

TINJAUAN TERHADAP PEMBATASAN DIMENSI TEMBOK PENGISI YANG MENERIMA BEBAN MUKA AKIBAT GEMPA

Takim Andriano, Gideon Hadi Kusuma

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra

Sunlianto, Tedy Agustino

Alumni Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra

ABSTRAK

Dalam rangka mengantisipasi terjadinya beban muka akibat gempa kuat yang bekerja pada bidang dinding pengisi suatu struktur rangka, luas maksimum atau bentang bidang dinding perlu dibatasi seperti yang direkomendasikan dalam Pedoman Perencanaan untuk Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983. Namun, pembatasan ini tampak hanya bergantung pada wilayah gempa dan kondisi tanah dimana bangunan berada serta posisi tembok, apakah di lantai dasar atau puncak gedung dan apakah dinding terletak di dalam atau di sekeliling luar bangunan.

Sebuah studi yang telah dilakukan untuk mengevaluasi kembali ketentuan pembatasan tersebut di atas menyimpulkan bahwa terdapat beberapa parameter lain yang seharusnya juga diperhitungkan, seperti lebar unit bata, tebal efektif dinding, rasio tinggi beban dinding terhadap lebar bentangnya. Di samping itu, untuk keperluan perencanaan diusulkan pula agar tahap kondisi retak dinding akibat beban muka diperhitungkan pula.

Kata kunci: tembok pengisi, beban muka, tahap kondisi retak tembok

ABSTRACT

In order to anticipate the impact of face loading due to severe earthquakes on infilled wall panels of a frame structure, the maximum area or span of these panels needs to be restricted as recommended in the Design Manual for Ordinary Reinforced Concrete Structures and Reinforced Wall Structures 1983. However, this restriction is merely based on the seismic zone and soil condition where the structure is located; the wall's position, whether it is on the ground or top floor and whether it is located inside or on the perimeter of the building.

A study which was carried out to re-evaluate the above recommendation found that there are some other parameters which need also to be considered, such as the width of brick units, the effective wall thickness, the ratio of clear height to span of wall panel. Furthermore, for design purposes, it is suggested to put into consideration the crack state condition of walls due to seismic face loads.

Keywords: infilled wall, face loading, crack state condition of walls.

PENDAHULUAN

Pada Pedoman Perencanaan untuk Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983 [1] ada asumsi bahwa selalu ada resiko kegagalan tembok

September 2000.

pengisi akibat beban muka (*face loading*). Resiko kegagalan ini hanya akan terjadi bilamana terjadi gempa yang lebih kuat daripada tingkat gempa rencana (gempa berperiode ulang 20 tahun). Asumsi ini diambil dengan alasan untuk menjamin keselamatan manusia dalam gedung dari tertimpa reruntuhan tembok pengisi, sedangkan dalam kasus struktur rangka dengan tembok pengisi asumsi ini diambil untuk menjamin kontribusi elemen tembok pengisi

Catatan: Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Mei 2000. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Dimensi Teknik Sipil volume 2 nomor 2

dalam menerima beban lateral.

Untuk menghindari terjadinya kegagalan tembok pengisi menerima beban muka akibat gempa kuat (gempa berperiode ulang 200 tahun), *Indonesian Earthquake Study* vol. 7 [2] merekomendasikan suatu pembatasan atas dimensi tembok pengisi berupa pembatasan luas maksimum dan bentang maksimum. Studi ini akan melakukan tinjauan atas pembatasan tersebut dengan memperhatikan kondisi tembok pengisi saat menerima beban muka akibat gempa kuat sejak saat tembok pengisi mulai retak sampai tembok pengisi mengalami kegagalan (runtuh), kemudian mengevaluasi sampai sejauh mana keoptimalan tembok pengisi yang direncanakan berdasarkan pembatasan tersebut menerima beban muka akibat gempa kuat.

