

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menampilkan hasil pengujian karakteristik material bata dan elemen dinding bata yang dilakukan di Laboratorium Rekayasa Struktur Pusat Rekayasa Industri ITB.

4.1. Uji Karakteristik Material Bata

4.1.1. Kuat Tekan Mortar

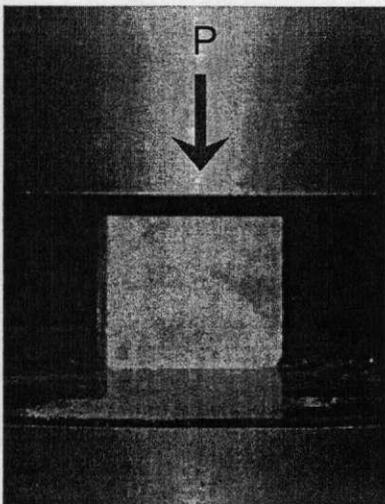
Tiga buah benda uji dibuat untuk mengetahui kuat tekan mortar pada umur 28 hari. Detail benda uji kuat tekan mortar seperti terlihat pada Tabel 5.1. diuji menurut SNI 03-6825-2002.

Tabel 5.1. Detail benda uji kuat tekan mortar

Benda Uji	Semen : Pasir	Kategori	Ukuran mortar			Berat (gram)
			L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	L ₃ (mm)	
1	1:4	Struktural	50	51	50	262.6
2	1:4	Struktural	50	52	50	267.6
3	1:4	Struktural	50	51	51	268.2

Benda uji mortar dengan bentuk kubus berukuran 50mm×50mm×50mm diberi beban tekan monotonik seperti terlihat pada Gambar 5.1 sampai benda hancur. Kuat tekan mortar dalam satuan N/mm² atau MPa diperoleh dari hasil bagi beban tekan maksimum dengan luas penampang kubus. Hasil uji kuat tekan mortar disajikan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil uji kuat tekan mortar

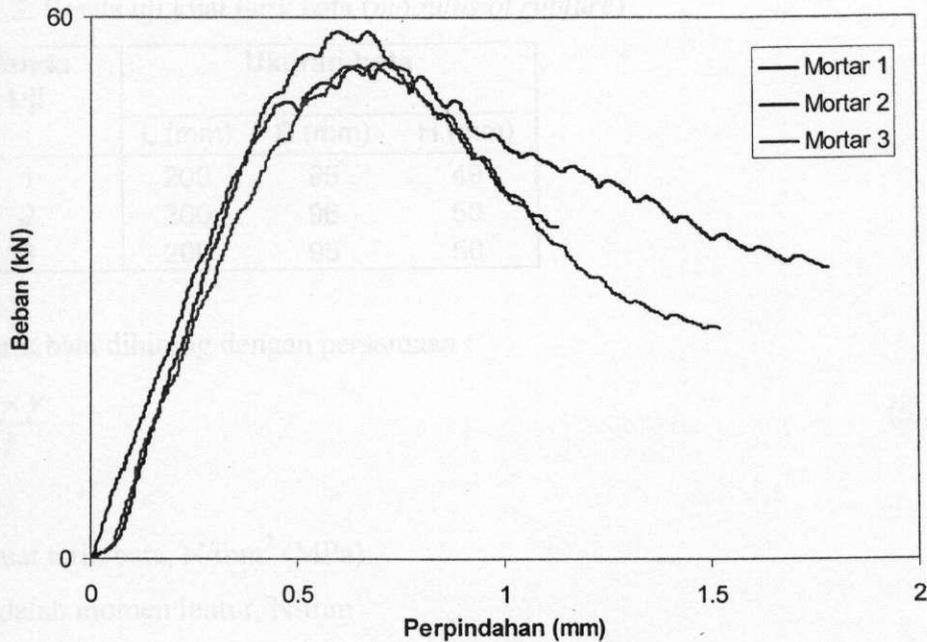


Gambar 5.1 Setting up uji tekan mortar

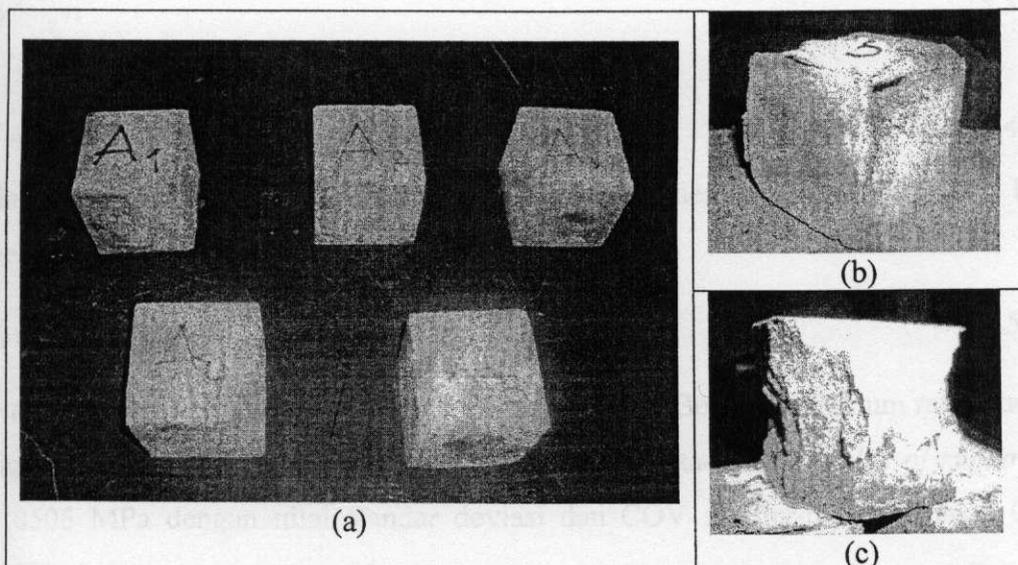
Benda Uji	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan Mortar (MPa)
1	54.8180	21.497
2	58.3658	22.448
3	54.9325	21.542
Rata-rata	56.0388	21.8293
Standar deviasi	2.016	0.537
COV	3.6%	2.5%

Beban maksimum rata-rata untuk ke tiga benda uji mortar adalah 56,0388 kN dan grafik hubungan beban-perpindahan untuk ketiga benda uji disajikan pada Gambar 5.2.

Kuat tekan rata-rata mortar dari ketiga benda uji adalah 21,8293 MPa dengan nilai standar deviasi dan coefficient of variation (COV) masing-masing adalah 0,537 dan 2,5%.



Gambar 5.2. Grafik hubungan beban-perpindahan hasil uji kuat tekan mortar.



Gambar 5.3. Benda uji kuat tekan mortar

4.1.2. Kuat tarik bata (*Modulus of Rupture*) 5.4. Hasil uji kuat tarik bata

Kuat tarik bata ditentukan melalui nilai *modulus of rupture* yang didapatkan dengan meletakkan bata di atas tumpuan sederhana sendi-rol dan diberikan beban titik di tengah-tengah bentang sampai bata hancur/rusak. Detail benda uji tarik bata disajikan pada Tabel 5.3 dan setting up pengujian tarik bata dapat dilihat pada Gambar 5.4.

