

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Penelitian Terdahulu tentang Likuifaksi pada Gedung

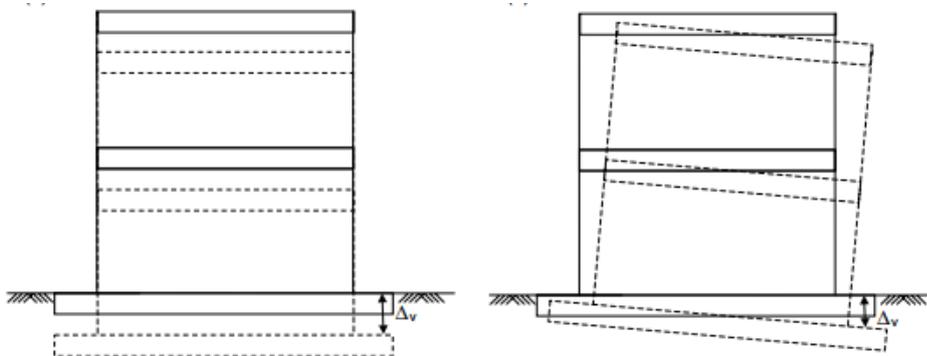
Likuifaksi atau penurunan dapat dipengaruhi oleh gempa bumi atau bahkan kedua faktor. Faktor tersebut merupakan penyebab terjadinya awal kerusakan dari sebuah bangunan. Selain itu kedua faktor tersebut adalah penyebab terjadinya keruntuhan dari bangunan. Perencanaan awal pada bangunan harus memperhatikan faktor diatas sehingga keruntuhan bangunan akibat dari likufasi dan penurunan tanah (Ishihara, 1993).

Gempa bumi dapat menyebabkan likuifaksi. Likuifaksi terjadi karena meningkatnya tekanan pori secara tiba-tiba pada lapisan longgar yang tidak mengalami kompresi sehingga menyebabkan hilangnya dukungan atau bantalan kapistas, peristiwa ini dapat menyebabkan kerusakan bangunan serta infrastruktur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak terjadinya likuifaksi yang diakibatkan oleh gempa dengan melakukan beberapa tes seperti CPT (Sarah dan Soebowo, 2013). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Idris dan Boulanger (2004) data SPT dan CPT dan dijadikan sebagai metode dalam mengevaluasi likuifaksi yang terjadi. Faktor gempa bumi ikut seta dalam percobaan ini dengan mengatur besarnya skala yang digunakan sehingga akan terjadi siklik yang dapat juga menyebabkan likuifaksi.

Muntohar (2014) menyebutkan bahwa likufaksi yang terjadi di Indonesia terutama pada wilayah yang mengalami gempa besar seperti Yogyakarta mendapatkan hasil bahwa percepatan yang diakibatkan oleh gempa dapat mengakibatkan penurunan tanah sebesar 1 %. Penelitian lain yang dilakukan oleh Muntohar (2010) gedung UMY (Univesitas Muhammadiyah Yogyakarta) hampir keseluruhan berada di atas tanah berpasir. Pada tahun 2006 gempa melanda daerah Yogyakarta dan terjadi kerusakan yang salah satunya terjadi di UMY (Univesitas Muhammadiyah Yogyakarta). Kerusakan terjadi dikarenakan terjadinya likuifaksi yang menyebabkan penurunan tanah berkisar antara 2,5 cm sampai 13,5 cm pada zona bahaya.

Setiawan dkk. (2017) melakukan survei pada rumah dan bangunan yang berada daerah di sekitar Kota Kumamoto dengan jumlah total 64 dengan memperhatikan peta geografi dan faktor geologis. Hasil menunjukkan bahwa sudut kemiringan bangunan dan arah kemiringan bangunan dipengaruhi oleh fungsi bangunan serta fondasi yang digunakan. Berat struktur serta kondisi tanah pada bangunan tersebut, sehingga tingkat kerusakan yang terjadi pada bangunan yang ada berbeda-beda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh likuifaksi akibat gempa bumi Kumamoto pada 2016 terhadap bangunan di sekitar kota Kumamoto. Penelitian yang dilakukan oleh Koseki dkk. (2015) meneliti bahwa likuifaksi terjadi pada tempat reklamasi di daerah tersebut. Penelitian ini dilaksanakan dengan melakukan 14 survei *borehole* dan juga melakukan 43 titik sondir pada daerah yang terkena dampak gempa. Mengurangi tingkat air tanah dan ketebalan bagian jenuh tanah yang berpasir, dapat menurunkan kerusakan yang diakibatkan oleh likuifaksi.