ANALISA TEMBOK PENGISI MENERIMA BEBAN MUKA AKIBAT GEMPA

Indonesian Earthquake Study vol. 5 [3] merumuskan besarnya beban muka rencana (F_p) yang akan diterima suatu komponen (komponen dalam studi ini adalah tembok pengisi) akibat gempa, sebagai berikut:

$$F_p = C_p K_p P W_p \text{ (gempa periode ulang 20 tahun)}$$

$$F_p = E_{200} K_p W_p \text{ (gempa periode ulang 200 tahun)} \quad (2)$$

dimana:

C_p = Koefisien Gempa Dasar Komponen (lihat tabel 1)

K_p = Faktor Respon Struktur ($K_p = 1$ untuk lantai dasar; $K_p = 2$ untuk lantai puncak)

P = Faktor Perilaku Komponen terhadap Gempa ($P = 4$ untuk tembok luar; $P = 2,5$ untuk tembok selain tembok luar)

E_{200} = Respon Percepatan Struktur untuk gempa periode ulang 200 tahun (lihat tabel 1)

W_p = Berat Komponen

Tabel 1. Nilai C_p dan E_{200} [3]

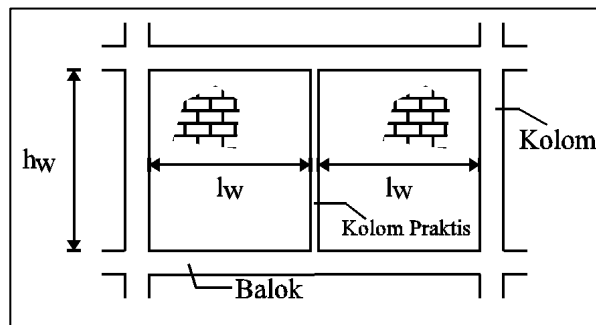
Wilayah	Tanah Lunak		Tanah Keras	
	C_p	E_{200}	C_p	E_{200}
1	0,1300	0,8000	0,0900	0,6750
2	0,0900	0,7000	0,0700	0,6000
3	0,0700	0,6625	0,0500	0,4125
4	0,0500	0,5300	0,0300	0,3750
5	0,0300	0,3750	0,0100	0,3000

1. Model Analitis Tembok Pengisi

Pada *Indonesian Earthquake Study* vol. 7 [2], pembatasan luas maksimum dan bentang maksimum tembok pengisi akibat beban muka didapatkan dengan menganalogikan tembok pengisi sebagai pelat satu arah dan pelat dua arah. Dalam mendapatkan besarnya momen tembok pengisi saat menerima

beban muka, untuk analogi pelat satu arah digunakan cara seperti balok yang ujung-ujungnya di atas tumpuan sendi, sedangkan untuk analogi pelat dua arah digunakan teori garis leleh (*yield line theory*) versi Park dan Gamble [4] dengan tumpuan sendi pada keempat sisinya.

Gambar 1. Notasi Dimensi Tembok Pengisi



Adapun perumusan momen maksimum (per meter lebar (M_{maks}) sebagai berikut:

$$M_{maks} = \frac{1}{8} F_p l_w^2 \quad \text{(analogi pelat satu arah; } \frac{h_w}{l_w} > 2 \text{)} \quad (3)$$

$$M_{maks} = \frac{\left(3 \frac{l_y}{l_x} - 1\right)}{24 \left(1 + \frac{l_y}{l_x}\right)} F_p l_x^2 \quad \text{(analogi pelat dua arah; } \frac{h_w}{l_w} \leq 2 \text{)} \quad (4)$$

dimana:

h_w = Tinggi Bersih Tembok Pengisi

l_w = Bentang Bersih Tembok Pengisi

l_x = Bentang Pendek pada Pelat

l_y = Bentang Panjang pada Pelat

2. Kondisi Retak Tembok Pengisi

Paulay dan Priestley [5] mengembangkan persamaan-persamaan untuk memperkirakan kondisi-kondisi tembok pengisi saat menerima beban muka, dari kondisi mulai akan retak sampai kondisi maksimum tembok pengisi sebelum mengalami kegagalan. Beberapa asumsi

penyederhanaan mereka ambil, antara lain akselerasi respon konstan sepanjang tinggi tembok dan tumpuan tembok pengisi diasumsikan sendi.