Tabel 5.3. Benda uji kuat tarik bata (*modulus of rupture*)

Benda Uji	Ukuran bata		
	L (mm)	B (mm)	H (mm)
1	200	95	49
2	200	96	50
3	200	95	50

Kuat tarik bata dihitung dengan persamaan :

$$f_t = \frac{M \times y}{I} \quad (5.1)$$

dengan :

f_t = kuat tarik bata, N/mm² (MPa)

M = adalah momen lentur, N-mm

$$M = \frac{1}{4} P \times L_o \quad (5.2)$$

y = titik berat penampang bata, mm

$$y = \frac{1}{2} h \quad (5.3)$$

I = momen inersia penampang bata, mm⁴

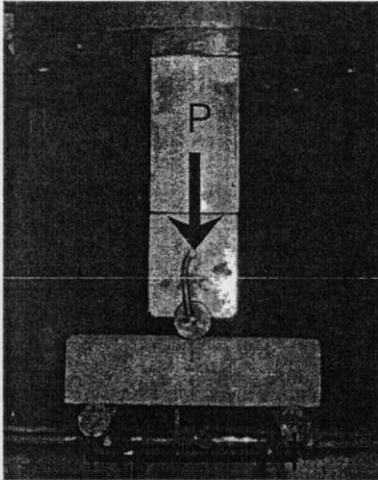
$$I = \frac{1}{12} b \times h^3 \quad (5.4)$$

Setelah mensubstitusikan persamaan (5.2) sampai dengan persamaan (5.4) ke dalam persamaan (5.1) maka akan di dapat :

$$f_t = \frac{3 \times P \times L_o}{2 \times b \times h^2} \quad (5.5)$$

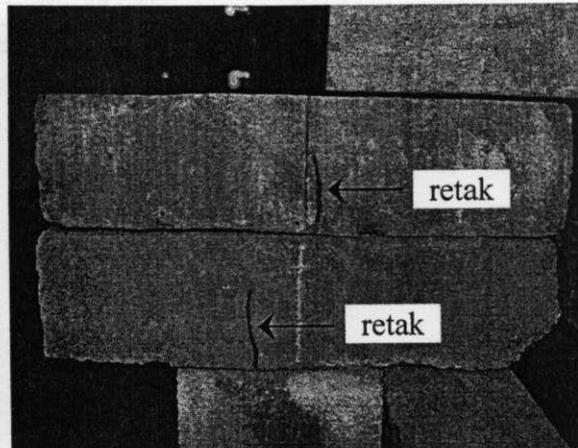
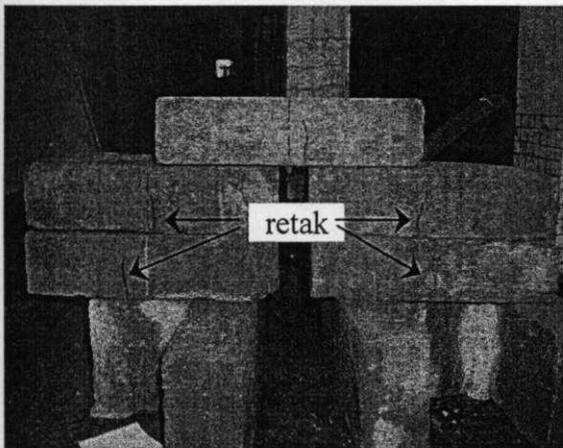
Hasil uji kuat tarik bata dapat dilihat pada Tabel 5.4. Beban maksimum rata-rata untuk ke tiga benda uji adalah 1,03 kN dan kuat tarik bata rata-rata (*modulus of rupture*) adalah 1,0505 MPa dengan nilai standar deviasi dan COV masing-masing adalah 0,033 dan 3,1%.

Tabel 5.4. Hasil uji kuat tarik bata



Gambar 5.4. Setting up uji tarik bata.

Benda Uji	Beban Maksimum	MoR, f_t
	(kN)	(MPa)
1	0.9728	1.024
2	1.0872	1.087
3	1.0300	1.041
Rata-rata	1.0300	1.0505
Standar deviasi	0.057	0.033
COV	5.6%	3.1%



Gambar 5.5. Benda uji kuat tarik bata

4.1.3. Kuat Geser Bata

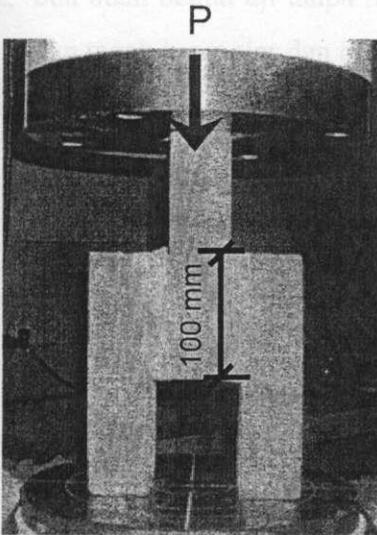
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kuat geser maksimum pada lekatan antara mortar dan bata dengan memberikan beban aksial monotonik. Setting up pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 5.6.

Hasil uji kuat geser bata dapat dilihat pada Tabel 5.6. Beban maksimum rata-rata untuk ke tiga benda uji adalah 0,9537 kN dan kuat geser bata rata-rata adalah 0,0504 MPa dengan nilai standar deviasi dan COV masing-masing adalah 0,010 dan 19,3%.

Tabel 5.5. Benda uji kuat geser bata

Benda Uji	Bidang geser bata	
	a (mm)	b (mm)
1	100	95
2	100	93
3	100	96

Tabel 5.6. Hasil uji kuat geser bata



Gambar 5.6. Setting up uji geser bata.

Benda Uji	Beban Maksimum	Kuat geser bata, τ
	(kN)	(MPa)
1	0.7439	0.039
2	1.0300	0.055
3	1.0872	0.057
Rata-rata	0.9537	0.0504
Standar deviasi	0.184	0.010
COV	19.3%	19.3%

Kelompok	Kategori	Tulangan	Beban
Kelompok I	URM-A	Tidak ada	Aksial tegak lurus silar
	URM-B	Tidak ada	Aksial sejajar silar
Kelompok II	URM-A	Ada	Aksial tegak lurus silar
	URM-B	Ada	Aksial sejajar silar
Kelompok III	URM-C	Tidak ada	Aksial lateral
	URM-G	Ada	Aksial lateral

4.2.1 Benda Uji URM-A

Pengujian yang dilakukan pada benda uji dinding bata URM-A dan URM-B dilakukan untuk mengetahui kemampuan dinding bata dalam menahan gaya tekan (aksial) yang merupakan pemodelan dari beban gravitasi aksial berat sendiri struktur. Pada benda uji URM-A (Gambar 5.7), beban aksial diberikan tegak lurus silar (sambungan antar bata) dan pada benda uji URM-B (Gambar 5.10) beban aksial diberikan sejajar dengan silar. Beban aksial diberikan perlahan-lahan dan pada saat yang bersamaan ditambah besar beban (kN) dan perpindahan yang terjadi (mm) serta kerusakan (retak) yang terjadi.

