

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Gempa bumi adalah sebuah pergerakan yang terjadi secara tiba-tiba. Pelepasan energi yang secara tiba-tiba mengakibatkan gelombang seismik, yang bersifat destruktif atau merusak pada berbagai hal yang terdiri di atas permukaan bumi, termasuk bangunan.

Mengikuti peraturan yang telah berlaku menurut SNI 1726:2012 terdapat sistem struktur yang dapat digunakan yaitu dengan sistem dinding geser. Dengan adanya dinding struktural ini, kekakuan gedung semakin meningkat dan sebagian beban geser atau gaya lateral akibat gempa bumi akan terserap oleh dinding geser tersebut. Dalam perencanaan dinding geser ini akan lebih baik bila biaya pembangunannya lebih murah dengan tidak mengurangi kualitas mutu dinding geser tersebut.

2.2 Dinding Geser

Dinding geser adalah suatu elemen struktur vertikal berbentuk dinding beton bertulang yang berfungsi untuk menahan gaya lateral yang diakibatkan oleh beban gempa. Dinding geser adalah jenis struktur yang digunakan pada bangunan tinggi yang memerlukan ketahanan khusus. Menurut SNI 1726:2012 Dinding geser beton bertulang khusus dapat menahan paling sedikit 25% gaya gempa.

Dinding geser diklasifikasikan dalam 3 jenis berdasarkan letak serta fungsinya (Fajar Nugroho, 2017), yaitu:

1. *Bearing Wall*

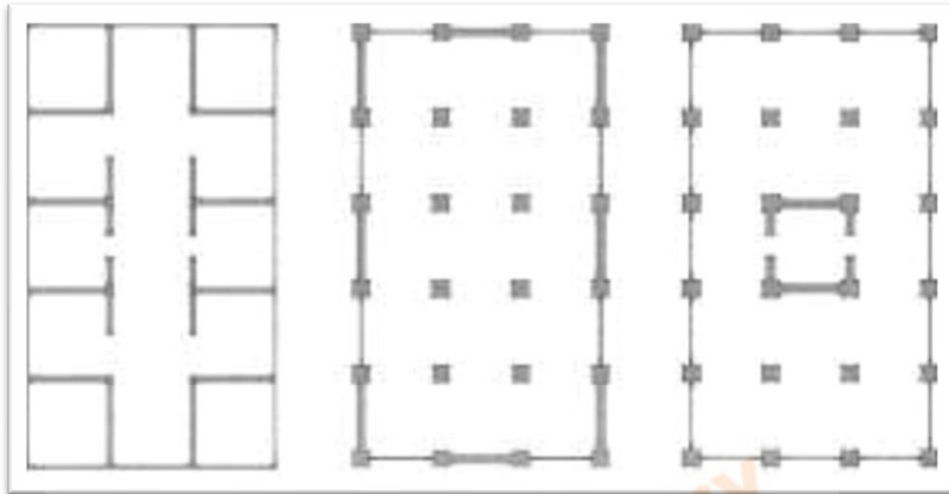
Bearing wall adalah dinding geser yang mendukung sebagian besar beban gravitasi. Tembok-tembok ini juga menggunakan dinding partisi antar apartemen yang berdekatan.

2. *Frame Wall*

Frame wall adalah dinding geser yang diletakan di antara baris kolom yang berfungsi sebagai penahan beban lateral.

3. Core Wall

Core walls adalah dinding geser yang diletakan didalam wilayah inti pusat dalam gedung yang biasanya digunakan sebagai dinding lift sekaligus.



Gambar 2.1 *Bearing Wall, Frame Wall, Core Wall*

(Sumber: Fajar Nugroho, 2017)

Pada umumnya dinding geser dikategorikan berdasarkan geometrinya (Fajar Nugroho, 2017), yaitu:

- Flexural wall* (dinding langsing) yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \geq 2$, dimana desain dikontrol terhadap perilaku lentur.
- Squat wall* (dinding pendek), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \leq 2$, dimana desain dikontrol terhadap perilaku geser.
- Coupled shear wall* (dinding berangkai), dimana momen guling yang terjadi akibat beban gempa ditahan oleh sepasang dinding geser yang dihubungkan dengan balok-balok penghubung sebagai gaya tarik dan tekan yang bekerja pada masing-masing dasar dinding tersebut.

Dalam merencanakan dinding geser yang berfungsi untuk menahan gaya lateral yang besar akibat beban gempa tidak boleh runtuh akibat gaya lateral karena apabila dinding geser runtuh karena gaya lateral maka keseluruhan struktur bangunan akan runtuh karena tidak ada elemen struktur yang mampu menahan gaya lateral.

2.2.1 Penentuan Ketebalan Dinding Geser

Pada perancangan ketebalan dinding geser minimum dilakukan dengan metode empiris (Budiono, B, et al, 2017), yang dimana sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 14.5.3.1 tebal dinding penumpu tidak boleh kurang dari **Persamaan 2.1** dan **Persamaan 2.2** atau kurang dari 100 mm.

$$\text{Tebal dinding geser} = \frac{h_w}{25} \quad (2.1)$$

$$\text{Tebal dinding geser} = \frac{l_w}{25} \quad (2.2)$$

Keterangan:

h_w = tinggi dinding geser,

l_w = panjang dinding geser.

Syarat kedua untuk menentukan tebal minimum dinding geser berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.7.5.1 Dimana untuk batang tulangan \emptyset -10 sampai dengan D-36 panjang penyaluran untuk batang tulangan dengan kait 90 derajat standar pada beton normal tidak boleh kurang dari sebesar $8d_b$, 150 mm dan panjang yang disyaratkan oleh persamaan berikut:

$$l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4 \sqrt{f'_c}} \quad (2.3)$$

Keterangan:

f_y = kekuatan leleh tulangan,

d_b = diameter tulangan,

f'_c = mutu beton.

2.2.2 Perencanaan Penulangan Dinding Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung yaitu:

1. Pengecekan kebutuhan lapis tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.9.2.2, baja tulangan vertikal dan horizontal pada dinding geser masing-masing dipasang dua lapis apabila gaya geser bidang terfaktor yang bekerja pada dinding geser lebih besar dari persamaan berikut:

$$V_u > 0,17 * A_{cv} * \lambda * \sqrt{f'_c} \quad (2.4)$$

Keterangan:

- V_u = gaya geser bidang terfaktor,
 A_{cv} = luas penampang melintang badan dinding geser,
 λ = faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi dari beton ringan terhadap beton normal ($\lambda = 1$, untuk beton normal).

2. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Transversal

Berdasarkan SNI Beton 2847:2013 Pasal 21.9.2.1, rasio tulangan longitudinal (ρ_l) dan rasio tulangan transversal (ρ_t) adalah tidak boleh kurang dari 0,0025 dengan spasi antar tulangan, baik longitudinal maupun transversal tidak melebihi 450 mm.

3. Cek Syarat Kekuatan Geser Nominal Penampang

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.9.4.1, kuat geser nominal (V_n) yang digunakan tidak boleh melebihi persamaan berikut:

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) \quad (2.5)$$

Keterangan:

- α_c = 0,25 jika $h_w/l_w \leq 1,5$,
 α_c = 0,17 jika $h_w/l_w \geq 2,0$,
 h_w = tinggi total dinding geser,
 l_w = panjang dinding geser.