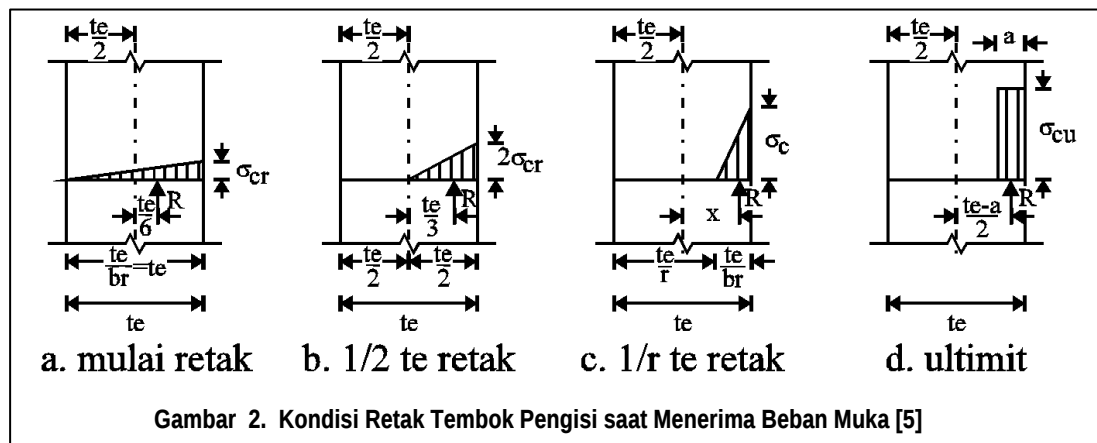
Kegagalan tembok pengisi dianggap belum terjadi walaupun tembok pengisi sudah mulai retak. Kemampuan ultimit tembok pengisi hanya akan terjadi saat tegangan tekan material (σ_c) dari tembok pengisi mencapai 0,85 tegangan tekan ijinnya (σ_{cu}). Gambar 2 memperlihatkan skema analitis kondisi-kondisi retak di potongan setengah tinggi tembok pengisi saat menerima beban muka.

(σ_{cr}) atau tercapainya momen retak (M_{cr}) yaitu ketika $x = te/6$.

Kondisi retak ultimit (Kondisi Retak 100%) yang diperbolehkan dari tembok pengisi saat menerima beban muka sebelum mengalami kegagalan terjadi ketika:

$$\sigma_{cu} = 0,85\sigma'_c \quad (10)$$

$$x_U = \frac{te - a}{2} \quad (11)$$



Gambar 2. Kondisi Retak Tembok Pengisi saat Menerima Beban Muka [5]

Adapun persamaan-persamaan untuk kondisi 1/r bagian dari tebal efektif tembok pengisi telah retak adalah sebagai berikut:

$$R = 0,5 h_w W_p \quad (5)$$

$$M = R x \quad (6)$$

$$\frac{1}{r} = 1 - \left(1,5 - \frac{3x}{te} \right) \quad (7)$$

$$\frac{1}{br} = 1 - \frac{1}{r} \quad (8)$$

$$\sigma_c = \frac{2R}{te} br \quad (9)$$

dimana:

R = Resultan Beban Gravitasi pada setengah Tinggi Tembok Pengisi

M = Momen dari R terhadap As Tengah Tebal Efektif Tembok Pengisi

x = Lengan Momen dari Resultan Beban Gravitasi pada setengah Tinggi Tembok Pengisi

te = Tebal Efektif Tembok Pengisi

1/r = Kondisi Retak dari Tebal Efektif Tembok Pengisi

Tembok pengisi dikatakan mulai retak (Kondisi Retak 0%) pada saat tegangan tekan material tembok pengisi mencapai tegangan tekan retak

$$a = \frac{R}{\sigma_{cu} te} \quad (12)$$

$$M_U = R \frac{te - a}{2} \quad (13)$$

dimana:

σ_{cu} = Tegangan Tekan Ultimit

x_U = Lengan Momen dari Resultan Beban Gravitasi pada setengah Tinggi Tembok Pengisi

a = Sisa Tebal Efektif Tembok Pengisi yang Belum Retak saat Kondisi Retak Tembok Pengisi Ultimit

M_U = Momen Ultimit

EVALUASI TEMBOK PENGISI AKIBAT BEBAN MUKA

Kemampuan tembok pengisi menerima beban muka akibat gempa besar pada *Indonesian Earthquake Study* vol. 7 [2] dihubungkan dengan pembatasan dimensi tembok pengisi atau pengaturan letak kolom praktis. Pembatasan tersebut dalam studi ini akan dievaluasi kondisi retaknya versi Paulay dan Priestley, untuk mengetahui apakah kemampuan tembok pengisi menerima beban muka dengan pembatasan

tersebut sudah optimal.

1. Parameter-Parameter

a. Batu Bata

Lebar batu bata (t) = 0,09; 0,11 dan 0,14 m [6]

σ_c = 2,5; 5; 10; 15; 20 dan 25 MPa [6]

Berat sendiri bahan per m^3 (BS) = 1700 kg/m^3 [7]

b. Plasteran

Tebal plasteran = 15% t , asumsi pada saat menentukan tebal efektif tembok pengisi [2] atau

Tebal plasteran = 30% t , asumsi saat menentukan rasio kelangsingan [2].