4.2. Uji Dinding Bata

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku dinding bata tanpa tulangan (*Unreinforced Masonry*, URM) dan dinding bata bertulang (*Reinforced Masonry*, RM) yang terkena beban berupa beban aksial dan kombinasi antara beban aksial dan beban lateral. Untuk keperluan itu, dibuat enam buah dinding bata dengan ukuran 600mm×600mm×95mm dengan rincian sebagai berikut:

- dua buah benda uji tanpa tulangan (URM) dibebani oleh beban aksial sejajar siar dan tegak lurus siar dan diberi kode URM-A dan URM-B
- dua buah benda uji dengan tulangan (RM) dibebani oleh beban aksial sejajar siar dan tegak lurus siar dan diberi kode RM-A dan RM-B
- satu buah benda uji tanpa tulangan dibebani oleh kombinasi aksial+lateral dengan kode URM-C dan satu buah benda uji dengan tulangan dibebani oleh kombinasi aksial+lateral dengan kode RM-C.

Tabel 5.7 Benda uji dinding bata

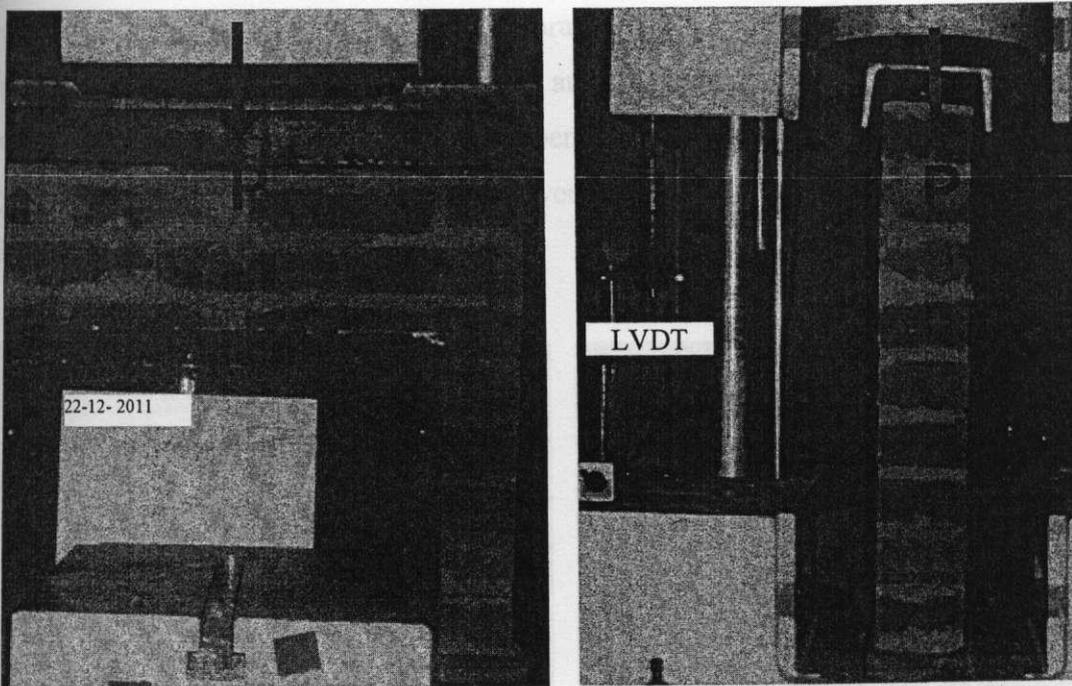
	Kode benda uji	Ukuran benda uji (B×H×T) mm	Tulangan	Beban
Kelompok I	URM-A	600×600×95	Tidak ada	Aksial, tegak lurus siar
	URM-B	600×600×95	Tidak ada	Aksial, sejajar siar
Kelompok II	RM-A	600×600×95	Ada	Aksial, tegak lurus siar
	RM-B	600×600×95	Ada	Aksial, sejajar siar
Kelompok III	URM-C	600×600×95	Tidak ada	Aksial+lateral
	RM-C	600×600×95	Ada	Aksial+lateral

4.2.1 Benda Uji URM-A

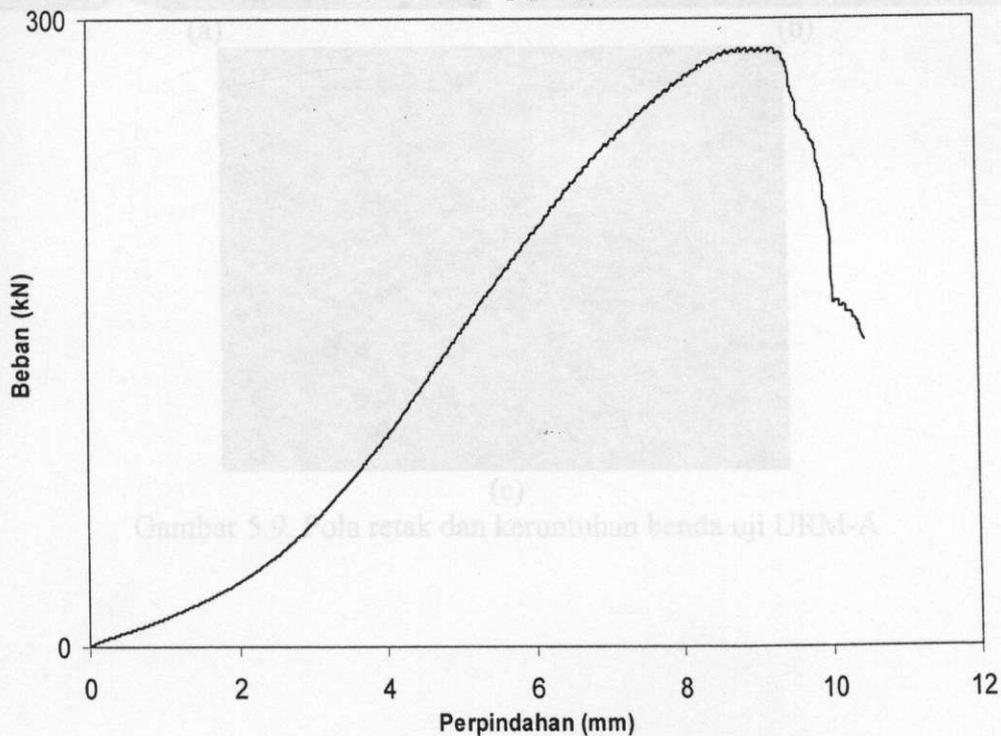
Pengujian yang dilakukan pada benda uji dinding bata URM-A dan URM-B dilakukan untuk mengetahui kemampuan dinding bata dalam menahan gaya tekan (aksial) yang merupakan pemodelan dari beban gravitasi akibat berat sendiri struktur. Pada benda uji URM-A (Gambar 5.7), beban aksial diberikan tegak lurus siar (sambungan antar bata) dan pada benda uji URM-B (Gambar 5.10) beban aksial diberikan sejajar dengan siar.