Bird dkk. (2006) menyatakan bahwa keruntuhan bangunan dapat terjadi jika guncangan pada bangunan diikuti dengan likuifaksi tetapi besarnya likuifaksi yang terjadi tidak dapat ditentukan besaran luasannya. Beberapa penyebab terjadinya likuifaksi antara lain ketidak pastian gerakan tanah dan sifat tanah yang ada, pada dasarnya potensi yang terjadi adalah deterministik. Salah satunya adalah dengan metode hubungan antara kepadatan tanah dengan tegangan geser siklik yang terjadi. Penurunan dapat terjadi pada salah satu sisi bangunan saja serta pada sisi liannya tetap sehingga dapat membentuk sudut besarnya penurunan ataupun besarnya penurunan sebesar Δ_v .



Gambar 2.1 Penurunan gedung (Bird dkk., 2016)

2.2. Penelitian Terdahulu Tentang Kolom

Krisnamurti dkk. (2013) meneliti tentang perilaku elemen struktur dengan cara melakukan variasi bentuk penampang kolom akibat pengaruh dari gempa. Penelitian ini menganalisis 3 penampang kolom yang berbeda yaitu persegi panjang, persegi dan lingkaran dengan sengkang yang berbentuk sesuai dengan bentuk kolomnya yang kemudian dilakukan analisis. Gedung yang digunakan pada analisis ini adalah Rusunawa Pondok Pesantren Al-Ghozali. Hasil penelitian yang dilakukan didapat beberapa poin penting yaitu kapasitas aksial kolom lingkaran lebih besar 11% dibandingkan dengan bentuk kolom lainnya yaitu persegi dan persegi panjang, kolom persegi panjang yang menerima momen arah X memiliki kapasitas lentur lebih besar dari kolom persegi dan lingkaran dan kolom berbentuk persegi dan lingkaran yang menerima momen arah Y mempunyai kapasitas lentur maksimal lebih besar dari pada kolom berpenampang persegi panjang.

Menurut Asroni dan Muntafi (2013) desain kolom menggunakan diagram interaksi pada beberapa variasi nilai beban aksial dan momen pada bentuk penampang kolom yang sama. Didapatkan hasil bahwa penggunaan diagram interaksi dapat dijadikan sebagai salah satu cara dalam mendesain tulangan kolom. Diagram interaksi dapat digunakan juga dalam mendesain penampang kolom supaya lebih efektif dan efisien.

Arfiadi (2016) menyatakan bahwa desain penampang kolom dengan tulangan 4 sisi dapat menggunakan metode diagram interaksi. Analisis yang dilakukan dengan melakukan variasi kondisi atau kasus pada penampang kolom sehingga hasil analisis merupakan pendekatan kondisi penampang kolom yang terjadi. Hasil dari penelitian ini didapat bahwa hasil dan grafik yang diperoleh merupakan pendekatan dari keadaan yang sesungguhnya.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Guspari (2011) melakukan analisis variasi posisi tulangan menggunakan diagram interaksi yang dilakukan dengan cara merubah posisi tulangan dan merubah bentuk dari penampang menyatakan bahwa posisi atau penempatan tulangan dengan 2 sisi menjadi 4 sisi dapat mengurangi aksial dan momen pada penampang kolom tersebut. Selain itu merubah bentuk

penampang kolom yang pada awalnya berbentuk persegi panjang menjadi persegi dan tidak merubah posisi dari tulangan akan lebih mengurangi kapasitas momen dari penampang tersebut namun pada tekan aksial, tidak mengalami perubahan yang signifikan.

2.1. Dasar Teori

2.2.1. Pembebanan Struktur

Beban adalah tekanan atau aksi yang didapat dari keseluruhan penghuni, bahan bangunan, barang yang ada dalam gedung tersebut, pengaruh dari lingkungan selisih perpindahan, tekanan akibat dari perbedaan dari dimensi (BSN, 2013). Terdapat beberapa jenis beban seperti yang disebutkan dalam Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (SKBI, 1987) yaitu.