4. Cek Syarat Kekuatan Geser Nominal Maksimum

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.9.4.4, Untuk semua segmen dinding vertikal yang menahan gaya lateral, kuat geser nominal (V_n) tidak boleh lebih besar dari persamaan berikut:

$$V_{n-maks} = 0,83 * A_{cv} * \sqrt{f'_c} \quad (2.6)$$

Keterangan:

- A_{cv} = luas bruto penampang beton,
 f'_c = mutu beton.

5. Perencanaan Dinding terhadap Kombinasi Gaya Aksial dan Lentur

Bila penulangan vertikal pada dinding geser tidak mencukupi untuk menahan momen akibat gaya lateral yang terjadi. Maka perlu diberikannya penambahan tulangan yang terkonsentrasi pada komponen batas (*Boundary Element*) pada ujung-ujung dinding. Berdasarkan ketentuan SNI 2847:2013

pasal 10.9.1 luas tulangan longitudinal untuk komponen struktur tekan non-komposit tidak boleh kurang dari $0,01 A_g$ atau lebih luas dari $0,08 A_g$. A_g diambil dari luas komponen batas khusus.

2.3 Baja Tulangan

Baja tulangan merupakan material yang digunakan untuk melengkapi balok, kolom, plat lantai dan juga dinding geser. Baja tulangan berbentuk batang berpenampang bundar dengan permukaan polos dan sirip/ulir dan digunakan untuk penulangan beton. Baja tulangan berfungsi untuk menahan gaya tarik yang disebabkan oleh beban yang menumpu pada penampang, yang dimana beton kurang kuat dalam kekuatannya.

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 3.5.1, Tulangan yang digunakan harus tulangan ulir, kecuali untuk tulangan spiral atau baja prategang diperkenankan tulangan polos. Baja tulangan ulir adalah baja tulangan yang memiliki ulir yang dimaksudkan untuk meningkatkan daya lekat dari batang terhadap beton. Berikut ukuran baja tulangan beton sirip/ulir menurut SNI 2052:2017 yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Ukuran Baja Tulangan Sirip/Ulir

No	Penamaan	Diameter	Luas Penampang Nominal	Berat Nominal Per meter
		mm	mm ²	kg/m
1	D6	6	28	0,222
2	D8	8	50	0,395
3	D10	10	79	0,617
4	D12	12	113	0,888
5	D13	13	133	1,042
6	D14	14	154	1,208
7	D16	16	201	1,578
8	D19	19	284	2,226
9	D22	22	380	2,984
10	D25	25	491	3,853
11	D29	29	661	5,185
12	D32	32	804	6,313
13	D36	36	1018	7,990
14	D40	40	1257	9,865
15	D50	50	1964	15,413
16	D54	54	2290	17,978
17	D57	57	2552	20,031

(Sumber: SNI 2052:2017 Pasal 6.3.1, Tabel 3)

2.4 Beton

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang terdiri dari campuran agregat dan semen sebagai material pengikatnya. Beton curah adalah jenis beton olahan yang diproduksi di tempat pencampuran beton yang disebut *Batching Plant*, sebuah tempat khusus untuk mencampur material beton, yang selanjutnya didistribusikan ke lokasi proyek menggunakan truk *mixer*.

2.5 Pembebanan

Pembebanan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan pembebanan berdasarkan SNI 1727:2013 tentang Beban minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Beban yang digunakan antara lain:

2.5.1 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Pemilihan beban hidup pada perencanaan struktur adalah berdasarkan dari fungsi bangunannya. Beban hidup yang digunakan dalam penelitian ini adalah beban hidup yang digunakan untuk bangunan apartemen yang terdiri dari:

- a. Beban Ruang Pribadi = 1,92 kN/m²
- b. Beban Koridor = 4,79 kN/m²
- c. Beban Lantai Atap = 0,96 kN/m²

2.5.2 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah semua beban yang berasal dari berat bangunan, termasuk segala unsur tambahan tetap yang merupakan satu kesatuan dengannya. Beban mati yang diperhitungkan terdiri dari:

- a. Berat kolom sendiri.
- b. Berat sendiri balok induk.
- c. Berat pelat lantai.

2.5.3 Beban Mati Tambahan (SiDL)

Beban mati tambahan adalah beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan, seperti misalnya penutup lantai, alat mekanis, dan partisi. Berat dari elemen-elemen ini pada umumnya dapat ditentukan dengan mudah dengan derajat ketelitian cukup tinggi. Perhitungan besaran beban mati suatu elemen dilakukan dengan meninjau berat satuan material tersebut berdasarkan volume elemen. Berdasarkan PPUIG 1983 didapat beban mati tambahan sebagai berikut:

- a. Plafond + Penggantung = 18 kg/m^2
- b. Instalasi M&E = 25 kg/m^2
- c. Adukan = 21 kg/m^2
- d. Penutup Lantai = 24 kg/m^2

untuk beban mati tambahan yang bekerja pada balok sebesar 250 kg/m^2 karena dinding pasangan bata merah.

2.5.4 Beban Gempa (*Earthquake*)

Beban gempa adalah semua beban *static equivalent* yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa di sini adalah gaya – gaya dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

2.6 Kombinasi Pembebanan

Dalam penelitian ini, acuan yang digunakan dalam pembebanan berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 9.2.1 yang harus dirancang hingga kuat rencananya melebihi pengaruh beban terfaktor. Berikut kombinasi pembebanan terfaktor, yaitu:

1. $1,4DL$
2. $1,2DL + 1,6LL + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2DL + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2DL + 1,0W + 1,0L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$

$$5. 1,2DL + 1,0E + 1,0LL$$

$$6. 0,9DL + 1,0W$$

$$7. 0,9DL + 1,0E$$

Untuk nomor 5 dan 7 beban gempa (E) diatur berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.4, faktor dan kombinasi beban untuk beban mati nominal, beban hidup nominal, dan beban gempa nominal yaitu sebagai berikut:

1. $(1,2 + 0,2S_{DS}) DL + 1 LL \pm 0,3\rho EX \pm 1\rho EY$
2. $(1,2 + 0,2S_{DS}) DL + 1 LL \pm 1\rho EX \pm 0,3\rho EY$
3. $(0,9 - 0,2S_{DS}) DL \pm 0,3\rho EX \pm 1\rho EY$
4. $(0,9 - 0,2S_{DS}) DL \pm 1\rho EX \pm 0,3\rho EY$

Dimana :

DL = Beban mati, termasuk SiDL,

LL = Beban Hidup,

Lr = Beban Hidup Atap,

R = Beban Hujan,

W = Beban Angin,

Ex = Beban Gempa Arah – x,

Ey = Beban Gempa Arah – y,

ρ = Faktor redundansi (gunakan 1,3),

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek.

