peta gempa, peta yang berisi informasi tentang percepatan pada permukaan tanah atau dasar tanah.



Gambar 2.1 Peta gempa nasional (BSN, 2012)

Peta gempa digunakan sebagai acuan dalam menghitung spektra percepatan di dalam merancang suatu struktur, karena dalam merencanakan struktur harus diperhitungkan terhadap beban gempa, terutama struktur bangunan tingkat tinggi. Diantara teori yang digunakan dalam merancang dan menganalisis struktur bangunan adalah sebagai berikut.

2.2.1. Pembebanan Pada Struktur

Pembebanan pada struktur merupakan dasar dalam merencanakan struktur, hal ini karena tingkat keamanan dari struktur bangunan adalah berdasarkan beban-beban yang terjadi pada struktur, karena struktur yang kuat adalah struktur yang mampu menahan semua beban yang terjadi. Berdasarkan PPURG 1987 (DPU, 1987) beban pada struktur bangunan dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Beban mati

Beban mati adalah beban dari semua bagian struktur yang bersifat tetap, termasuk unsur-unsur tambahan dan penyelesaian pada bangunan, serta alat-alat yang bagiannya tidak dapat dipisahkan dari struktur bangunan, yang dalam hal ini disebut beban mati tambahan, seperti dijelaskan dalam pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung.

Tabel 2.1 Berat Sendiri bahan bangunan dan komponen gedung

No	Material Bangunan	Berat
	Bahan Bangunan	(kg/m ³)
1	Baja	7.850
2	Batu alam	2.600
5	Beton	2.200
6	Beton bertulang	2.400
7	Kayu (kelas satu)	1.000
8	Kerikil, koral	1.650
9	Pasangan bata merah	1.700
10	Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2.200
11	Pasangan batu cetak	2.200
13	Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600
14	Pasir (jenuh air)	1.800
	Komponen Gedung	(kg/m ²)
17	Adukan dari semen (1 cm)	21
18	Dinding pasangan bata merah (satu batu/setengah batu)	450 / 250
19	Dinding batako (dengan lubang/tanpa lubang)	200 / 300
20	Langit langit termasuk rusuk-rusuknya tanpa penggantung	11
21	Penggantung langit-langit	7
22	Penutup atap genting dengan reng dan usuk per m ² bidang	50
23	Penutup atap dari ubin semen portland dan beton (1cm)	24

2. Beban hidup

Beban hidup adalah beban yang terjadi akibat adanya hunian, atau penggunaan dari bangunan.

Tabel 2.2 Beban hidup pada lantai gedung (DPU, 1987)

No	Beban Hidup pada Lantai Gedung	Beban kg/m ²
1	Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam 2	200
2	Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang tidak penting yang bukan toko, pabrik, atau bengkel	125
3	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel asrama dan rumah sakit	250
4	Lantai ruang olah raga	400
5	Lantai dan balkon dalam dari ruangan untuk pertemuan selain yang disebut pada 1 s/d 5, seperti mesjid, ruang rapat, bioskop, panggung penonton, dan tempat duduk tetap	400
6	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebutkan dalam 3	300
7	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebutkan dalam 4 s/d 7	500
8	Lantai ruang pelengkap dari yang disebutkan dalam 3 s/d 8	250
9	Lantai untuk pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat alat dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup sendiri, dengan minimum	400
10	Lantai gedung parkir bertingkat lantai bawah	800
	Balkon-balkon yang menjorok keluar harus direncanakan terhadap beban hidup sendiri, dengan minimum	300

3. Beban gempa

Gempa merupakan perilaku alami yang keberadaannya diperhitungkan sebagai beban pada struktur, beban gempa dapat diartikan dengan beban statik ekuivalen pada struktur bangunan yang bergerak mengikuti pergerakan tanah. Pengaruh gaya gempa dapat ditentukan dengan analisis statik dan dinamik, maka dapat disimpulkan bahwa beban gempa adalah gaya-gaya pada struktur bangunan yang terjadi akibat adanya gempa bumi.

4. Beban angin

Beban angin adalah semua beban yang terjadi pada struktur bangunan akibat perbedaan udara yang terjadi dan memberikan tekanan pada struktur.