- a) Beban mati adalah massa atau berat dari keseluruhan gedung yang sifatnya tidak berpindah atau tetap, termasuk semua barang tambahan penyelesaian – penyelesaian, mesin dan beserta peralatan yang bersifat tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung.
- b) Beban hidup adalah seluruh beban yang disebabkan oleh pengguna gedung dan beban terhadap lantai yang sifatnya dapat berpindah sehingga mengakibatkan perubahan pada lantai dan atap. Pada atap beban air hujan dan disebut sebagai beban hidup baik akibat dari genangan maupun energi kinetik atau tekanan jatuh dari air.
- c) Beban angin adalah seluruh beban yang bekerja pada bagian gedung yang diakibatkan tekanan udara.
- d) Beban gempa adalah seluruh beban *static ekuivalen* yang bekerja pada gedung dan menirukan pergerakan tanah akibat terjadinya gempa.

2.2.2. Analisis Respon Spektrum

- a) Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutaamaan gempa dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan kategori resiko pada Tabel 2.2 berdasarkan kategori resiko dari bangunan, resiko bangunan tergantung dari fungsi bangunan tersebut memiliki fungsi yang fatal atau menampung banyak penghuni atau orang.

Tabel 2.1 Faktor keutaman gempa menurut SNI 1726:2012 (BSN, 2012)

Kategori risiko	Faktor keutaman gempa, I_e
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

Tabel 2.2 Kategori Risiko menurut SNI 1726:2012 (BSN, 2012)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan, Rumah toko dan rumah kantor - Pasar Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industry, Fasilitas Manufaktur, Pabrik 	II

Tabel 2.3 Kategori Risiko menurut SNI 2847:2012 (BSN, 2012) (Lanjutan)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop, - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak, - Penjara - Bangunan untuk orang jompo 	
<p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 	III
<p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan III atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran</p>	

Tabel 2.4 Kategori Risiko menurut SNI 1726:2012 (BSN, 2012) (Lanjutan)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:	IV
- Bangunan-bangunan monumental	
- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan	
- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat	
- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat	
- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya	
- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat	
- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat	
- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat	
Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	

b) Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs didefinisikan menjadi 4 jenis tanah yaitu SA (Batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak), SD (tanah sedang). Kelas situs berdasarkan dari hasil N_{SPT} yang disebutkan dalam Tabel 2.3 Klasifikasi situs .

Tabel 2.3 Klasifikasi situs menurut SNI 1726:2012 (BSN, 2012)

Kelas situs	\bar{N}
SA (batuan keras)	N/A
SB (batuan)	N/A
SC (Tanah keras)	>50
SD (tanah sedang)	15 sampai 50
SE (tanah lunak)	<15

c) Koefisien Modifikasi Respon

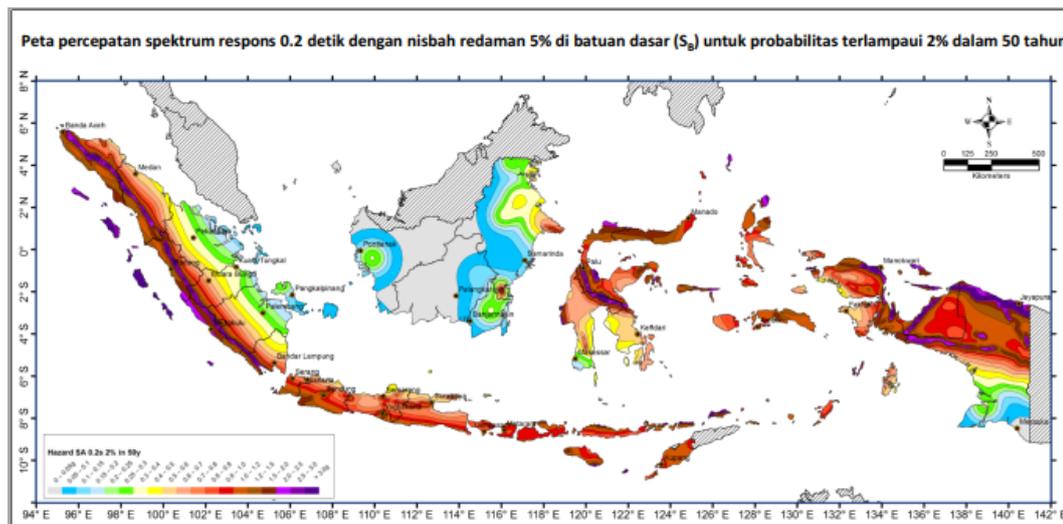
Nilai koefisien modifikasi respon (R) dan koefisien kuat-lebih sistem (C_d) lihat dari sistem penahan-gaya gempa yang berbeda diperbolehkan jika digunakan, untuk menahan gaya gempa pada masing – masing arah ke dua sumbu orthogonal. Niali (R) dan (C_d) diperoleh dari Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Koefisien Modifikasi Respon menurut SNI 1726:2012 (BSN, 2012)