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.3.4.2 menyatakan untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D,E atau F penentuan faktor redundansi (ρ) harus sama dengan 1,3. Berikut kombinasi pembebanan yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Kombinasi Pembebanan

No	Kombinasi Pembebanan				
1	1,4 DL	1,4 SiDL			
2	1,2 DL	1,2 SiDL	1,6 LL	0,5 R	
3	1,2 DL	1,2 SiDL	1 LL	1,6 R	
4	$(1,2+0,2S_{Ds})DL$	$(1,2+0,2S_{Ds})SiDL$	1 LL	$(0,3p)EQX$	$(1p)EQY$
5	$(1,2+0,2S_{Ds})DL$	$(1,2+0,2S_{Ds})SiDL$	1 LL	$(0,3p)EQX$	$-(1p)EQY$
6	$(1,2+0,2S_{Ds})DL$	$(1,2+0,2S_{Ds})SiDL$	1 LL	$-(0,3p)EQX$	$(1p)EQY$
7	$(1,2+0,2S_{Ds})DL$	$(1,2+0,2S_{Ds})SiDL$	1 LL	$-(0,3p)EQX$	$-(1p)EQY$
8	$(1,2+0,2S_{Ds})DL$	$(1,2+0,2S_{Ds})SiDL$	1 LL	$(1p)EQX$	$(0,3p)EQY$

Tabel 2.3 Kombinasi Beban (lanjutan)

No	Kombinasi Pembebanan				
9	(1,2+0,2Sds)DL	(1,2+0,2Sds)SiDL	1 LL	(1p)EQX	-(0,3p)EQY
10	(1,2+0,2Sds)DL	(1,2+0,2Sds)SiDL	1 LL	-(1p)EQX	(0,3p)EQY
11	(1,2+0,2Sds)DL	(1,2+0,2Sds)SiDL	1 LL	-(1p)EQX	-(0,3p)EQY
12	(0,9-0,2Sds)DL	(0,9-0,2Sds)SiDL		(0,3p)EQX	(1p)EQY
13	(0,9-0,2Sds)DL	(0,9-0,2Sds)SiDL		(0,3p)EQX	-(1p)EQY
14	(0,9-0,2Sds)DL	(0,9-0,2Sds)SiDL		-(0,3p)EQX	(1p)EQY
15	(0,9-0,2Sds)DL	(0,9-0,2Sds)SiDL		-(0,3p)EQX	-(1p)EQY
16	(0,9-0,2Sds)DL	(0,9-0,2Sds)SiDL		(1p)EQX	(0,3p)EQY
17	(0,9-0,2Sds)DL	(0,9-0,2Sds)SiDL		(1p)EQX	-(0,3p)EQY
18	(0,9-0,2Sds)DL	(0,9-0,2Sds)SiDL		-(1p)EQX	(0,3p)EQY
19	(0,9-0,2Sds)DL	(0,9-0,2Sds)SiDL		-(1p)EQX	-(0,3p)EQY
20	<i>ENVELOPE</i>				

2.7 Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan suatu struktur untuk melakukan deformasi inelastis yang besar secara bolak balik dan berulang akibat beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tetap berdiri kokoh walaupun sudah berada dalam kondisi diambang keruntuhan (Hajati, N. L., 2013).

Faktor daktilitas struktur gedung (μ) didefinisikan sebagai ratio antara simpangan maksimum struktur bangunan akibat pengaruh beban gempa rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan (δ_m) dan simpangan struktur bangunan pada saat terjadinya pelelehan pertama (δ_y) yaitu:

$$1,0 \leq \mu = \frac{\delta_m}{\delta_y} \leq \mu_m \quad (2.7)$$

Dengan:

μ = nilai faktor daktilitas untuk struktur bangunan yang berperilaku elastik penuh,

μ_m = nilai faktor daktilitas untuk struktur bangunan yang dapat dikerahkan oleh sistem struktur gedung yang bersangkutan.

2.8 Respons Spektrum

Untuk mendapatkan data Respons Spektrum yang digunakan dalam merencanakan gempa, dapat mengunjungi website Pusat Penelitian dan

Pengembangan Permukiman yaitu puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011. Data yang dimasukkan dalam website tersebut adalah lokasi bangunan dan jenis tanahnya, dengan data lokasi bangunan gedung di Kota Yogyakarta dengan jenis tanahnya sedang. Berikut data respons spektrum dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Respons Spektrum Kota Yogyakarta

PGA (g)	0,529	PSA (g)	0,529
S_S (g)	1,212	S_{MS} (g)	1,23
S_1 (g)	0,444	S_{M1} (g)	0,691
C_{RS}	0,928	S_{DS} (g)	0,82
C_{R1}	0	S_{D1} (g)	0,461
F_{PGA}	1	T_0 (g)	0,112
F_A	1,015	T_s (g)	0,562
F_V	1,556	KDS	D

(Sumber: website Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman)

2.9 Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko bangunan dan faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726:2012 dapat dilihat pada **Tabel 2.5** dan **Tabel 2.6**.

Tabel 2.5 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan non Gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
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 industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II

(Sumber: SNI 1726:2012 Pasal 4.1.2, Tabel 1)

Tabel 2.6 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, [I_e]
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

(Sumber: SNI 1726:2012 Pasal 4.1.2, Tabel 2)

2.10 Kategori Desain Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 6.5 menyatakan bahwa struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik. Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismic yang lebih parah, dengan mengacu pada **Tabel 2.7** atau **Tabel 2.8** berikut ini:

Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(sumber: SNI 1726:2012 Pasal 6.5, Tabel 6)

Tabel 2.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2012 Pasal 6.5, Tabel 7)

2.11 Spektrum Respon Desain

Spektrum respon desain dapat dihitung berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1} dengan mengacu kepada **Gambar 2.2**. dengan ketentuan berikut:

1. Untuk $T \leq T_0$, spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.8)$$

Dengan:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.9)$$

Dimana:

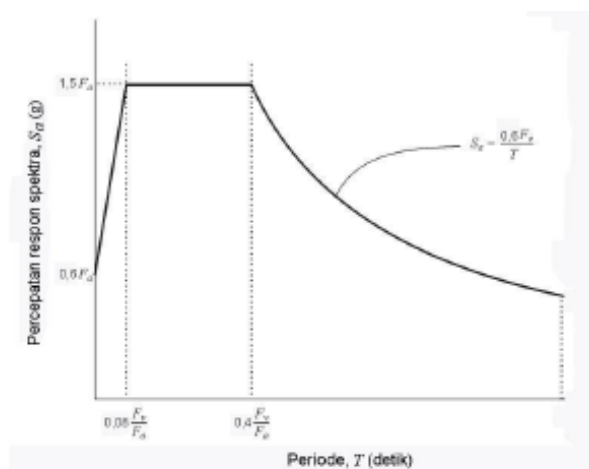
T = waktu getar alami struktur (detik)

2. Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$, spektrum respon percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} dengan:

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.10)$$

3. Untuk periode yang lebih besar dari T_s , spektrum respon percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.11)$$



Gambar 2.2 Spektrum Respon Desain

(Sumber: SNI 1726:2012 Pasal 6.4, Gambar 1)

2.12 Pemilihan Sistem Struktur

Pemilihan sistem struktur yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung yang dapat dilihat pada **Tabel 2.9**.

Tabel 2.9 Sistem Penahan Gaya Seismik

No	Sistem penahan gaya seismik	Koefisien Modifikasi Respons [R]	Faktor Pembesaran Defleksi [Ca]
	Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa yang ditetapkan		
1	Dinding Geser Beton Bertulang Khusus	7	5,5

(Sumber: SNI 1726:2012 Pasal 7.2.2, Tabel 9)

2.13 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

2.13.1 Persyaratan Umum SRPMK

Berdasarkan SNI Beton 2847:2013 Pasal 21.5.1 bahwa komponen struktur SRPMK harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

1. Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur, P_u harus memenuhi syarat dari:

$$P_u \leq A_g f'_c / 10 \quad (2.12)$$

2. Bentang bersih untuk komponen struktur, l_n tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.

$$l_n \geq 4d \quad (2.13)$$

3. Lebar penampang, b_w , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari $0,3h$ dan 250 mm.

$$b_w \geq 0,3h \text{ atau } 250 \text{ mm} \quad (2.14)$$

4. Lebar penampang, b_w , tidak boleh melebihi lebar kolom, ditambah suatu jarak pada masing-masing sisi penampang kolom yang sama dengan yang lebih kecil dari (a) dan (b):

- a. Lebar penampang kolom, dan
- b. 0,75 kali dimensi kolom.