Beban aksial diberikan perlahan-lahan dan pada saat yang bersamaan diamati besar beban (kN) dan perpindahan yang terjadi (mm) serta kerusakan (retak) yang terjadi.

Grafik hubungan beban-perpindahan hasil pengujian benda uji URM-A dapat dilihat pada Gambar 5.8. Beban maksimum hasil pengujian adalah sebesar 285,82 kN dengan besar defleksi 10,47 mm.

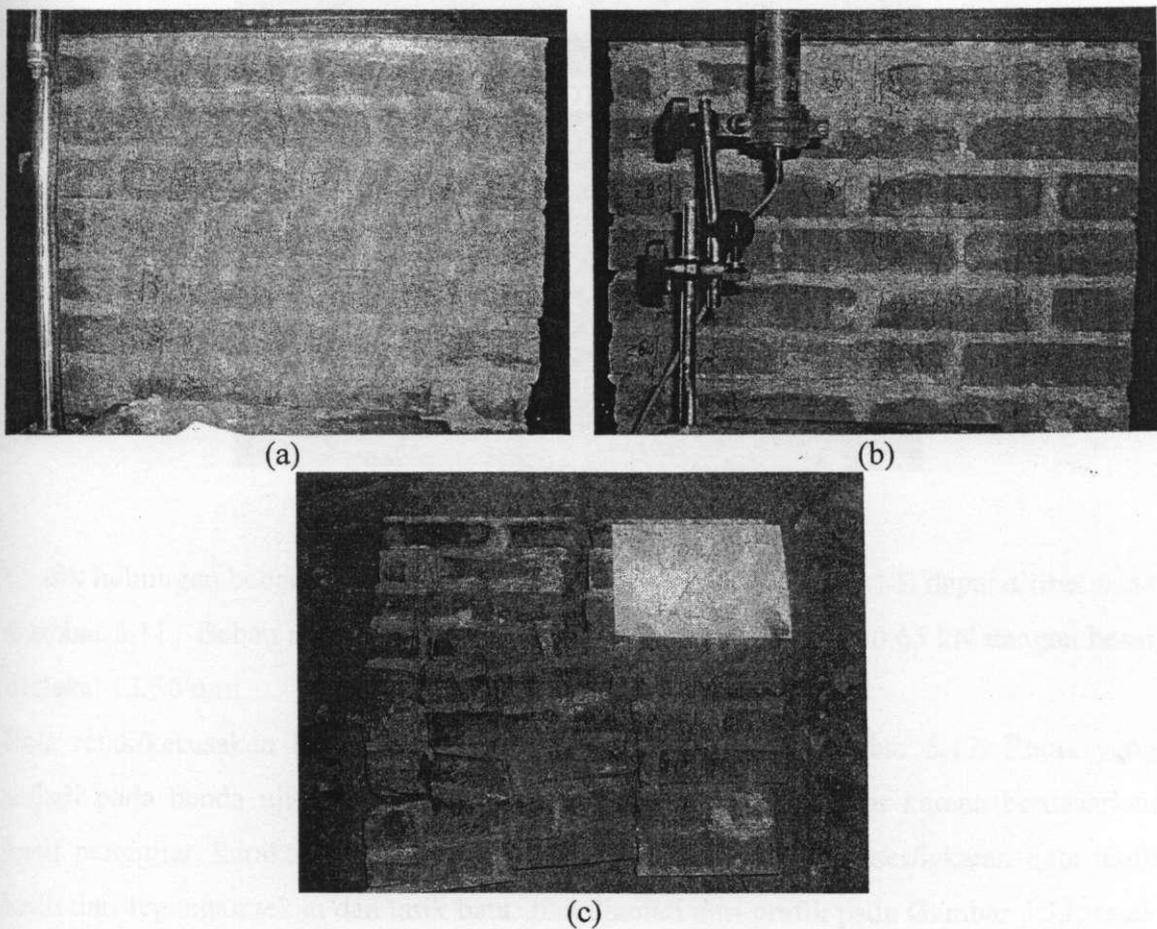


(a) Tampak depan (b) Tampak samping
 Gambar 5.7 Setting up pengujian URM-A



Gambar 5.8 Grafik hubungan Beban-Perpindahan benda uji URM-A

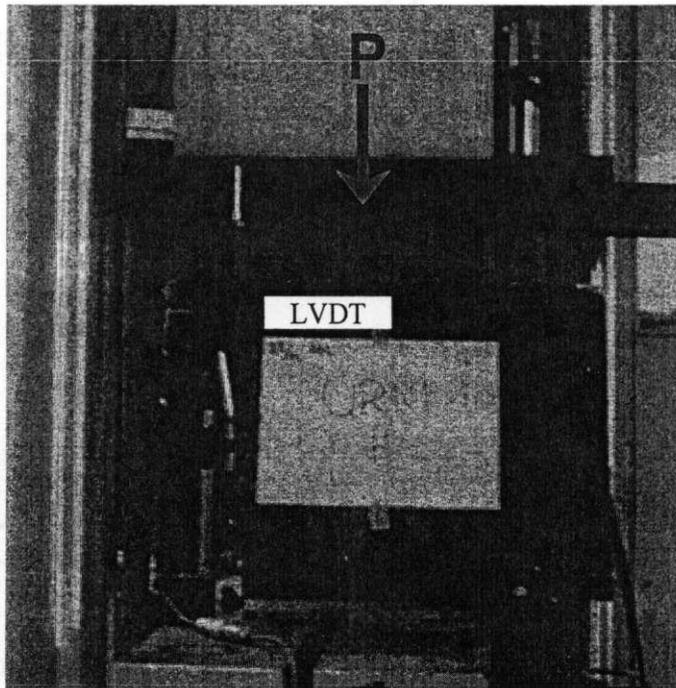
Pada saat pengujian juga diamati retak yang terjadi dan dicatat besar beban pada saat retak tersebut timbul. Pola retak benda uji URM-A dapat dilihat pada Gambar 5.9. Secara umum pola retak yang terjadi menunjukkan pola kerusakan akibat lentur. Hal ini dimungkinkan karena beban diberikan secara vertikal dari atas. Besar beban pada retak pertama adalah 285 kN, terjadi pada bagian atas dinding bata. Retak ini kemudian diikuti oleh retak memanjang pada bagian tengah benda uji pada saat beban 285 kN. Pada beban yang sama terlihat juga retak memanjang vertikal dari sisi atas sampai bawah pada sisi kiri benda uji.