5. Kombinasi pembebanan pada struktur

Berdasarkan SNI 1726:2012 (BSN, 2012) dilakukan kombinasi pembebanan pada struktur untuk mendapatkan kondisi kritis sebagai acuan untuk merencanakan kebutuhan tulangan, kombinasi tersebut antara lain:

- a. $1,4D$
- b. $1,2D + 1,6L$
- c. $1,2D + 0,5W$
- d. $1,2D + 1W + 1L$
- e. $1,2D + 1L \pm 0,3(\rho QE_x + 0,2 Sds DL) \pm 1 (\rho QE_y + 0,2 Sds DL)$
- f. $1,2D + 1L \pm 1 (\rho QE_x + 0,2 Sds DL) \pm 0,3 (\rho QE_y + 0,2 Sds DL)$
- g. $0,9D + 1W$
- h. $0,9D \pm 0,3(\rho QE_x - 0,2 Sds DL) \pm 1 (\rho QE_y - 0,2 Sds DL)$
- i. $0,9D \pm 1 (\rho QE_x - 0,2 Sds DL) \pm 0,3 (\rho QE_y - 0,2 Sds DL)$.

2.2.2. Analisis Statik Ekuivalen

Analisis gempa pada struktur bangunan dibagi menjadi dua metode, yaitu metode statik dan dinamik. Metode statik biasa disebut statik ekuivalen, yaitu analisis kegempaan dengan menyederhanakan dan memodifikasi beban gempa menjadi beban horizontal yang bekerja pada pusat massa suatu struktur. Digunakan getar periode pertama dalam menentukan parameter gempa, hal ini karena ragam getar perioda pertama untuk beberapa kondisi menyebabkan kerusakan paling dominan, Analisis dilakukan dengan perhitungan berikut.

1. Geser dasar seismik (V)

Mengacu kepada peraturan SNI 1726:2012 (BSN, 2012) geser dasar seismik dapat ditentukan dengan persamaan :

$$V = C_s \cdot W \quad (2.1)$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e} \quad (2.2)$$

$$C_{S_{min}} = 0.044S_{DS}I_e \quad (2.3)$$

$$C_{S_{max}} = \frac{S_{DS}}{T_a(R/I_e)} \quad (2.4)$$

Dimana:

- V : Geser dasar seismik
- C_s : Koefesien respons seismik
- W : Berat seismik efektif
- S_{DS} : Parameter percepatan spektrum respon desain
- R : Faktor modifikasi respons
- I_e : Faktor keutamaan gempa

2.2.3. Analisis Respon Spektrum

Analisis respon spektrum didapatkan dari perhitungan parameter sebagai berikut.

1. Menentukan faktor keutamaan dan kategori risiko, I_e

Tabel 2.3 Kategori risiko bangunan gedung untuk beban gempa (BSN, 2012)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat7 perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiki IV</p>	IV

Tabel 2.4 Faktor keutamaan gempa (BSN, 2012)

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

2. Koefisien modifikasi respon, R^a

Koefisien modifikasi respon diketahui dari sistem penahan gaya seismik pada struktur yang fungsinya digunakan dalam menghitung dan merencanakan desain respon spektrum, seperti tertulis dalam Tabel 2.5, yang memaparkan nilai parameter-parameter untuk sistem penahan gaya seismik yaitu koefisien modifikasi respon (R), faktor pembesaran defleksi (C_d), dan faktor kekuatan berlebih pada sistem seismik (Ω_0).

Tabel 2.5 Bagan Tabel faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa (BSN, 2012)

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respon, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0	Faktor pembesaran defleksi, C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, (m)					
				Kategori desain seismik					
				B	C	D	E	F ^e	
C. Sistem rangka pemikul momen		3							
1. Rangka baja pemikul momen	8	3	5 ^{1/2}	TB	TB	TB	TB	TB	
2. Rangka batang baja pemikul	7	3	5 ^{1/2}	TB	TB	48	30	TI	
3. Rangka baja pemikul momen	4 ^{1/2}	3	4	TB	TB	TI ^h	TI ^h	TI ⁱ	
4. Rangka baja pemikul momen	3 ^{1/2}	3	3	TB	TB	10 ^{h,i}	TI ^h	TI ⁱ	
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5 ^{1/2}	TB	TB	TB	TB	TB	
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4 ^{1/2}	TB	TB	TI	TI	TI	
7. Rangka beton bertulang pemikul	3	3	2 ^{1/2}	TB	TI	TI	TI	TI	
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5 ^{1/2}	TB	TB	TB	TB	TB	
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4 ^{1/2}	TB	TB	TI	TI	TI	
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5 ^{1/2}	48	48	30	TI	TI	
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2 ^{1/2}	TB	TI	TI	TI	TI	