BS = 2100 kg/m^3 [7]

c. Tembok pengisi; Tebal efektif (t_e) = 1 t s.d. 3 t [8]

Tembok pengisi seringkali ditutup dengan lapisan mortar semen (plasteran) untuk keperluan interior bangunan. Sehubungan dengan perbedaan modulus elastisitas (E) antara material tembok pengisi (dalam studi ini digunakan batu bata merah) dengan mortar semen, maka tebal tembok pengisi sebagai salah satu parameter dalam perencanaan tembok pengisi terhadap beban muka perlu dimodifikasi. Berdasarkan *Indonesian Earthquake Study* volume 7, diasumsikan ketebalan lapisan penutup mortar semen sebesar 15% dari lebar batu bata, sehingga kemudian dihasilkan parameter tebal efektif yang dirumuskan sebagai $t_e = 3 t$.

Namun dari hasil diskusi dalam studi ini disadari adanya keraguan atas mutu batu bata dan mortar semen, termasuk keraguan atas keseragaman tebal lapisan penutup mortar semen dalam pengerjaan di lapangan. Sehubungan dengan hal ini, serta karena pengaruh yang signifikan dari parameter tebal efektif tembok pengisi, baik atas kemampuan tembok pengisi menerima beban muka maupun kemampuan struktur rangka dengan tembok pengisi menerima beban lateral. Maka dalam studi ini diusulkan tebal efektif tembok pengisi sebaiknya diambil dalam kisaran 1 (satu) sampai 3 (tiga) kali lebar bata, $t_e = 1$ s.d. 3 t, berdasarkan keyakinan perencana atas mutu batu bata dan mortar semen serta keseragaman pengerjaan plasteran di lapangan.

d. Letak dimana struktur berdiri [9]

Wilayah gempa = 1 - 6, dan kondisi tanah = Lunak/Keras

Lantai yang ditinjau; $K_p = 1$ untuk Lantai Dasar, $K_p = 2$ untuk Lantai Puncak

2. Evaluasi Kondisi Tembok Pengisi dengan Pembatasan dari Pedoman

Pedoman [2] atas pembatasan luas dan bentang maksimum tembok pengisi ini memang sangat mudah untuk digunakan, namun keoptimalan kondisi retaknya masih perlu dievaluasi.

Tabel 2. Pembatasan Luas Maksimum ($h_w/l_w \leq 2$), dalam m^2 [2]

Wilayah	P = 4				P = 2,5			
	Tanah Lunak		Tanah Keras		Tanah Lunak		Tanah Keras	
	Dasar	Puncak	Dasar	Puncak	Dasar	Puncak	Dasar	Puncak
1	4,0	2,0	5,5	3,0	6,5	3,0	9,0	4,5
2	5,5	3,0	7,5	4,0	9,0	4,5	11,5	6,0
3	7,5	4,0	10,5	5,0	11,5	6,0	15,0	8,0
4	10,5	5,0	15,0	8,5	15,0	8,0	15,0	12,0
5	15,0	8,5	15,0	12,0	15,0	12,0	15,0	15,0
6	15,0	8,5	15,0	12,0	15,0	12,0	15,0	15,0

Tabel 3. Pembatasan Bentang Maksimum ($h_w/l_w > 2$), dalam m. [2]

Wilayah	P = 4				P = 2,5			
	Tanah Lunak		Tanah Keras		Tanah Lunak		Tanah Keras	
	Dasar	Puncak	Dasar	Puncak	Dasar	Puncak	Dasar	Puncak
1	1,4	1,0	1,6	1,1	1,7	1,2	2,0	1,4
2	1,6	1,1	1,9	1,3	2,0	1,4	2,3	1,6
3	1,9	1,3	2,2	1,5	2,3	1,6	2,7	1,9
4	2,2	1,5	2,8	2,0	2,7	1,9	3,4	2,4
5	2,8	2,0	4,9	3,4	3,4	2,4	5,6	4,0
6	2,8	2,0	4,9	3,4	3,4	2,4	5,6	4,0

Dari perhitungan atas salah satu nilai pembatasan dengan parameter tinggi tembok (h_w) yang bervariasi sementara parameter-parameter lainnya diasumsikan sama, didapatkan kondisi retak yang sangat tergantung dari parameter h_w .