Gambar 5.9. Pola retak dan keruntuhan benda uji URM-A

4.2.2. Benda Uji URM-B

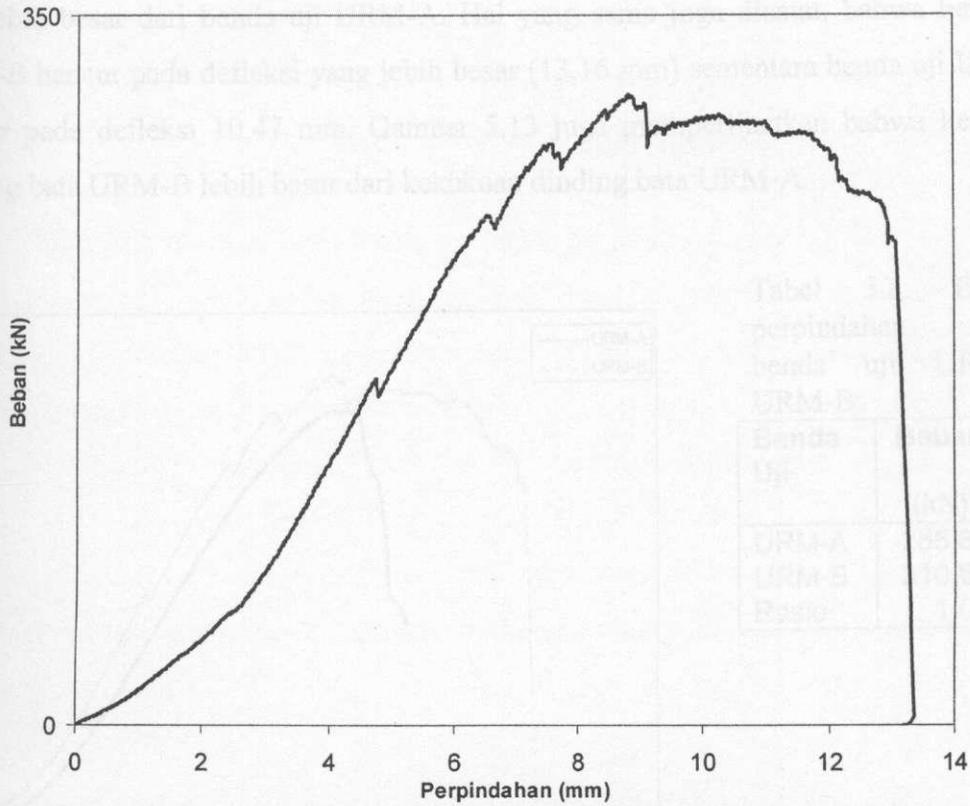
Prosedur dan tatacara pengujian yang dilakukan pada benda uji URM-B sama persis dengan yang dilakukan terhadap pada benda uji URM-A. Perbedaannya adalah pada arah beban aksial yang diberikan. Pada benda uji URM-B beban aksial diberikan sejajar dengan siar bata.



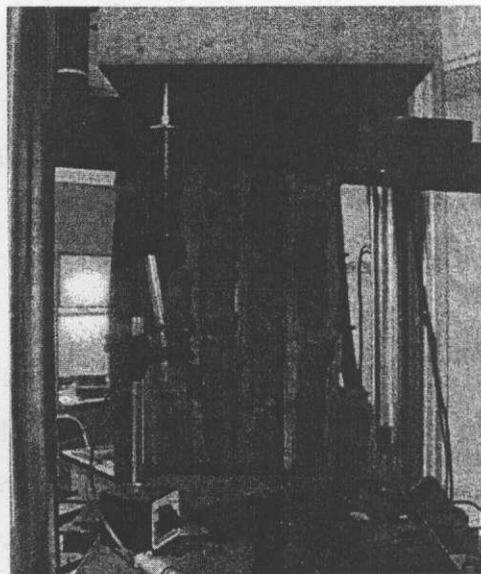
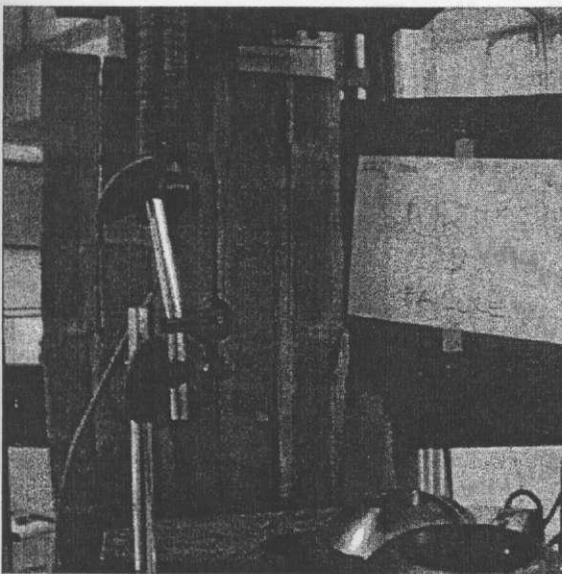
Gambar 5.10 Setting up pengujian URM-B

Grafik hubungan beban-perpindahan hasil pengujian benda uji URM-B dapat dilihat pada Gambar 5.11. Beban maksimum hasil pengujian adalah sebesar 310,65 kN dengan besar defleksi 13,36 mm.

Pola retak/kerusakan benda uji URM-B dapat dilihat pada Gambar 5.12. Retak yang terjadi pada benda uji terjadi pada lapisan siar bata. Hal ini wajar karena berdasarkan hasil pengujian karakteristik material, terlihat bahwa tegangan geser/lekatan bata lebih kecil dari tegangan tekan dan tarik bata. Jika diamati dari grafik pada Gambar 5.11, retak pertama terjadi pada beban 171,3297 kN dan diikuti oleh retak-retak berikutnya pada beban 251,2016 kN. Pada akhir pengujian terlihat bahwa semua siar telah lepas akibat tegangan geser yang terjadi sementara batanya sendiri hampir tidak mengalami kerusakan.

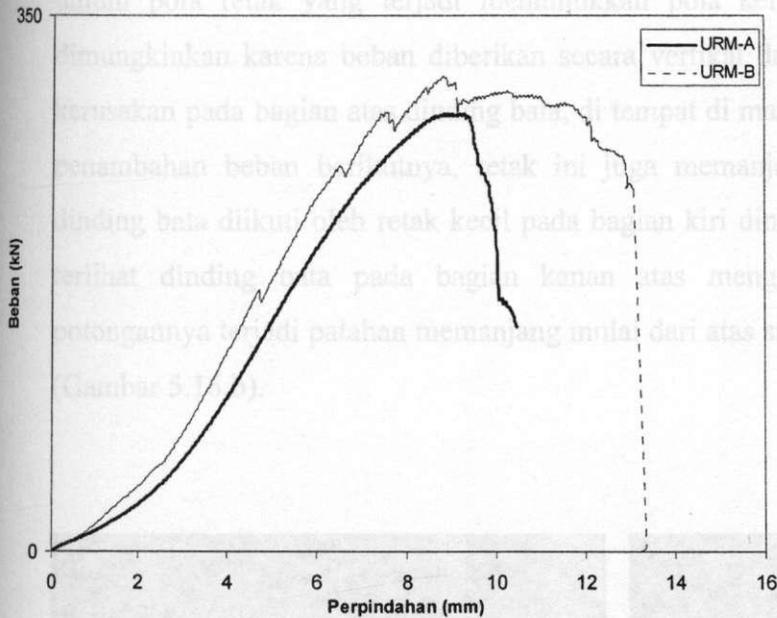


Gambar 5.11 Grafik hubungan Beban-Perpindahan benda uji URM-B



Gambar 5.12. Pola retak dan keruntuhan benda uji URM-B

Jika dilihat hasil perbandingan beban tekan maksimum antara benda uji URM-A dan URM-B pada Tabel 5.8., terlihat bahwa benda uji URM-B dapat menahan beban 1,09 kali lebih besar dari benda uji URM-A. Hal yang sama juga dicatat, bahwa benda uji URM-B hancur pada defleksi yang lebih besar (13,16 mm) sementara benda uji URM-A hancur pada defleksi 10,47 mm. Gambar 5.13 juga memperlihatkan bahwa kekakuan dinding bata URM-B lebih besar dari kekakuan dinding bata URM-A.