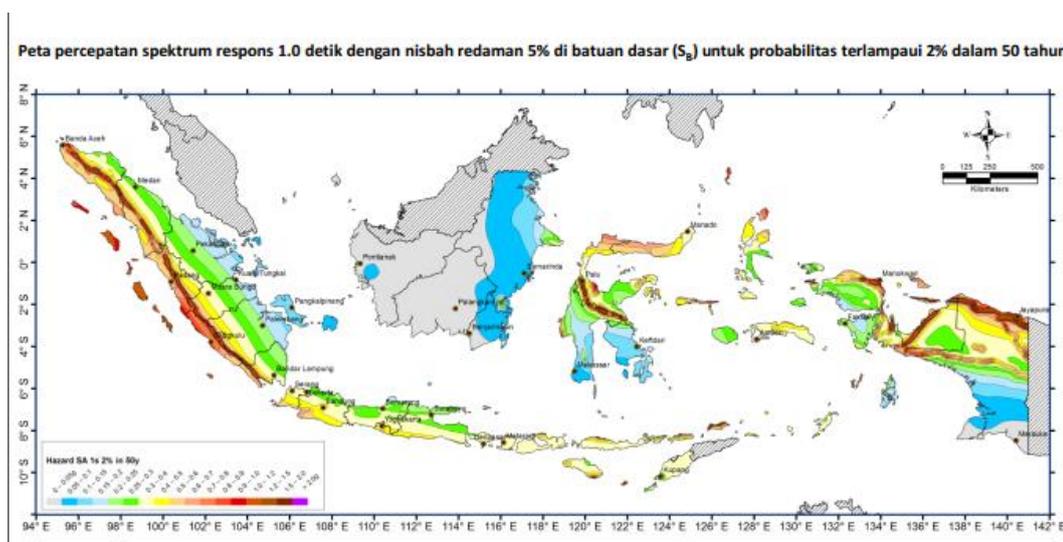
Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien Modifikasi respons, R^a	Faktor Kuat Lebih Sistem, Ω_0^g	Faktor Pembesaran defleksi, C_d^b
Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan			
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½
3. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2½	5
4. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4

d) Parameter Percepatan Wilyah Gempa

Parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s) dan percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik (S_1) di tentukan pada masing dari respons spectral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun menurut SNI 1726:2012 (BSN, 2012). Peta percepatan respon spektrum ditunjukkan pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3.



Gambar 2.2 Peta percepatan respon spektrum 0,2 detik (S_s)
(Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)



Gambar 2.3 Peta Peta percepatan respon spektrum 1 detik (S_1)
(Pusat studi gempa nasional, 2017)

e) Koefisien Situs

Menentukan faktor koefisien situs (F_a) dan (F_v) berdasarkan kondisi tanah atau jenis tanah yang berada pada lokasi bangunan atau gedung sehingga diperlukan pengujian tanah terlebih dahulu guna mengetahui jenis tanah. Nilai (F_a) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.5 dan (F_v) pada Tabel 2.6 kemudian digunakan sebagai parameter menghitung spektrum respons percepatan yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs (S_{MS} , S_{M1}).

Tabel 2.5 Koefisien Situs F_a SNI 1726:2012 (BSN, 2012)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCEr) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF			SS ^b		

Tabel 2.6 Koefisien Situs F_v SNI 1726:2012 (BSN, 2012)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCEr) terpetakan pada perioda pendek, $T = 1$ detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	2,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF			SS ^b		

f) Parameter Respons Spectral Percepatan Gempa Maksimum

$$S_{MS} = F_a S_s \dots\dots\dots (2.1)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

S_s = parameter respon spektral percepatan gempa yang terpetakan untuk periode pendek

S_1 = parameter respon spektral percepatan gempa yang terpetakan untuk periode 1,0 detik