Contoh perhitungan:

Batu bata: $t = 0,09$ m; BS = 1700 kg/m^3 ; $\sigma_c = 5$ MPa

Plasteran: BS = 2100 kg/m^3 ; Tebal = 15% t

Tembok Pengisi: $t_e = 3 t = 0,27$ m; $h_w = 3,0$; 3,1; 3,2 m; Tembok luar ($P=4$)

Gempa: Periode ulang 200 tahun; Wilayah 3; Tanah Lunak; Lantai Dasar ($K_p=1$); $E_{200} = 0,6625$

Pembatasan: Luas maksimum = 7,50 m^2 ($h_w/l_w \leq 2$); lihat elemen yang diarsir pada tabel 2.

Berat Tembok Pengisi (W_p) = (Lebar batu bata x BS batu bata + Tebal plaster x BS plaster) x g
 = (0,09 x 1700 + 15% x 0,09 x 2100) x 9,81

$$= 1779 \text{ N/m}^2 = 1,78 \text{ kN/m}^2$$

Tabel 4. Perbandingan Parameter-Parameter Tembok Pengisi dengan h_w Berbeda-beda

	$h_w=3,0\text{m}$	$h_w=3,1\text{m}$	$h_w=3,2\text{m}$	Persamaan
F_p	1,18 kN/m ²	1,18 kN/m ²	1,18 kN/m ²	2
R	2,67 kN/m	2,76 kN/m	2,85 kN/m	5
M_{cr}	0,120 kNm/m	0,124 kNm/m	0,128 kNm/m	6
σ_{cu}	4,25 MPa	4,25 MPa	4,25 MPa	10
a	2,33 mm	2,41 mm	2,48 mm	12
M_u	0,357 kNm/m	0,369 kNm/m	0,381 kNm/m	13
l_w	2,5 m	2,42 m	2,34 m	-
$\frac{h_w}{l_w}$	$1,20 \leq 2$	$1,28 \leq 2$	$1,37 \leq 2$	-
M	0,363 kNm/m	0,358 kNm/m	0,353 kNm/m	4 ($h_w/l_w \leq 2$),
x	0,136 m	0,130 m	0,124 m	6
$1/r$ (Kondisi Retak)	$M > M_u$ (gagal)	0,94 (94%retak)	0,88 (88%retak)	7

Dari tabel di atas terlihat untuk $h_w = 3,0 \text{ m}$ tembok pengisi sudah mengalami kegagalan ketika menerima beban muka akibat gempa kuat, namun untuk $h_w = 3,1 \text{ m}$ kondisi retak tembok pengisi cukup optimal yaitu 94% (Kondisi retak 100% adalah kondisi retak ultimit tembok pengisi), sedangkan untuk $h_w = 3,2 \text{ m}$ keoptimalan kondisi retak menurun menjadi 88%.

3. Usulan Pembatasan Dimensi Tembok Pengisi Berdasarkan Kondisi Retak Ultimit

Dalam studi ini diusulkan pembatasan dimensi tembok pengisi dengan kondisi retak tembok pengisi yang dapat dipilih sesuai dengan keinginan perencana dan tidak tergantung nilai h_w , namun tetap diusahakan untuk sederhana dan mudah digunakan. Adapun jalan pemikiran untuk mendapatkan pembatasan dimensi tembok pengisi yang diusulkan adalah sebagai berikut:

- Persamaan 3, 4, 5, 6 dan 13 dibagi dengan parameter h_w , sehingga didapatkan persamaan-persamaan turunan. Persamaan untuk mencari momen maksimum pada tembok pengisi yang di analogikan sebagai pelat satu arah ($h_w/l_w > 2$):

$$\frac{M_{maks}}{h_w} = \frac{1}{8} F_p \left(\frac{l_w}{\sqrt{h_w}} \right)^2 \quad (14)$$

Persamaan untuk mencari momen maksimum pada tembok pengisi yang di analogikan sebagai pelat dua arah ($h_w/l_w \leq 2$):

$$\frac{M_{maks}}{h_w} = \frac{\left(3 \frac{h_w}{l_w} - 1 \right)}{24 \left(1 + \frac{h_w}{l_w} \right)} F_p \left(\frac{l_w}{\sqrt{h_w}} \right)^2 ; \text{ untuk } 1 < \frac{h_w}{l_w} \leq 2 \quad (15a)$$

$$\frac{M_{maks}}{h_w} = \frac{\left(3 \frac{l_w}{h_w} - 1 \right)}{24 \left(1 + \frac{l_w}{h_w} \right)} F_p h_w ; \text{ untuk } 1 < \frac{l_w}{h_w} \leq 2 \quad (15b)$$