Tabel 5.8. Beban dan perpindahan maksimum benda uji URM-A dan URM-B

Benda Uji	Beban (kN)	Perpindahan (mm)
URM-A	285,82	10,47
URM-B	310,65	13,36
Rasio	1,09	1,28

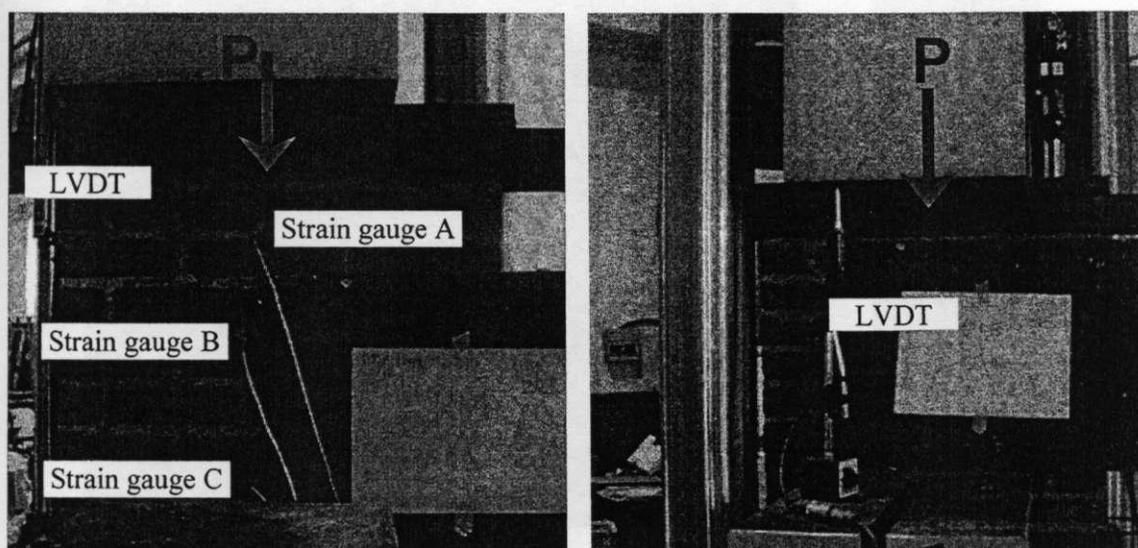
Gambar 5.13 Grafik perbandingan hubungan Beban-Perpindahan benda uji URM-A dan URM-B

4.2.3. Benda Uji RM-A

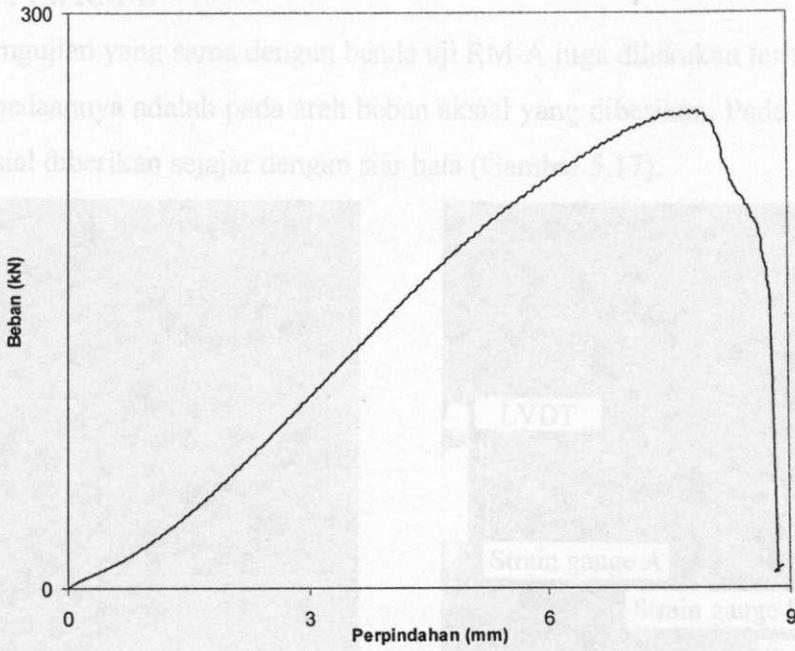
Pengujian yang dilakukan pada benda uji dinding bata RM-A dan RM-B dilakukan untuk mengetahui kontribusi tulangan dalam kemampuan dinding bata untuk menahan gaya tekan (aksial) yang merupakan pemodelan dari beban gravitasi akibat berat sendiri struktur. Pada benda uji RM-A (Gambar 5.14), beban aksial diberikan tegak lurus siar (sambungan antar bata) dan pada benda uji RM-B (Gambar 5.17) beban aksial diberikan sejajar dengan siar.

Beban aksial diberikan perlahan-lahan dan pada saat yang bersamaan diamati besar beban (kN) dan perpindahan yang terjadi (mm) serta kerusakan (retak) yang terjadi. Grafik hubungan beban-perpindahan hasil pengujian benda uji RM-A dapat dilihat pada Gambar 5.15. Beban maksimum hasil pengujian adalah sebesar 248,23 kN dengan besar defleksi 8,91 mm.