2.13.2 Persyaratan Tulangan Longitudinal Balok SRPMK

Berdasarkan SNI Beton 2847:2013 pasal 21.5.2 bahwa tulangan longitudinal balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) harus sesuai dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Jumlah tulangan lentur baik di atas maupun di bawah penampang tidak boleh kurang dari luas tulangan minimum yang disyaratkan pada **Persamaan 2.15** dan **Persamaan 2.16**.

$$\frac{0,25b_w d \sqrt{f'_c}}{f_y} \quad (2.15)$$

atau

$$\frac{1,4b_w d}{f_y} \quad (2.16)$$

dengan:

b_w = lebar penampang balok

d = tinggi efektif penampang balok.

2. Rasio tulangan (ρ) lentur maksimum dibatasi sebesar 0,025. Serta pada penampang harus terpasang secara menerus minimum dua batang tulangan atas dan dua batang tulangan bawah.
3. Kuat momen positif pada muka join tidak boleh lebih kecil dari setengah kuat momen negatifnya. Kuat momen negatif dan positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kuat momen terbesar pada bentang tersebut.

$$\phi M_n^+ \geq \frac{1}{2} \phi M_n^- \quad (\text{tumpuan kiri}) \quad (2.17)$$

$$\phi M_n^+ \text{ atau } \phi M_n^- \geq \frac{1}{4} (\phi M_n \text{ terbesar di setiap titik}) \quad (2.18)$$

dengan:

$M_{n\ ki}$ = kuat momen pada bagian tumpuan sebelah kiri dari komponen lentur

$M_{n\ ka}$ = kuat momen pada bagian tumpuan sebelah kanan dari komponen lentur

2.13.3 Persyaratan Tulangan Transversal Balok SRPMK

Berdasarkan SNI Beton 2847:2013 Pasal 21.5.3 dan 21.5.4 bahwa tulangan transversal Sistem Rangka Momen Khusus (SRPMK) harus sesuai dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Sengkang harus dipasang pada daerah komponen struktur rangka sebagai berikut:
 - a. Sepanjang yang sama dengan 2 kali tinggi balok yang diukur dari muka tumpuan ke arah tengah bentang, di kedua ujung komponen lentur.
 - b. Sepanjang yang sama dengan 2 kali tinggi balok pada kedua sisi balok dimana pelelehan lentur terjadi.
2. Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan. Spasi Sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari:
 - a. $d/4$.
 - b. 6 kali diameter terkecil tulangan memanjang.
 - c. 150 mm.
3. Bila Sengkang tertutup tidak diperlukan, Sengkang dengan kait gempal pada kedua ujung harus disasikan dengan jarak tidak lebih dari $d/2$ sepanjang komponen struktur.
4. Kuat geser perlu V_e untuk perencanaan geser bagi komponen lentur SRPMK harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada komponen struktur antara dua muka tumpuan,

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{W_u l_n}{2} \quad (2.19)$$

dengan:

V_e = gaya geser ultimit balok akibat gempa,

M_{pr1} = *probable moment* di perletakan 1 akibat goyangan ke kiri atau ke kanan,

M_{pr2} = *probable moment* di perletakan 2 akibat goyangan ke kiri atau ke kanan,

W_u = pengaruh beban gravitasi,

l_n = panjang bentang bersih balok.

Besarnya nilai M_{pr} , dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$M_{pr} = A_s(1,25f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.20)$$

dengan:

$$a = \frac{A_s(1,25f_y)}{0,85f'_c b} \quad (2.21)$$

5. Tulangan transversal khusus untuk daerah yang berpotensi membentuk sendi plastis, tulangan transversal harus dirancang untuk menahan kuat geser perlu dengan menganggap kontribusi penampang beton dalam menahan gaya geser (V_c) = 0 selama:

- a. Gaya geser akibat gempa (V_{sway}) mewakili setengah atau lebih dari kuat geser perlu maksimum di sepanjang daerah tersebut.

$$0,5 V_u < V_{sway} \quad (2.22)$$

- b. Gaya aksial tekan terfaktor (P_u) pada penampang, termasuk akibat gempa, lebih kecil dari $A_g f'_c / 20$.

$$P_u \leq \frac{A_g f'_c}{20} \quad (2.23)$$

2.13.4 Persyaratan Kolom SRPMK

Berdasarkan SNI Beton 2847:2013 Pasal 21.6.1 mensyaratkan bahwa kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) harus sesuai dengan ketentuan berikut:

- dimensi penampang terpendek tidak boleh kurang dari 300 mm.
- perbandingan dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.

2.13.5 Kuat Lentur Kolom SRPMK

Berdasarkan SNI Beton 2847:2013 Pasal 21.6.2 kuat lentur kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

$$\sum M_c \geq 1,2M_g \quad (2.24)$$

Dengan:

M_c = Jumlah kekuatan lentur nominal (M_n) kolom yang merangka kedalam *joint*, yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau.

M_g = Jumlah kekuatan lentur nominal (M_n) balok yang merangka kedalam *joint*.

Kuat lentur kolom harus memenuhi ketentuan kolom kuat balok lemah. Tujuannya adalah untuk mencegah terjadinya leleh pada kolom yang pada dasarnya didesain sebagai komponen pemikul beban lateral.

2.13.6 Persyaratan Tulangan Longitudinal Kolom SRPMK

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.6.3 bahwa persyaratan luas tulangan untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) harus tidak boleh kurang dari 0,01 atau lebih dari 0,06.

2.13.7 Persyaratan Tulangan Transversal Kolom SRPMK

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4 dan 21.6.5 bahwa persyaratan harus memenuhi sebagai berikut:

1. tulangan transversal harus dipasang sepanjang l_o dari setiap muka *joint* dan pada kedua sisi penampang terutama pada saat mulai terbentuknya sendi plastis akibat beban gempa. Panjang l_o tidak boleh kurang dari:
 - a. Tinggi komponen struktur pada muka *joint* atau pada penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi.
 - b. 1/6 dari bentang bersih komponen struktur.
 - c. 450 mm.
2. Spasi tulangan transversal sepanjang l_o komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari:
 - a. Seperempat dimensi penampang kolom terkecil
 - b. 6 kali diameter batang tulangan longitudinal
 - c. s_0 menurut persamaan:

$$s_0 \leq 100 + \frac{350 - h_x}{3} \quad (2.25)$$

Dengan:

h_x = jarak antar kaki terbesar.

3. Luas penampang tulangan Sengkang persegi (A_{sh}) tidak boleh kurang dari yang disyaratkan oleh persamaan berikut:

$$A_{sh} = 0,3 \cdot \frac{s b_c f'_c}{f_y} \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \quad (2.26)$$

Dan

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s b_c f'_c}{f_y} \quad (2.27)$$

Dengan:

A_{ch} = luas penampang struktur yang diukur sampai tepi luar tulangan transversal.

$$A_{ch} = (b - (2 \cdot (t \text{ selimut})) - d_b)^2$$

s = Jarak antar tulangan transversal.

b_c = ukuran inti penampang struktur yang diukur ke tepi luar tulangan transversal.