Persamaan gaya-gaya dalam tembok pengisi saat menerima beban muka:

$$\frac{R}{h_w} = 0,5 W_p \quad (16)$$

$$\frac{M}{h_w} = \frac{R}{h_w} x \quad (17)$$

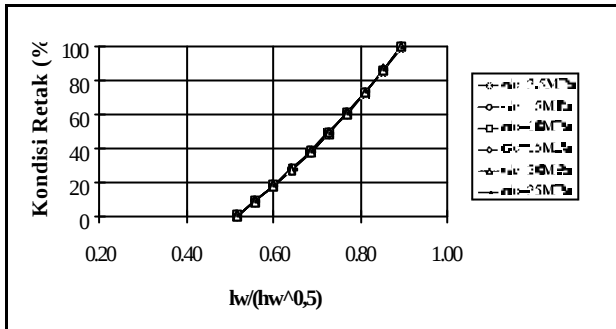
Persamaan momen tembok pengisi dalam kondisi retak ultimit saat menerima beban muka (dengan a dihitung dari persamaan 12 untuk $h_w = 4,5 \text{ m}$):

$$\frac{M_u}{h_w} \cong \frac{R}{h_w} \frac{te - a}{2} \quad (18)$$

- Masing-masing persamaan 14, 15a dan 15b dieliminasi dengan persamaan 18, sehingga kita bisa mendapatkan nilai parameter $l_w/\sqrt{h_w}$ (untuk $h_w/l_w > 1$) dan nilai parameter h_w (untuk $0,5 \leq h_w/l_w \leq 1$), pada kondisi retak ultimit.
- Dengan cara yang sama seperti pada langkah b, eliminasi dapat dilakukan untuk persamaan 14, 15a dan 15b dieliminasi dengan persamaan 17 pada kondisi retak yang kita inginkan (0-100%, 0% = saat mulai retak, 100% = ultimit)

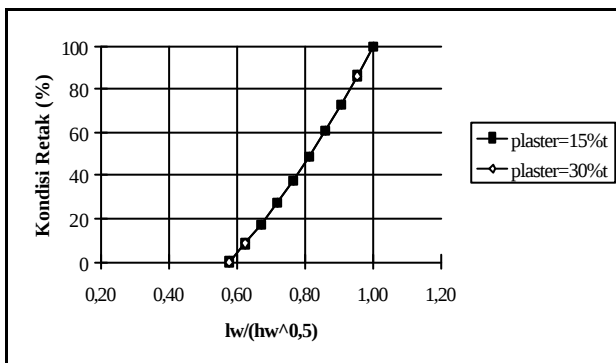
Kemudian parameter yang nilainya bervariasi akan membuat pembatasan menjadi kompleks karena banyak kombinasinya, parameter-parameter itu adalah wilayah gempa, kondisi tanah di mana struktur berdiri, lantai yang ditinjau, σ_c batu bata, lebar batu bata, tebal plasteran dan tebal efektif tembok pengisi. Parameter wilayah gempa, kondisi tanah dan lantai yang ditinjau, sudah bisa dipastikan

sangat sensitif, hal ini disimpulkan dari pembatasan dimensi tembok pengisi pada Tabel 2 dan 3, yang memberikan pembatasan tersendiri untuk tiap-tiap kombinasinya. Sedangkan untuk sensitifitas parameter σ_c batu bata, lebar batu bata, tebal plasteran dan tebal efektif tembok pengisi dapat dilihat pada gambar-gambar berikut.



Gambar 3. Sensitifitas Parameter s'_c batu bata [8]

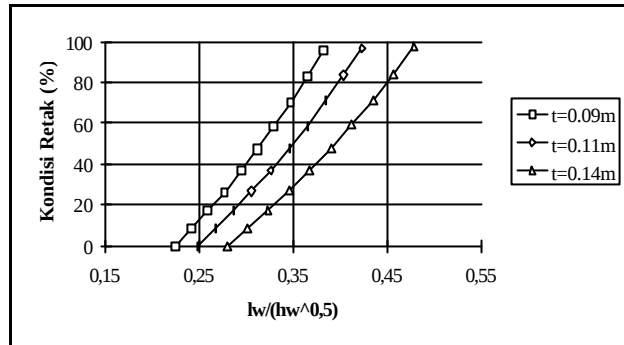
Wilayah 1; Tanah Keras; Lantai Dasar; plaster = 30%; $t_e = 3t$; $t = 0,09m$; $h_w/l_w > 2$