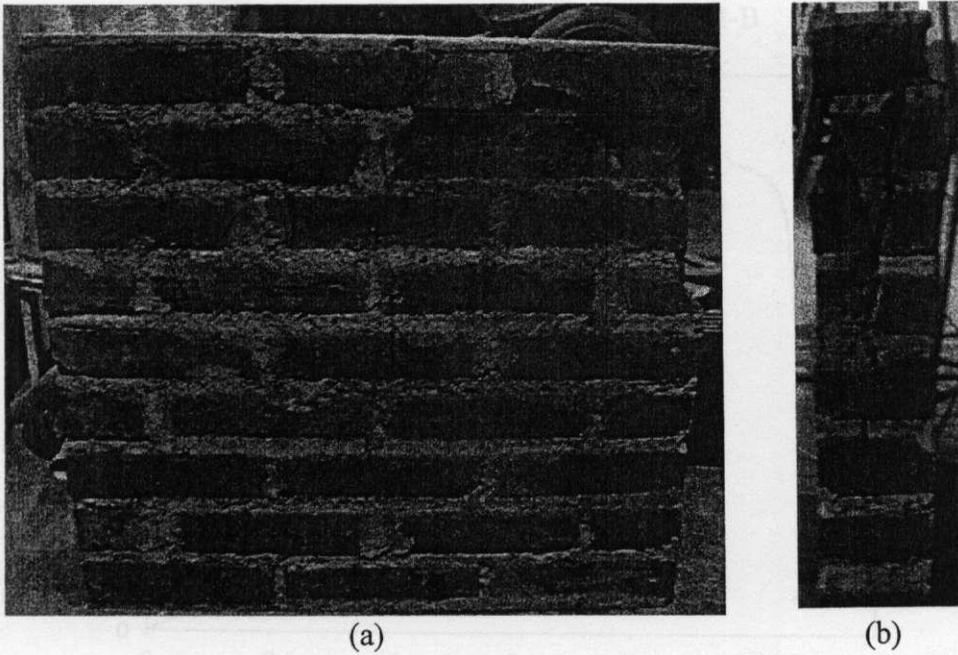
Pada saat pengujian juga diamati retak yang terjadi dan dicatat besar beban pada saat retak tersebut timbul. Pola retak benda uji RM-A dapat dilihat pada Gambar 5.16. Secara umum pola retak yang terjadi menunjukkan pola kerusakan akibat lentur. Hal ini dimungkinkan karena beban diberikan secara vertikal dari atas. Pada benda uji terjadi kerusakan pada bagian atas dinding bata, di tempat di mana beban aksial bekerja. Akibat penambahan beban berikutnya, retak ini juga memanjang vertikal ke bagian bawah dinding bata diikuti oleh retak kecil pada bagian kiri dinding bata. Pada akhir pengujian, terlihat dinding bata pada bagian kanan atas mengelupas dan jika dilihat pada potongannya terjadi patahan memanjang mulai dari atas sampai ke bagian tengah dinding (Gambar 5.16.b).



Gambar 5.14. Setting up pengujian RM-A



Gambar 5.15. Grafik hubungan Beban-Perpindahan benda uji RM-A

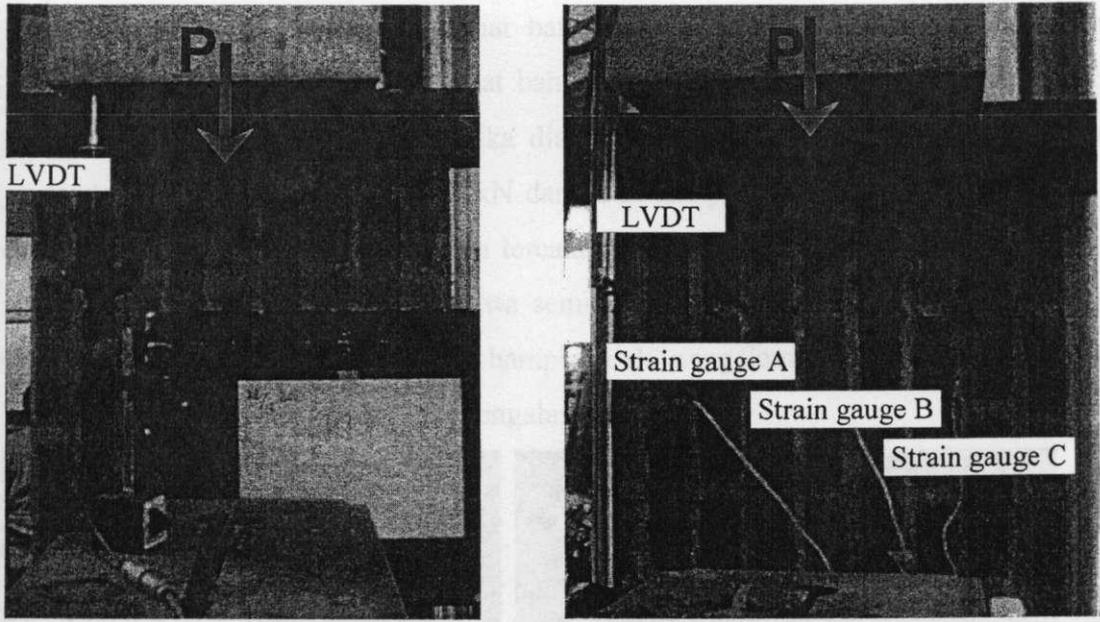


Gambar 5.16 Pola retak dan keruntuhan benda uji RM-A

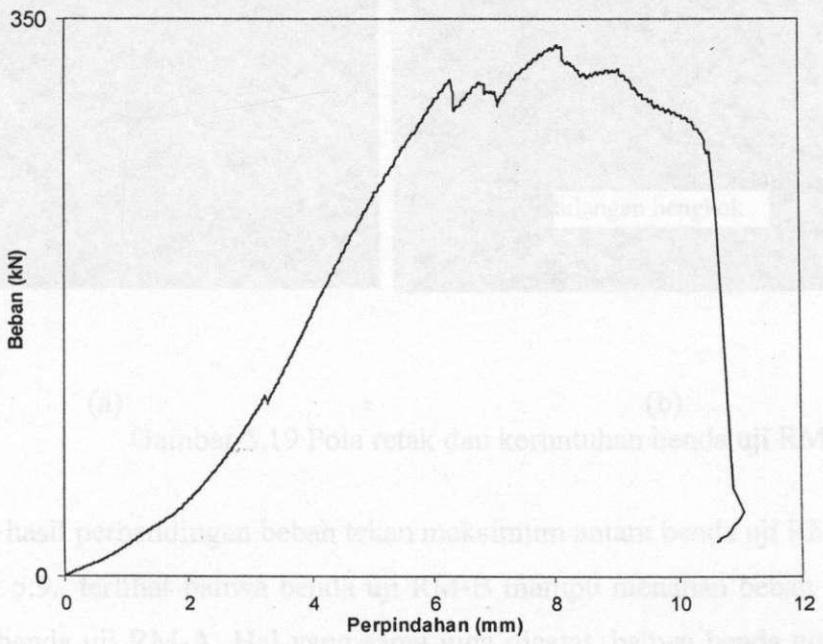
Gambar 5.18. Grafik hubungan Beban-Perpindahan benda uji RM-B

4.2.4. Benda Uji RM-B

Prosedur pengujian yang sama dengan benda uji RM-A juga dilakukan terhadap benda uji RM-B. Perbedaannya adalah pada arah beban aksial yang diberikan. Pada benda uji RM-B beban aksial diberikan sejajar dengan siar bata (Gambar 5.17).