4. Di luar daerah l_o jarak Sengkang tertutup diambil tidak boleh melebihi nilai terkecil dari 6 kali diameter batang tulangan kolom longitudinal atau 150 mm.
5. Tulangan transversal harus didesain untuk memikul gaya geser rencana, V_e , yang ditentukan menggunakan kuat momen maksimum, M_{pr} , dari komponen struktur tersebut yang terkait dengan rentang beban-beban aksial terfaktor yang bekerja, P_u .
6. Tulangan transversal sepanjang daerah l_o dapat direncanakan untuk memikul gaya geser rencana V_e , dengan menganggap $V_c = 0$ bilamana kedua persamaan ini terjadi:

- a. Gaya geser yang ditimbulkan gempa dihitung sesuai dengan M_{pr} mewakili $\frac{1}{2}$ atau lebih dari kuat geser perlu maksimum.

$$V_u < 0,5 \times V_e \quad (2.28)$$

- b. Gaya tekan aksial terfaktor (P_u), termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c / 10$.

$$P_u < \frac{A_g f'_c}{10} \quad (2.29)$$

Bila terdapat syarat yang tidak memenuhi V_c dapat diperhitungkan dalam menahan gaya geser.

2.13.8 Persyaratan Tulangan Transversal HBK SRPMK

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.7.4.1 bahwa untuk beton normal V_n *joint* tidak boleh diambil lebih besar dari nilai $1,7\sqrt{f'_c}A_j$.

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.7.2.3 bahwa tulangan balok longitudinal menerus melalui *joint* balok-kolom, dimensi kolom yang sejajar terhadap tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter batang tulangan balok longitudinal untuk beton normal.

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.7.3.1 harus ada tulangan transversal dalam *joint*.

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.7.3.2 untuk *joint* interior, jumlah tulangan transversal yang dibutuhkan diizinkan direduksi dengan setengahnya tulangan transversal yang dibutuhkan di ujung kolom.

2.14 Periode Fundamental Pendekatan (T_a)

Berdasarkan SNI 1726:2012, Periode fundamental pendekatan batas bawah ditentukan dengan persamaan berikut:

$$T_{a \text{ minimum}} = C_t \times h_n^x \quad (2.30)$$

Keterangan:

C_t = nilai koefisien berdasarkan **Tabel 2.11**,

h_n^x = tinggi struktur bangunan [m].

Periode fundamental pendekatan batas atas ditentukan dengan persamaan berikut:

$$T_{a \text{ maksimum}} = C_u \times T_{a \text{ minimum}} \quad (2.31)$$

Keterangan:

C_u = nilai koefisien berdasarkan **Tabel 2.10**.

Tabel 2.10 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
0,1	1,7

(Sumber: SNI 1726:2012 Pasal 7.8.2, Tabel 14)

Tabel 2.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang di isyaratkan 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	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber: SNI 1726:2012, Pasal 7.8.2, Tabel 15)

2.15 Gaya Geser Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2012 gaya geser seismik dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \times W \quad (2.32)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik,

W = berat seismik efektif [kN].

Koefisien respons seismik, C_s hitung harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$C_{s \text{ hitung}} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.33)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek,

R = koefisien modifikasi respon, dicantumkan pada **Tabel 2.9**,

I_e = faktor keutamaan gempa, dicantumkan pada **Tabel 2.6**.

Nilai C_s yang dihitung sesuai Persamaan 2.38 tidak boleh lebih dari persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.34)$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai Persamaan 2.15 tidak boleh kurang dari Persamaan berikut:

$$C_s = 0,044S_{DS}I_e \geq 0,01 \quad (2.35)$$

2.16 Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726:2012 nilai simpangan antar lantai izin harus lebih besar dari selisih defleksi terbesar antar lantai. Persamaan defleksi pusat massa dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.36)$$

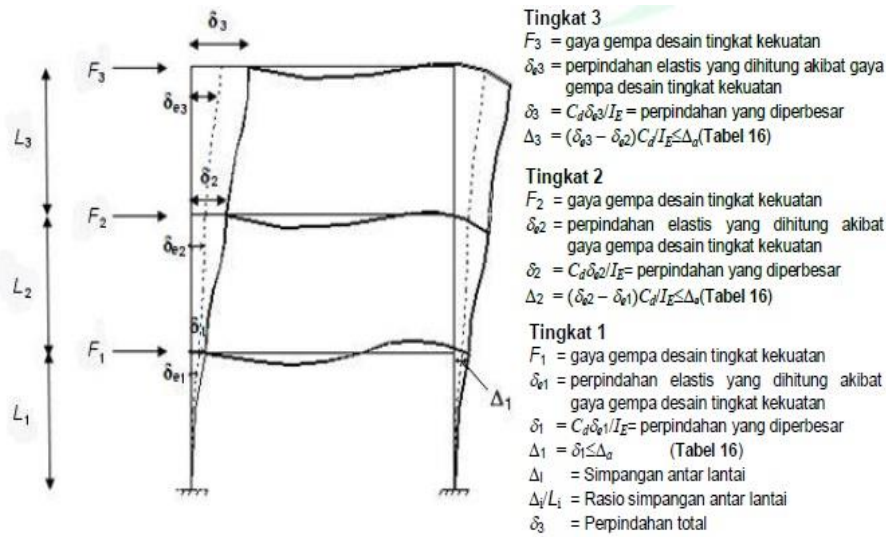
Keterangan:

C_d = faktor pembesaran defleksi dicantumkan pada **Tabel 2.9**,

δ_{xe} = perpindahan maksimum pada lokasi lantai yang ditinjau (didapat langsung dari program ETABS v.16.2.1 [mm]),

I_e = faktor keutamaan gempa dapat, dicantumkan pada **Tabel 2.6**.

Perhitungan untuk mendapatkan simpangan antar lantai desain dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Perhitungan Simpangan Antar Lantai

(Sumber: SNI 1726:2012, Pasal 7.9.3, Gambar 5)

Persamaan simpangan antar lantai izin didasarkan pada kategori risiko dan ketinggian setiap tingkat (h_{sx}).

Tabel 2.12 Simpangan Antar Lantai Izin

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	$0,025h_{sx}$	$0,02h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,01h_{sx}$	$0,01h_{sx}$	$0,01h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,02h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,01h_{sx}$

(Sumber: SNI 1726:2012, Pasal 7.12.1, Tabel 16)

2.17 Analisis Beban Dorong Statik (Static Pushover Analysis)

Analisis Beban Dorong Statik (*Static Pushover Analysis*) adalah suatu analisis statik non-linier, yang dalam analisisnya pengaruh gempa rencana terhadap

struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban statik pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan sehingga menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai target peralihan yang diharapkan atau sampai mencapai kondisi plastis (Pranata, Y. A., Simanta, D., 2006). Tujuan Analisis beban dorong adalah mengevaluasi perilaku seismik struktur terhadap beban gempa rencana, yaitu memperoleh nilai faktor reduksi gempa, memperlihatkan kurva kapasitas (*capacity curve*) dan memperlihatkan skema kelelahan (distribusi sendi plastis) yang terjadi. Untuk dapat menyederhanakan prosedur analisis dengan menggunakan analisis statik beban dorong, dibutuhkan informasi tiga elemen penting yaitu kurva kapasitas, kurva demand, dan titik kinerja struktur.