Nilai F_a dan F_v didapat dari tabel koefisien situs

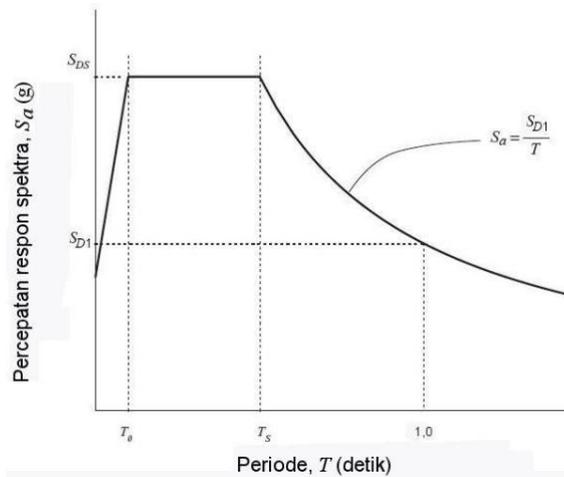
g) Parameter Percepatan Spektral Desain

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots (2.4)$$

h) Desain Respon Spektrum

Kurva respon spektrum dapat diperhitungkan dengan mengikuti Gambar 2.4 Spektrum Respons Desain dan persyaratan di bawah ini:



Gambar 2.4 Spektrum Respons Desain menurut SNI 2847:2012 (BSN, 2012)

➤ Periode kurang dari T_0 , spectrum respons percepatan desain, S_a , dapat disimpulkan persamaan;

$$S_a = S_a \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

- Periode lebih besar atau sama dengan T_0 dan kurang dari atau sama dengan T_s , nilai S_a sama dengan nilai S_{DS} ;
- Periode lebih besar dari pada T_s , nilai S_a dapat diambil persamaan sebagai berikut:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan;

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = periode getar fundamental struktur.

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

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

2.2.3. Analisis Penampang Kolom pada SPRMK

Terdapat beberapa cara dalam menganalisis sebuah penampang kolom, salah satunya dengan menggunakan diagram interkasi sebagai batasan atau kapasitas dari sebuah penampang kolom. Analisis ini merujuk pada peraturan yang ada dan masih berlaku saat ini yaitu SNI 2847:2013 (BSN, 2013).

A. Menurut Asroni dan Muntafi (2013) perhitungan kekuatan kolom dibagi menjadi 5 bagian, yaitu :

1. Kondisi beban tekan murni / dengan eksentrisitas kecil

a. Kolom dengan lilitan spiral dan komposit memiliki faktor reduksi 0,85

$$\phi P_n \text{ max} = 0,85 (\phi (0,85 \times f_c' \times (A_g - A_{st}) + A_{st})) \dots\dots\dots (2.7)$$

b. Kolom dengan lilitan spiral dan komposit memiliki faktor reduksi 0,80

$$\phi P_n \text{ max} = 0,80 (\phi (0,85 \times f_c' \times (A_g - A_{st}) + A_{st})) \dots\dots\dots (2.8)$$

keterangan ;

lilitan spiral merupakan sengkang yang tidak terputus, sedangkan sengkang ikat adalah sengkang yang terputus setiap jarak tertentu.

2. Kondisi keadaan seimbang (e_b)/*balanced*

Keadaan ketika tulangan tarik sudah mencapai leleh (untuk $f_y = 400$ MPa, maka $\epsilon_t = 0,002$) dan ketika regangan serat tekan beton telah mencapai batas yang diizinkan (yaitu $\epsilon_t = 0,003$)

3. Kondisi beban momen murni ($P_n = 0$)

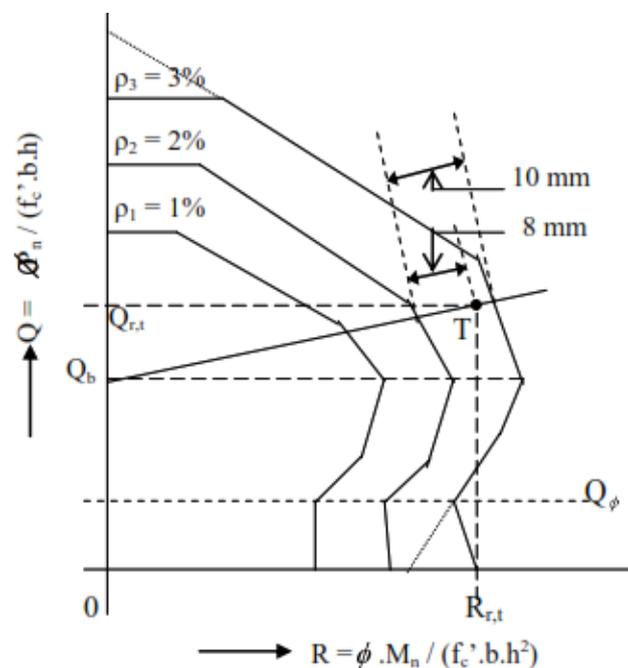
yaitu kondisi ketika tegangan baja tekan A_s' belum mencapai leleh dan baja tarik sudah. Menggunakan persamaan matematika dan iterasi untuk menyelesaikan persamaan pencarian nilai c (kuat tekan beton)