Dimana R^a = Koefisien modifikasi sistem

Ω_0 = Faktor kuat lebih sistem

C_d = Faktor pembesaran defleksi

TB = Tidak dibatasi

TI = Tidak diizinkan

3. Koefesien situs, F_a dan F_v

Berdasarkan SNI 1726:2012 (BSN, 2012) digunakan koefesien situs dalam menentukan percepatan respon spektra seperti pada Tabel 2.6 dan Tabel 2.7.

Tabel 2.6 Koefesien situs, F_a (BSN, 2012)

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa (MCE _R) terpetakan pada perioda pendek, T = 0,2 detik, S _s				
	S _s ≤ 0,25	S _s = 0,5	S _s = 0,75	S _s = 1,0	S _s ≥ 1,25
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF			SS ^b		

Keterangan

- Untuk nilai- nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
- SS= situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik

Tabel 2.7 Koefesien situs, F_v (BSN, 2012)

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa (MCE _R) terpetakan pada perioda pendek, T = 1 detik, S ₁				
	S ₁ ≤ 0,1	S ₁ = 0,2	S ₁ = 0,3	S ₁ = 0,4	S ₁ ≥ 0,5
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	2,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF			SS ^b		

4. Parameter percepatan respon spektra

Koefesien situs (F_a dan F_v) dapat dilihat berdasarkan Tabel 2.6 dan 2.7 sesuai dengan SNI 1726:2012 (BSN, 2012), selain itu respon spektra desain diperoleh dengan menghitung nilai dari parameternya (S_a , S_{SDS} , S_{D1} , T_0 , T_s).

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.5)$$

Dimana T_a = Parameter percepatan respon spektra
 h_n = Ketinggian struktur (m), dari dasar sampai tingkat yang paling tinggi.

C_t dan x = parameter yang ditentukan sesuai Tabel 2.9 yang mengacu dari SNI 1726:2012 berdasarkan dari tipe struktur banguannya.

Tabel 2.8 Koefesien batas atas pada perioda yang dihitung (BSN, 2012)

Parameter percepatan respons spektra desain pada 1 detik, S_{DI}	Koefesien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Tabel 2.9 Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x (BSN, 2012)

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

2.2.4. Simpangan Antar Lantai (*Displacement*)

Simpangan pada lantai ditentukan berdasarkan defleksi yang terjadi pada pusat massa di setiap tingkatnya, sedangkan nilai defleksi diperoleh dari sebuah persamaan, sebagaimana telah dijelaskan dalam peraturan SNI 1726:2012 (BSN, 2012).

1. Persamaan defleksi

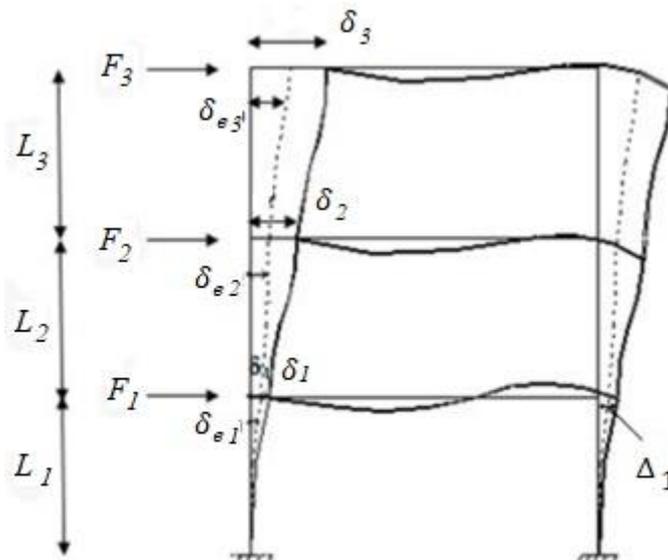
$$\delta_x = \frac{C_d \delta_e}{I_e} \quad (2.6)$$