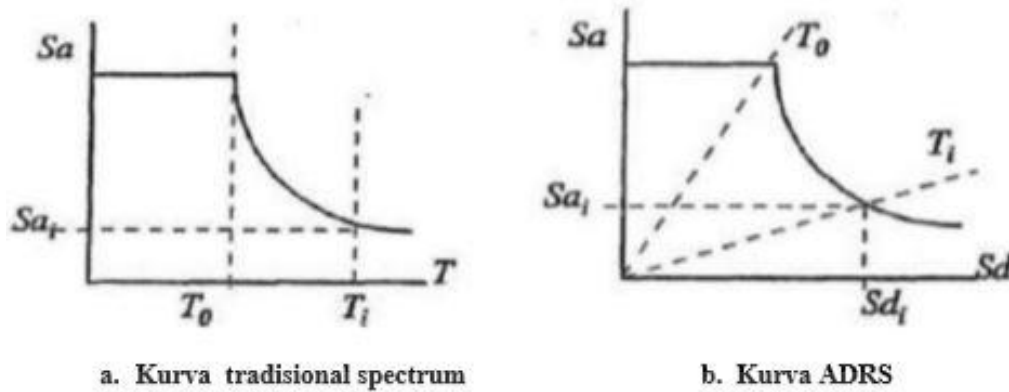
2.17.1 Kurva Kapasitas (*Capacity Curve*)

Kurva kapasitas hasil dari analisis statik beban dorong menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan atap akibat beban lateral yang diberikan pada struktur dengan pola pembebanan tertentu sampai pada kondisi ultimit atau target peralihan yang diharapkan. Kurva kapasitas akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku non-linier. Perubahan perilaku struktur dari linier menjadi non-linier berupa penurunan kekakuan yang diindikasikan dengan penurunan kemiringan kurva akibat terbentuknya sendi plastis pada balok dan kolom. Sendi plastis akibat momen lentur terjadi pada struktur jika beban yang bekerja melebihi kapasitas momen lentur yang ditinjau. Semakin banyak sendi plastis yang terjadi berarti kinerja struktur semakin bagus karena semakin banyak terjadi penyerapan energi melalui terbentuknya sendi plastis sebelum kapasitas struktur terlampaui (Pranata, Y. A., Simanta, D., 2006).

2.17.2 Kurva Demand

Demand adalah respons maksimum suatu struktur terhadap gempa yang terjadi. Kurva *demand* didapatkan dengan cara mengubah kurva tradisional

spectrum hubungan antara percepatan respon spektra (S_a) dengan waktu getar (T) menjadi kurva *Acceleration Displacement Response Spectra (ADRS)* hubungan antara percepatan respon spektra (S_a) dengan perpindahan spektra (S_d).

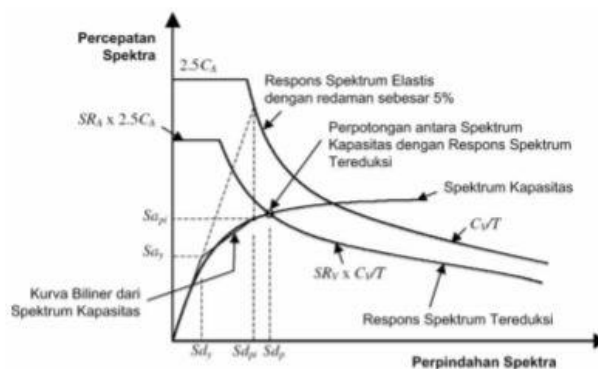


Gambar 2.4 Kurva Demand

(Sumber: Afandi, 2010)

2.17.3 Titik Kinerja (*Performance Point*)

Titik kinerja merupakan titik pertemuan kurva *demand* dengan kurva kapasitas yang digunakan untuk memeriksa apakah komponen struktural dan non-struktural tidak melebihi batas kerusakan yang diizinkan. Pada *performance point* dapat diperoleh informasi mengenai periode bangunan dan redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis. Berdasarkan informasi tersebut respon-respon struktur lainnya seperti nilai simpangan tingkat dan posisi sendi plastis dapat diketahui (Afandi, N. Rachmad, 2010)



Gambar 2.5 Titik Kinerja

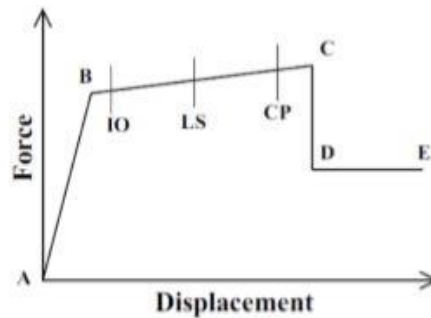
(Sumber: Dewobroto, 2006)

2.17.4 *Performance Based Seismic Design*

Performance Based Seismic Design (PBSD) merupakan salah satu konsep mendesain bangunan dimana target kinerja bangunan ditentukan terlebih dahulu dan dijadikan parameter yang harus dipenuhi. Tingkat kinerja Berdasarkan filosofi desain yang ada, tingkat kinerja struktur bangunan akibat gempa rencana adalah *Life Safety*, yaitu walaupun struktur bangunan mengalami tingkat kerusakan yang cukup parah namun keselamatan penghuni tetap terjaga karena struktur bangunan tidak sampai runtuh.

Menurut Wibowo et al, (2010) kategori tingkat kinerja dibedakan menjadi empat tingkat sebagai berikut:

1. *Operasional*
Kondisi dimana tidak ada kerusakan berarti pada struktur maupun non-struktur dan bangunan tetap berfungsi dengan baik.
2. *Immediate Occupancy (IO)*
Kondisi yang menjelaskan bahwa setelah terjadinya gempa, kerusakan struktur sangat terbatas, dimana kekuatan dan kekakuannya kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum terjadinya gempa.
3. *Life Safety (LS)*
Kondisi yang menjelaskan bahwa setelah terjadinya gempa, kerusakan terjadi pada struktur, kekakuan berkurang, tetapi masih mempunyai ambang yang cukup terhadap keruntuhan.. Komponen non-struktur masih ada tetapi tidak berfungsi. Dapat dipakai lagi jika sudah dilakukan perbaikan.
4. *Collapse Prevention (CP)*
Kondisi yang menjelaskan bahwa setelah terjadinya gempa, terdapat kerusakan yang berarti pada komponen struktur dan non-struktur. kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak, serta bangunan hampir runtuh dan tidak dapat dipakai.



Gambar 2.6 Level Kinerja Struktur

(Sumber: Program SAP2000 versi 14.0.0)

2.18 Peralatan Konstruksi yang Digunakan

Peralatan konstruksi diperlukan untuk penunjang keberhasilan pelaksanaan suatu proyek konstruksi, peralatan ini digunakan sesuai dengan kebutuhan pada lokasi proyek konstruksi agar pekerjaan menjadi efisien dan efektif. Berikut alat-alat yang akan digunakan pada proyek konstruksi sebagai berikut:

2.18.1 Ready Mix Concrete Truck

Ready mix concrete truck digunakan sebagai alat pengangkut adukan beton dari *batching plant* ke lokasi proyek. Dapat dilihat pada **Gambar 2.7**.