Gambar 4. Sensitifitas Parameter Tebal Plaster [8]

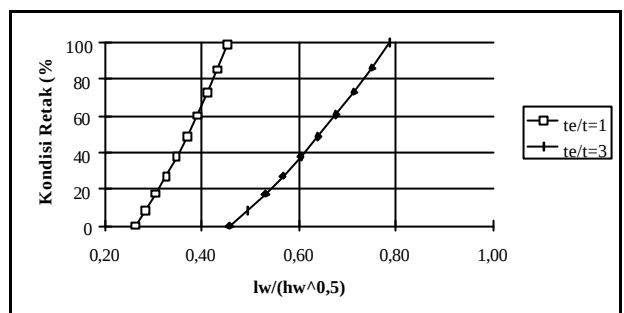
Wilayah 3; Tanah Lunak; Lantai Dasar; $\sigma_c = 25,0$ MPa; $t_e = 3t$; $t = 0,11m$; $h_w/l_w > 2$. Gambar 3 dan 4 menunjukkan kurva-kurva yang berhimpitan, dengan kata lain parameter σ_c batu bata dan tebal plaster tidak terlalu berpengaruh dalam menentukan kondisi retak tembok pengisi saat menerima beban muka akibat gempa kuat.

Sedangkan gambar 5 dan 6 memperlihatkan kurva-kurva yang tidak berhimpitan dengan perbedaan yang cukup signifikan, dengan kata lain parameter lebar batu bata dan tebal efektif tembok pengisi cukup berpengaruh dalam menentukan kondisi retak tembok pengisi saat menerima beban muka akibat gempa kuat.



Gambar 5. Sensitifitas Parameter Lebar Batu Bata [8]

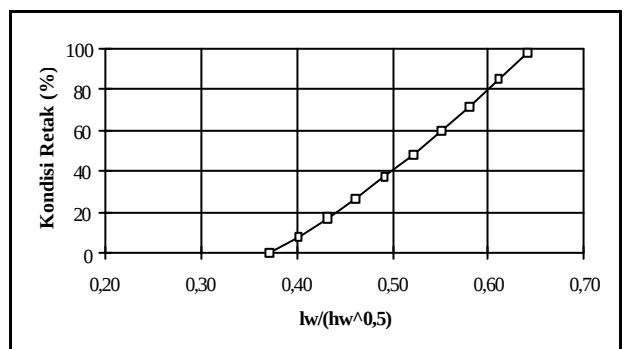
Wilayah 2; Tanah Keras; Lantai Puncak; $\sigma_c = 5,0$ MPa; plaster=15%; $t_e = t$; $h_w/l_w > 2$.



Gambar 6. Sensitifitas Parameter Tebal Efektif Tembok Pengisi [8]

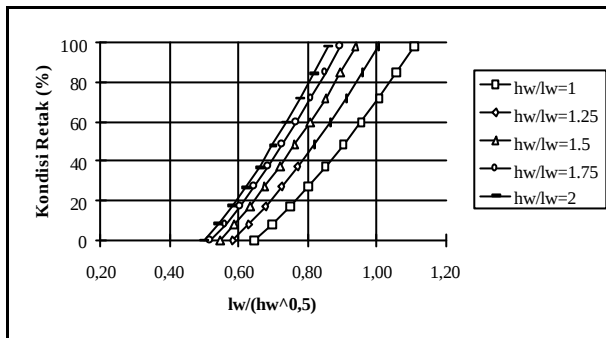
Wilayah 4; Tanah Lunak; Lantai Puncak; $\sigma_c = 15,0$ MPa; plaster=15%; $t = 0,11m$; $h_w/l_w > 2$.

Dengan diketahuinya sensitifitas parameter-parameter yang menentukan dalam analisa kondisi retak tembok pengisi atas beban muka maka dapat diusulkan pembatasan yang cukup sederhana untuk digunakan, seperti dapat dilihat beberapa contohnya pada gambar 7, 8 dan 9.