Dimana

- δ_x = Defleksi yang terjadi
- δ_e = Perpindahan elastis
- C_d = Faktor amplifikasi defleksi
- I_e = Faktor keutamaan gempa

2. Penentuan simpangan

Berdasarkan SNI 1726:2012 simpangan yang terjadi ditentukan berdasarkan Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Penentuan simpangan antar lantai (BSN, 2012)

Dimana F = Gaya gempa desain tingkat kekuatan
 δ_e = Perpindahan elastis
 δ_x = Defleksi yang terjadi
 Δ_x = Simpangan antar lantai $\delta_x \leq \Delta_a$ (Tabel 2.8)

Tabel 2.10 Batas izin simpangan antar lantai (BSN, 2012)

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

Dengan h_{sx} adalah tinggi tingkatan lantai dari bawah.

2.2.5. Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Berdasarkan peraturan SNI 1726:2012 (BSN, 2012) gaya geser dasar dihitung dengan metode statik dan dinamik pada dua arah, horizontal dan vertikal. Nilai gaya geser dasar yang diperoleh dengan metode dinamik respons spektrum harus lebih besar 85% dari gaya geser berdasarkan perhitungan dengan metode statik ekuivalen (Purnomo, 2014), maka jika nilai gaya geser yang diperoleh kurang dari 85%, harus dikalikan dengan $0.85 \frac{V}{V_t}$, dimana V adalah nilai gaya geser dasar dengan metode statik, dan V_t adalah gaya geser dasar dengan metode dinamik respons spektrum.

2.2.6. Perhitungan Kebutuhan Tulangan

1. Kebutuhan tulangan pada kolom

Kolom merupakan struktur utama pada bangunan yang fungsinya adalah menyalurkan beban sampai pada fondasi, sehingga dalam perencanaannya harus direncanakan dengan baik, dalam perencanaannya kolom didesain dengan diagram interaksi terhadap beberapa kondisi, diantaranya pada kondisi beban eksentrik, kondisi pata tarik, kondisi seimbang dan kondisi momen murni. Dengan memasukan beban aksial dan momen lentur, yang mana beban tersebut harus berada didalam diagram interaksi agar tulangan dapat dinyatakan mampu menerima beban yang ada. Tahapan perhitungan kebutuhan tulangan dilakukan sebagai berikut.

1) Menghitung pada kondisi sentris

$$\phi P_{nmax} = \theta(0,85 x F_c' x (A_g - A_{st}) + F_y x A_{st}) \quad (2.7)$$

Dimana ϕP_{nmax} = Kekuatan beban aksial maksimal

F_c' = Kuat tekan beton

A_g = Luas penampang beton

A_{st} = Luas tulangan utama

F_y = Kuat leleh tulangan

2) Menghitung pada kondisi eksentris kecil

$$\phi P_n = \phi x \phi P_{nmax} \quad (2.8)$$

Dimana ϕP_n = Kuat beban aksial nominal
 ϕ = Faktor reduksi

3) Menghitung pada kondisi seimbang

$$C_b = \frac{0,003}{0,003 + f_y/E_s} d \quad (2.9)$$

$$\varepsilon_s' = \frac{C_b - d'}{C_b} \quad (2.10)$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \quad (2.11)$$

Dimana C_b = Kondisi pada Gambar 2.2
 E_s = Modulus elastisitas
 d = Kondisi pada Gambar 2.2
 ε_y = Tulangan mengalami keluluhan
 E_s = Modulus elastisitas
 f_y = Kuat leleh tulangan
 C_b = Kondisi pada Gambar 2.2
 ε_s' = Regangan pada tulangan tekan
 d' = Kondisi pada Gambar 2.2

$$a_b = \beta_1 C_b \quad (2.12)$$

$$C_c = 0,85 f_c' a_b b \quad (2.13)$$

$$T = A_s f_y \quad (2.14)$$

Dimana a_b = Kondisi pada Gambar 2.2
 β_1 = Faktor pengali
 C_c = Kondisi pada Gambar 2.2
 b = Lebar kolom
 T = Kondisi pada Gambar 2.2
 A_s = Luas tulangan tarik longitudinal

$$C_s = A_s'(f_y - 0,85 f_c') \quad (2.15)$$

$$P_b = 0,85 f_c' a_b b + A_s'(f_s' - 0,85 f_c') - A_s f_y \quad (2.16)$$

$$M_b = C_c \left(d'' - \frac{a}{2} \right) + C_s(d'' - d') + T(d - d'') \quad (2.17)$$