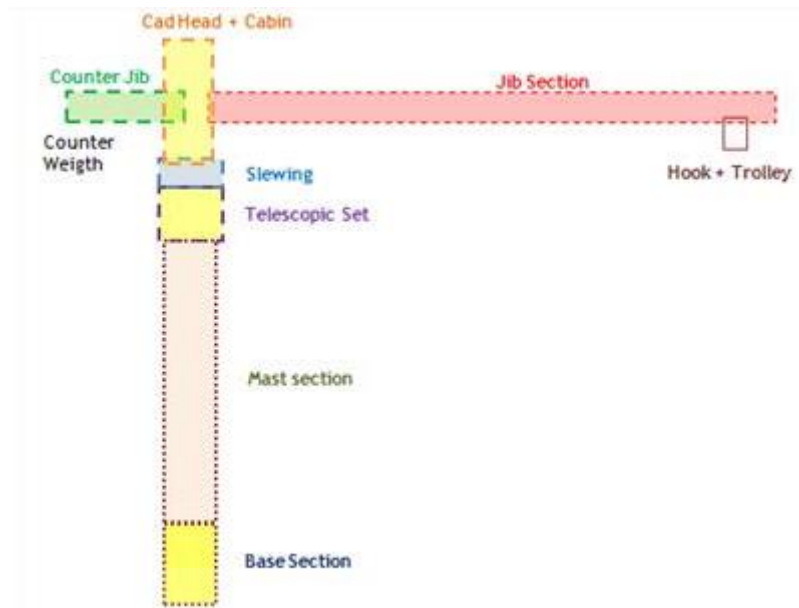


Gambar 2.7 *Truck Mixer*

(Sumber: Pribadi)

2.18.1 Tower Crane

Tower Crane digunakan untuk mengangkat material yang akan dipindahkan ke tempat yang telah ditentukan. Alat ini dirancang agar mampu menjangkau seluruh area proyek. Ketinggian dapat ditambahkan jika diperlukan. Berikut bagian *tower crane* yang akan digunakan dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.



Gambar 2.8 *Tower Crane*

(Sumber: en.jnhytj.com)

Jib atau boom, merupakan lengan *tower crane* yang terdiri dari elemen besi yang tersusun menjadi satu bagian rangka batang. *Counter jib* berfungsi untuk penyeimbang terhadap boom yang terpasang dengan ditambahkan *counter weight*. Untuk hoist adalah bagian yang berfungsi sebagai alat angkut vertikal dan troller adalah bagian *tower crane* yang berfungsi sebagai alat angkut arah horizontal. Ketinggian *tower crane* dapat ditambah sesuai dengan kebutuhan.

2.18.3 Concrete Vibrator

Concrete vibrator digunakan sebagai alat pemadat campuran beton yang dimasukan kedalam cetakan bekisting pada saat proses pengecoran. Tujuannya agar udara atau angin yang masih berada dalam adukan beton bisa keluar sehingga tidak akan adanya lubang atau rongga yang akan membuat beton menjadi padat, rata dan kuat. Seperti pada **Gambar 2.9**.



Gambar 2.9 *Concrete Vibrator*

(Sumber: Pribadi)

2.18.4 Concrete Pump

Concrete pump adalah sebuah alat bantu yang berfungsi untuk menyalurkan adukan beton pada area yang sulit dijangkau. Alat ini membantu dalam proses pembangunan gedung bertingkat. Penggunaan alat bantu ini juga mampu mempercepat pekerjaan pengecoran. *Concrete Pump* seperti pada **Gambar 2.10**.



Gambar 2.10 *Concrete Pump*

(Sumber: Pribadi)

Concrete pump mempunyai beberapa jenis, pemilihan jenis alat bantu dapat disesuaikan dengan kebutuhan dilapangan agar alat bantu bisa berfungsi dengan optimal. Berikut jenis-jenis *Concrete pump*:

1. *Mini Concrete Pump*

Alat pompa beton ini mempunyai panjang belalai sekitar 10 meter hingga 12 meter. Alat pompa beton ini cocok digunakan untuk menjangkau tempat-tempat yang sulit dicapai kendaraan berukuran besar.

2. *Standart Concrete Pump*
Jenis ini mempunyai panjang belalai 15 meter hingga 20 meter. Jenis ini bisa menjangkau tempat yang cukup sempit. Jenis yang paling banyak dipakai di berbagai proyek konstruksi.
3. *Concrete Pump Longboom*
Jenis ini mempunyai panjang belalai 20 meter hingga 30 meter.
4. *Concrete Pump Super Longboom*
Pada jenis alat pompa beton ini mempunyai panjang belalai 32 meter hingga 36 meter.
5. *Concrete Pump Master Longboom*
Untuk konstruksi yang lebih tinggi tersedia alat pompa beton *master longboom* yang memiliki panjang belalai 46 meter.
6. *Portable Concrete Pump*
Untuk jenis pompa beton ini mempunyai jangkauan 120 meter hingga 170 meter. Sehingga jenis ini cocok digunakan untuk pengerjaan konstruksi bangunan bertingkat tinggi.

2.18.5 Bekisting

Bekisting adalah suatu struktur yang berfungsi untuk membentuk dan menunjang beton segar hingga beton tersebut mampu menahan bebannya sendiri dan mencapai nilai kekerasan tertentu yang memungkinkan beton tersebut tidak perlu ditunjang lagi (Adi S. B., 2018). Umumnya bekisting terbuat dari kayu. Bekisting sendiri saat ini beragam, berikut macam-macam bekisting sebagai berikut:

1. Bekisting Konvensional

Bekisting yang menggunakan kayu dalam proses pengerjaannya. Pada umumnya penggunaan material kayu hanya dipakai untuk satu kali pekerjaan, namun jika material kayu masih memungkinkan untuk dipakai maka dapat digunakan kembali.

2. Bekisting Knock Down

Bekisting ini terbuat dari plat baja dan baja hollow. Bekisting ini jauh lebih mahal jika dibandingkan dengan bekisting konvensional, namun bekisting ini lebih awet dan tahan lama.

3. Bekisting Fiberglass

Bekisting ini memiliki keunggulan yang lebih daripada kayu, salah satunya pemasangan lebih mudah dan tanpa perlu minyak bekisting. Jenis bekisting ini lebih mahal dari bekisting konvensional dan knock down.

Dalam penelitian ini menggunakan bekisting konvensional karena memiliki biaya yang murah dibanding bekisting lainnya. Proses bekisting untuk kolom dapat dilihat pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2.11 Bekisting Kolom

(Sumber: Pribadi)

2.18.6 Perancah

Perancah merupakan salah satu peralatan konstruksi yang dibuat sementara yang menopang bekisting dan beton yang belum mengeras. Perancah mempunyai 2 jenis yang sebagai berikut:

1. Perancah Andang

Perancah ini biasa digunakan pada pekerjaan yang tingginya 2,5 – 3 meter jika melebihi maka tidak akan digunakan.