4. Kondisi saat eksentrisitas melebihi eksentrisitas seimbang, gagal tarik
 $e > e_b$

5. Kondisi saat eksentrisitas kurang dari eksentrisitas seimbang, gagal tekan
 $e < e_b$

Pada kondisi 3, 4 dan 5 perlu dilakukan pengecekan regangan tulangan tekan, apakah sudah leleh atau belum. Hal ini dilakukan untuk keperluan penentuan nilai C_s apakah menggunakan ϵ_y atau ϵ_s .

Dari perhitungan 5 kondisi di atas kemudian dibuat diagram interaksi kolom yaitu hubungan antara nilai tekan aksial dengan momen.



Gambar 2.5 Contoh diagram interaksi (Asroni dan Muntafi, 2013)

B. Prinsip perancangan :

- Kuat rencana \geq kuat perlu

$$\phi P_n \geq P_u \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\phi M_n \geq M_u \dots\dots\dots (2.10)$$

- Keseimbangan gaya

$$P_n = C_c + C_s - T_s \dots\dots\dots (2.11)$$

- Keseimbangan momen

$$M_n = \phi P_n \cdot e \dots\dots\dots (2.12)$$

$$P_n \cdot e (2) = C_c \times (y - \frac{a}{2}) + C_s (y - d') + T_s (d - y) \dots\dots\dots (2.13)$$

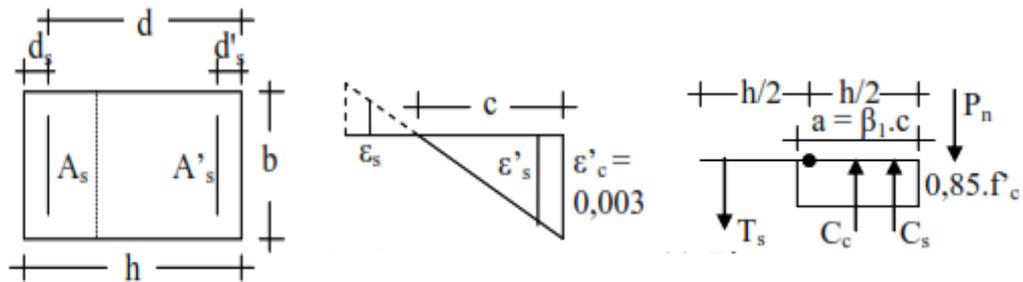
Dimana :

$$C_c = 0,85 \times F_c' \times a \times b \dots\dots\dots (2.14)$$

$$C_s = A_s' \times (f_s' - 0,85 \times F_c') \dots\dots\dots (2.15)$$

$$T_s = F_y \times A_s' \dots\dots\dots (2.16)$$

$$a = \beta_1 \times c \dots\dots\dots (2.17)$$



Gambar 2.6 Kesetimbangan gaya dan momen pada kolom
(Asroni dan Muntafi, 2013)

Guspari (2011) menyebutkan bahwa terdapat 3 kondisi keruntuhan pada kolom yaitu:

1. Keruntuhan tekan

Keruntuhan ini terjadi jika beban aksial bergerak sedikit dari sumbu kolom, maka pada sebagian kecil kolom akan terjadi tarik tetap sebagian besar kolom akan mengalami tekan.

2. Keruntuhan setimbang

Terjadi apabila nilai beban aksial bergerak menjauh lebih besar daripada keruntuhan tekan maka tulangan akan mengalami tegangan tarik yaitu mencapai leleh ($f_s = f_y$) selain itu juga regangan pada beton akan mencapai pada level maksimal.

3. Keruntuhan tarik

Keruntuhan tarik terjadi apabila nilai beban aksial sedikit dari kondisi setimbang maka akan terjadi keruntuhan tarik karena luas pada penampang kolom yang mengalami tarik semakin besar dan sebaliknya luas kolom yang mengalami tekan akan semakin kecil.