Dimana C_s = Kondisi pada Gambar 2.2
 A_s' = Tulangan tekan
 P_b = Kekuatan aksial nominal
 a_b = Kondisi pada Gambar 2.2
 f_s' = Tegangan tarik tulangan tekan terfaktor
 M_b = Momen yang terjadi

4) Menghitung pada kondisi momen murni

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} \quad (2.18)$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.19)$$

nilai C pada persamaan (2.28) dan (2.29) merupakan nilai asumsi yang lebih besar dari nilai cb .

5) menghitung pada kondisi patah tarik

$$P_n = C_c + C_s + T \quad (2.20)$$

Dimana P_n = Kekuatan aksial nominal

Tetapi pada C_c ada nilai a yang harus di cari dari persamaan

$$Aa^2 + Ba + C = 0 \quad (2.21)$$

$$A = 0,425 f_c' b \quad (2.22)$$

$$B = 2A (e' - d) \quad (2.23)$$

$$C = A_s'(f_y - 0,85 f_c')(e' - d + d') - A_s' f_y e' \quad (2.24)$$

Dimana e = Eksentrisitas yang terjadi

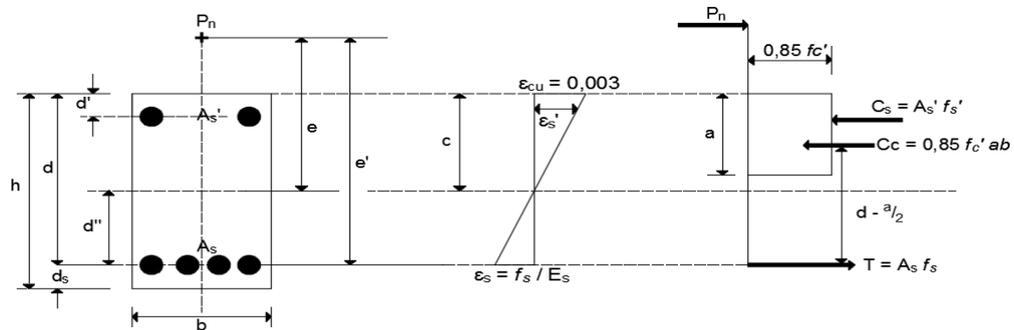
A_s' = Tulangan tekan

$$M_n = P_n e \quad (2.25)$$

6) Keadaan patah tekan

$$P_n = C_c + C_s - T \quad (2.26)$$

$$P_{n1} = \frac{1}{e'} \left[C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right] e' \quad (2.27)$$



Gambar 2.3 Gambaran keruntuhan yang terjadi pada kolom persegi

Ditentukan tulangan daerah ℓ_o sebelum melakukan perhitungan untuk kebutuhan tulangan.

- 1) dimensi terbesar pada kolom
- 2) 1/6 bentang kolom
- 3) 450 mm

Jarak ℓ_o pada kolom diambil dari spasi maksimum yang diambil dari perhitungan terkecil:

- 1) $\frac{1}{4}$ lebar kolom
- 2) 6 kalinya diameter longitudinal
- 3) Dihitung dari persamaan

$$100 + \frac{(350 - hx)}{3} \quad (2.28)$$

$$hx = \frac{2}{3} hc \quad (2.29)$$

$$hc = b - \left(\text{selimut beton} - \frac{D}{2} \right) \quad (2.30)$$

Dimana b = lebar dimensi kolom

D = diameter tulangan yang di gunakan

Untuk di luar daerah ℓ_o diambil dari yang terkecil di antara

- 1) 6 kali diameter longitudinal
- 2) 150 mm

Perhitungan tulangan geser harus lebih besar dari beberapa kondisi berikut

$$A_{sh1} = 0,3 \left(S \times hc \times \frac{f_c'}{f_y} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \quad (2.31)$$

$$A_{sh2} = 0,3 \left(S \times hc \times \frac{f_c'}{f_y} \right) \quad (2.32)$$

$$A_{ch} = (b-2\text{selimut beton}) (h-2\text{selimut beton}) \quad (2.33)$$

$$A_g = b \times h \quad (2.34)$$

$$n = \frac{A_{sh}}{\left(\frac{\pi}{4} D^2 \right)} \quad (2.35)$$

Dimana A_{sh} = luas tulangan minimum

D = diameter tulangan

Kemudian ditinjau kebutuhan tulangan gesernya dengan membandingkan nilai ϕV_c dengan V_u , kekuatan geser beton dapat menggunakan persamaan berikut

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right) \times e \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \quad (2.36)$$

Dimana N_u = gaya aksial

A_g = luasan penampang kolom

f_c' = kekuatan tekan beton

b = lebar dimensi kolom

d = tinggi efektif kolom

2. Kebutuhan tulangan pada balok

Balok merupakan bagian utama struktur yang berfungsi menyalurkan beban dari plat lantai ke kolom. Selain itu balok juga berfungsi mengikat antar kolom. Beban yang diterima balok merupakan gaya geser, momen lentur dan torsi yang mengakibatkan lendutan, sehingga dalam perencanaannya perlu dilakukan dengan baik. Perencanaan kebutuhan tulangan pada balok dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 (f_c' - 28)}{7} \quad (2.37)$$

$$\rho_{maks} = 0,75\rho_b \quad (2.38)$$

$$\rho_b = 0,85 \times \beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2.39)$$

Dimana f_c' = kekuatan tekan beton
 f_y = Kuat tulangan leleh
 E_s = Modulus elastisitas

Mencari faktor penahan momen (R_n maks)

$$R_{nmaks} = 0,75\rho_b f_y \left(1 - \frac{\frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b f_y}{0,85 f_c'} \right) \quad (2.40)$$

Mencari faktor penahan momen (R_n)

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} \quad (2.41)$$

Dimana M_n = Momen rencana
 b = Lebar balok
 d = Tinggi efektif balok

Mencari ratio tulangan yang dibutuhkan (ρ)

$$\rho = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(\sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 f_c'}} \right) \quad (2.42)$$

Dimana R_n = faktor ketahanan momen

Luas tulangan yang dibutuhkan

$$A_s = \rho \times b \times d \quad (2.43)$$

Dimana ρ = ratio tulangan yang diperlukan

Menghitung jumlah tulangan

$$n = \frac{A_s}{\left(\frac{\pi D^2}{4} \right)} \quad (2.44)$$

Dimana A_s = luas tulangan yang di butuhkan
 D = diameter tulangan

Menghitung momen minimal

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.45)$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 f_c' b} \quad (2.46)$$

Menghitung regangan netto dengan persamaan berikut

$$\epsilon_t = \frac{d-c}{c} \quad (2.47)$$

$$C = \frac{a}{2} \quad (2.48)$$

Momen nominal yang diperoleh harus lebih besar dari momen ultimit

$$\phi M_n \geq M_u \quad (2.49)$$

Dimana ϕM_n = momen nominal

M_u = momen ultimit

Menghitung kebutuhan tulangan geser pada balok

$$V_c = \frac{\sqrt{f_c'}}{6} b \times d \quad (2.50)$$

cek kebutuhan tulangan yang dibutuhkan

$\phi V_c \leq V_u$ maka gunakan

$$V_s = V_u - V_c \quad (2.51)$$

Dimana V_s = gaya geser dari tulangan

V_u = gaya geser ultimit

V_c = gaya geser dari beton

Jika $\phi V_c > V_u$ maka gunakan digunakan s maksimal

luas tulangan geser tulangan geser

$$A_v = n_s \frac{\pi}{4} P^2 \quad (2.52)$$

Dimana A_v = luas tulangan geser

n_s = jumlah tulangan yang dipakai

P = diameter tulangan tulangan geser