2. Perancah Tiang

Perancah ini merupakan perancah yang biasa digunakan apabila pekerjaan telah melebihi 3 meter, perancah tiang dapat dibuat sampai dengan ketinggian 20 m lebih. Perancah ini mempunyai 3 model sebagai berikut:

- Perancah tiang bambu,
- Perancah bambu dengan konsol besi,
- Perancah tiang besi atau pipa.

yang digunakan dalam proyek ini merupakan perancah yang terbuat dari material pipa baja. Dapat dilihat pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2.12 Perancah Tiang Pipa

(Sumber: Pribadi)

2.19 Metode Pelaksanaan Konstruksi

Metode pelaksanaan konstruksi dapat diartikan suatu kegiatan pembangunan sarana ataupun prasarana dengan cara tertentu demi mencapai suatu tujuan (Etika, dkk. 2018). Dalam dunia konstruksi beton terdapat dua metode konstruksi yaitu metode pracetak (*precast*) dimana beton dibuat ditempat lain dan setelah memenuhi syarat kekuatannya maka dapat dipasang sebagai struktur suatu bangunan. Kedua cara konvensional (*cast in situ*) dimana beton dicor langsung ditempat. Cara konvensional adalah metode pengerjaan beton bertulang yang sudah lazim digunakan. Metode ini membutuhkan tenaga dan waktu yang lebih banyak dibandingkan dengan beton pracetak.

Dalam metode pelaksanaan pekerjaan konstruksi pada pembangunan gedung bertingkat berikut adalah metode pekerjaan yang direncanakan :

1. Penulangan

Pada cara konvensional, perakitan tulangan untuk pelat lantai, balok, kolom dan dinding geser harus dirakit secara manual, tahapan dari penulangan itu sendiri adalah melalui pemotongan dan pembengkokan. Tahapan penulangan ini dibantu oleh *tower crane* untuk mengangkat tulangan ke lantai selanjutnya.

2. Pemasangan Bekisting

Dalam pembuatan bekisting harus dibuat sebaik mungkin agar tidak terjadi keruntuhan, cetakan tidak lurus dan sebagainya. sebelum pemasangan bekisting, permukaan bekisting diberikan minyak untuk mencegah perlekatan antara beton dan bekisting.

3. Pengecoran

Adukan beton dalam *truck mixer* disalurkan oleh *concrete pump* ke area yang akan membutuhkan beton. Selama proses pengecoran berlangsung dilakukan proses pemadatan beton menggunakan *concrete vibrator* agar tidak adanya udara yang tersisa di dalam adukan beton.

4. Perawatan

Proses *curing* dilakukan dengan cara menyiram permukaan elemen struktur dengan air agar tidak terjadi susut yang berlebihan pada beton akibat kehilangan kelembaban, sehingga dapat menyebabkan retak susut.

2.20 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana anggaran biaya adalah perhitungan banyaknya biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan suatu bangunan atau proyek. Perlu ditentukan material jenis apa yang akan digunakan untuk jenis pekerjaan tertentu dan telah didapatkan harga satuan dengan memasukkan komponen biaya ke analisis pekerjaan. Setelah itu langkah berikutnya adalah memasukkan semua *item* tersebut ke sebuah tabel atau daftar agar didapatkan jumlah total pekerjaan yang disebut dengan Rencana Anggaran Biaya (RAB) atau Rencana Anggaran Pelaksanaan.

Berikut 8 hal pokok yang harus diperhatikan dalam menghitung biaya (Susanta, 2013:7) antara lain sebagai berikut:

1. Menghitung material atau bahan, yaitu berkaitan dengan penghitungan banyaknya material yang dipakai termasuk harganya.
2. Menghitung biaya pekerja, yaitu berkaitan dengan lamanya bekerja para pekerja dalam menyelesaikan suatu jenis pekerjaan dalam satuan waktu dan biaya yang digunakan.
3. Menghitung peralatan, yaitu menghitung jenis, banyaknya, lamanya pemakaian peralatan, dan biayanya.
4. Menghitung *overhead*, yaitu menghitung biaya-biaya tidak terduga yang perlu diantisipasi, baik berkaitan dengan cuaca atau masalah moneter.
5. Menghitung besarnya pajak (*tax*). Meskipun besarnya telah ditentukan dengan peraturan, tetapi ada celah untuk restitusi pajak sehingga bisa untuk pertimbangan mengurangi biaya total penawaran apabila melakukan *tender* atau pelelangan.
6. Menghitung biaya tak terduga. Besarnya biaya tidak bisa diseragamkan. Biaya ini sangat tergantung pada kelihaihan dan kondisi daerah yang berbeda-beda. Misalkan berapa besar biaya koordinasi keamanan tentu tidak akan bisa dihitung secara *fix* atau pasti.
7. Menghitung biaya perizinan. Ada beberapa biaya perizinan yang perlu diperhatikan dalam menghitung biaya. Nama dari komponen perizinan berbeda-beda di setiap daerah demikian juga nilai retribusinya, seperti IMB, izin prinsip, izin lokasi, izin *site plan*, *advis planning*, dan lain-lain.
8. Untuk estimator jasa kontraktor ditambahkan satu faktor, yaitu faktor *profit* atau keuntungan, tetapi tidak untuk pekerjaan yang dikerjakan sendiri.

Anggaran biaya pada bangunan akan berbeda-beda dimasing-masing daerah dikarenakan perbedaan harga satuan bahan dan upah tenaga kerja.

2.20.1 Menghitung Volume untuk RAB

Ada beberapa cara untuk menghitung volume setiap jenis pekerjaan (Susanta, 2013), antara lain sebagai berikut:

1. Penghitungan volume pekerjaan yang mempunyai luas dan ketebalan atau mempunyai penampang dan panjang menggunakan satuan m^3 , contohnya pasangan batu kali, pasangan batu bata (bisa juga m^2), kuda-kuda, dan kusen.
2. Penghitungan volume pekerjaan yang hanya mempunyai luas dan ketebalan relatif tipis menggunakan satuan m^2 , contohnya plesteran, pasangan lantai, pasangan plafon, pasangan atap, dan pengecatan.
3. Penghitungan volume pekerjaan yang sifatnya dominan memanjang menggunakan m^1 atau meter lari, contohnya lisplang, lisplafon, instalasi pipa atau kabel, dan nok genteng.
4. Penghitungan volume bahan-bahan satuan menggunakan satuan ukuran buah (bh), contohnya lampu, sakelar, stop kontak, kunci, engsel, klosett, wastafel, dan kran air.
5. Penghitungan volume bahan satuan yang terdiri dari beberapa komponen bahan yang dirakit menjadi satu menggunakan satuan unit, contohnya panel listrik.

2.20.2 Analisa Harga Satuan Pekerjaan

Analisa harga satuan pekerjaan adalah harga bahan material dan harga upah dikalikan dengan koefisien yang telah ditentukan pada Peraturan Walikota Yogyakarta Nomor 6 Tahun 2017 tentang Analisa Harga Satuan Pekerjaan Konstruksi dan Jasa Lainnya. Harga satuan bahan dan upah mengacu pada standar harga satuan yang dikeluarkan pemerintah setempat.

2.21 Penelitian Terdahulu

1. Firza D. S. (2018), melakukan penelitian tentang Kajian Tentang Pelat Dinding Geser Beserta Penulangannya Terhadap Kinerja Struktur Gedung Bertingkat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berdasarkan perhitungan dengan ketebalan dinding geser yang divariasikan lokasinya pada gedung sebesar 300 mm, 250 mm, 200 mm, 150 mm dan 100 mm. Semua tipe struktur berada pada level kinerja B sampai dengan *Immediate Occupancy* (IO) dimana kondisi struktur berada pada kerusakan yang tidak parah sehingga apabila diperbaiki, perbaikannya tidak mengganggu fungsi dari bangunan.