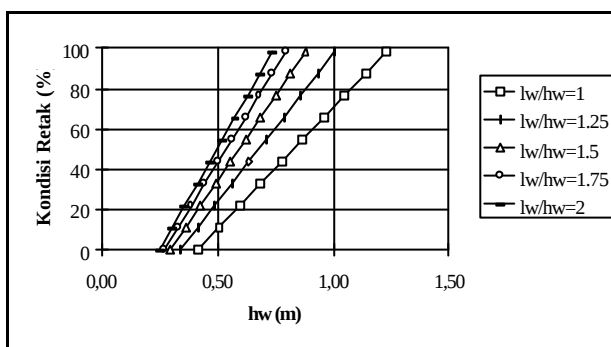
Gambar 7. Dimensi Tembok Pengisi [8]

Wilayah 4; Tanah Lunak; Lantai Puncak; $t_e = 2t$; $t = 0,11m$; $h_w/l_w > 2$



Gambar 8. Dimensi Tembok Pengisi [8]

Wilayah 4; Tanah Lunak; Lantai Puncak; $t_e=2t$;
 $t=0,11m$; $1 \leq h_w/l_w \leq 2$



Gambar 9. Dimensi Tembok Pengisi [8]

Wilayah 4; Tanah Lunak; Lantai Puncak; $t_e=2t$;
 $t=0,11m$; $0,5 \leq h_w/l_w < 1$

DISKUSI DAN KESIMPULAN

Dengan usulan pembatasan dimensi tembok pengisi yang baru, kemampuan tembok pengisi untuk menerima beban muka akibat gempa besar dapat dioptimalkan. Serta pembatasan yang baru tidak lagi tergantung pada parameter tinggi bersih tembok pengisi, sebagaimana pembatasan yang lama yang tergantung pada parameter tinggi bersih tembok pengisi (lihat tabel 4).

Pembatasan dimensi tembok pengisi juga diartikan sebagai pengaturan letak kolom praktis. Namun penulangan kolom praktis yang dibahas dalam pedoman terdahulu [1] tidak dibahas dalam studi ini, sebagai gantinya perencana bisa merencanakan penulangan kolom praktis secara lebih fleksibel dengan mengidealisasikan kolom praktis sebagai elemen yang menerima beban merata. Hal lain yang berhubungan dengan pembatasan dimensi tembok pengisi adalah pembatasan dimensi

tembok pengisi dikarenakan ketentuan rasio kelangsingan, untuk itu dalam merencanakan dimensi tembok pengisi diharapkan juga memperhatikan ketentuan rasio kelangsingan ijin tembok pengisi [8].

Kemudian beberapa hal yang masih menjadi permasalahan dalam perencanaan dimensi tembok pengisi dan belum dibahas dalam studi ini sehingga perlu dikembangkan lebih lanjut, adalah:

- Dari studi ini disimpulkan tebal efektif tembok pengisi merupakan parameter penting perencanaan tembok pengisi menerima beban muka, sehingga diharapkan di kemudian hari gugus kendali mutu atas pengerjaan tembok pengisi dapat lebih dikembangkan.
- Untuk tembok pengisi yang berlubang, idealisasi elemen tembok pengisi saat menerima beban muka sebagai pelat tertutup perlu diteliti lebih lanjut.
- Pada kasus struktur rangka dengan tembok pengisi, di mana tembok pengisi menerima beban muka dan beban lateral, pengaruh interaksi antara beban lateral dan beban muka akan berhubungan dengan penentuan kondisi retak tembok pengisi yang optimal, sehingga penentuan kondisi retak yang optimal juga perlu dikembangkan lebih lanjut.
- Studi ini masih berupa tinjauan teoretis, sehingga studi lanjutan menggunakan model percobaan tembok pengisi menerima beban muka yang bisa diteliti di laboratorium sangat diharapkan dapat menghasilkan model analitis yang cukup akurat untuk perencanaan tembok pengisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum, *Pedoman Perencanaan untuk Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung*, 1983.
- Beca Carter Hollings and Ferner Ltd., *Indonesian Earthquake Study vol. 7: Masonry Testing*, 1981.
- Beca Carter Hollings and Ferner Ltd., *Indonesian Earthquake Study vol. 5: Draft Code of Practice for Seismic Design of Building Construction in Indonesia*, 1979.
- Park, R. and Gamble, W.R., *Reinforced*

Concrete Slabs, John Wiley & Sons, New York, 1980

5. Paulay, T. and Priestley, M.J.N., *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Wiley & Sons, New York, 1992.
6. Departemen Perindustrian, *Standar Industri Indonesia : Mutu dan Cara Uji Bata Merah Pejal*, SII 0021-78, 1978
7. Departemen Pekerjaan Umum, *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung*, 1983.
8. Sunlianto dan Agustino, T., *Aplikasi Konsep Desain Kapasitas pada Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Tembok Pengisi*, Skripsi No. 914S, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Petra, 1999.
9. Departemen Pekerjaan Umum, *Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung*, 1987.