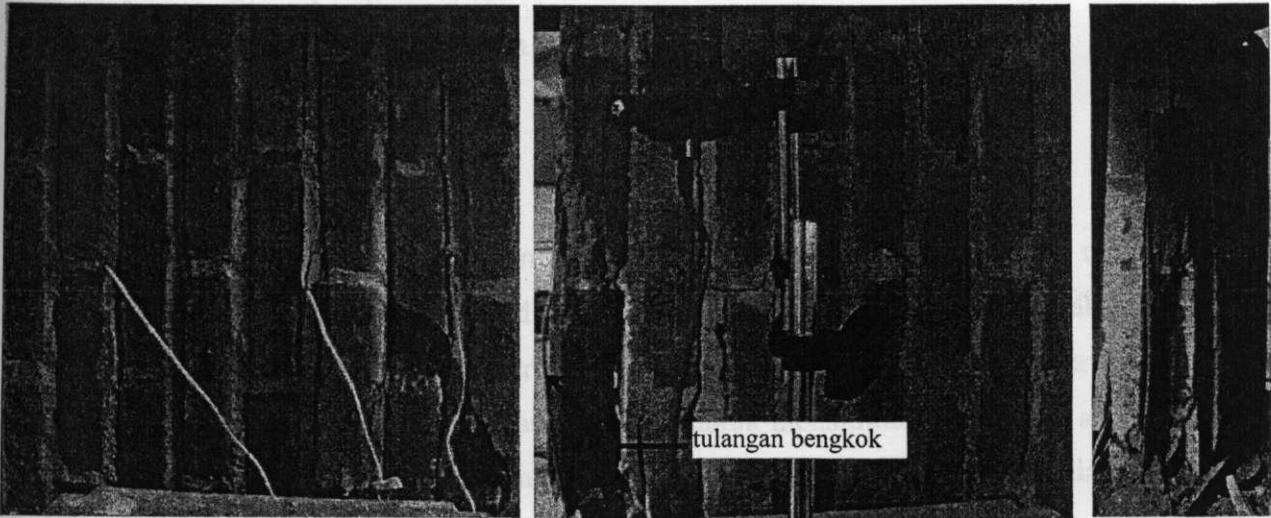
Gambar 5.17. Setting up pengujian RM-B



Gambar 5.18. Grafik hubungan Beban-Perpindahan benda uji RM-B

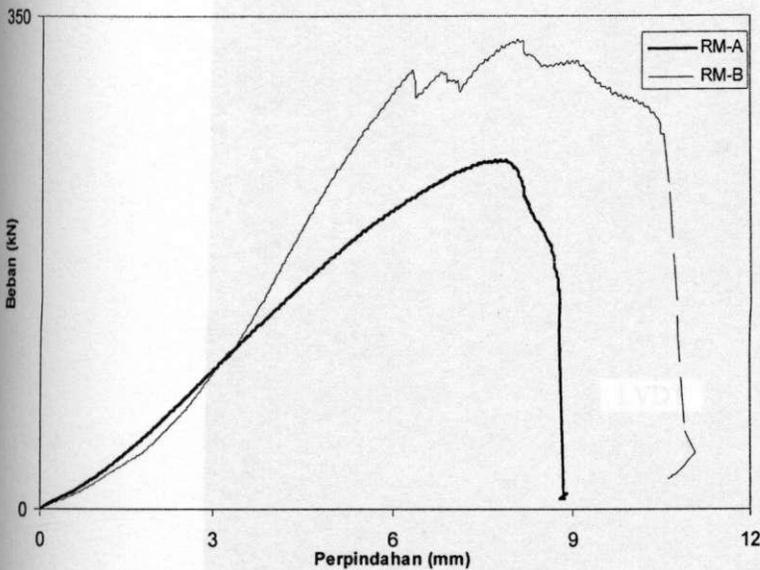
Grafik hubungan beban-perpindahan hasil pengujian benda uji RM-B dapat dilihat pada Gambar 5.18. Beban maksimum hasil pengujian adalah sebesar 333,83 kN dengan besar defleksi 11,07 mm.

Pola retak/kerusakan benda uji RM-B dapat dilihat pada Gambar 5.19. Retak yang terjadi pada benda uji terjadi pada lapisan siar bata. Hal ini wajar karena berdasarkan hasil pengujian karakteristik material, terlihat bahwa tegangan geser/lekatan bata lebih kecil dari tegangan tekan dan tarik bata. Jika diamati dari grafik pada Gambar 5.18, retak pertama terjadi pada beban 312,6001 kN dan pada tahap pembebanan berikutnya, retak pada tempat yang sama membesar dan tercatat pada beban yang lebih rendah 308,0797 kN. Pada akhir pengujian terlihat bahwa semua siar telah lepas akibat tegangan geser yang terjadi sementara batanya sendiri hampir tidak mengalami kerusakan. Terlihat juga bahwa tulangan yang terpasang juga mengalami leleh.



(a) (b) (c)
Gambar 5.19 Pola retak dan keruntuhan benda uji RM-B

Jika dilihat hasil perbandingan beban tekan maksimum antara benda uji RM-A dan RM-B pada Tabel 5.9., terlihat bahwa benda uji RM-B mampu menahan beban 1,34 kali lebih besar dari benda uji RM-A. Hal yang sama juga dicatat, bahwa benda uji RM-B hancur pada defleksi yang lebih besar (11,07 mm) sementara benda uji RM-A hancur pada defleksi 8,91 mm. Gambar 5.20 juga memperlihatkan bahwa kekakuan dinding bata RM-B lebih besar dari kekakuan dinding bata RM-A.



Tabel 5.9. Beban dan perpindahan maksimum benda uji RM-A dan RM-B

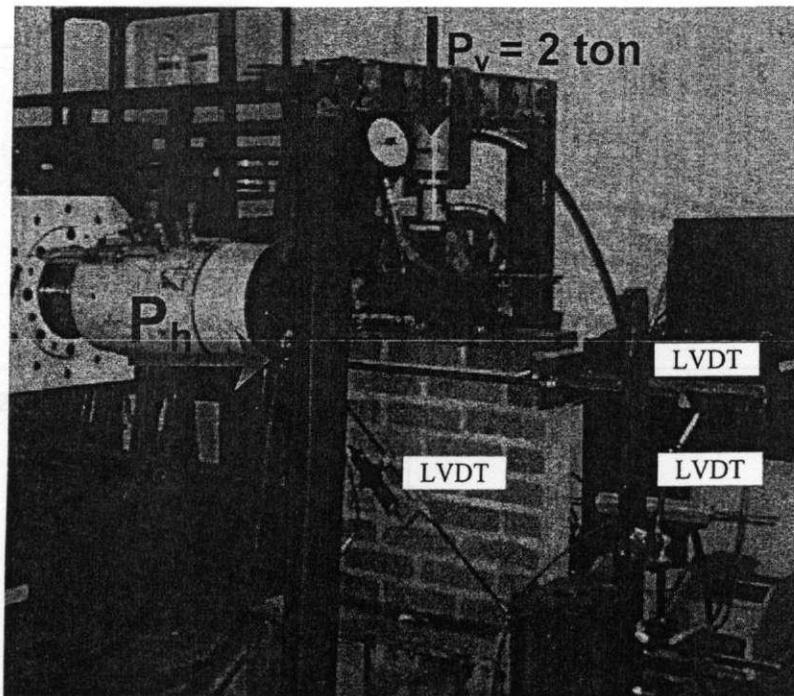
Benda Uji	Beban (kN)	Perpindahan (mm)
RM-A	248,23	8,91
RM-B	333,83	11,07
Rasio	1,34	1,24

Gambar 5.20 Grafik perbandingan hubungan Beban-Perpindahan benda uji RM-A dan RM-B

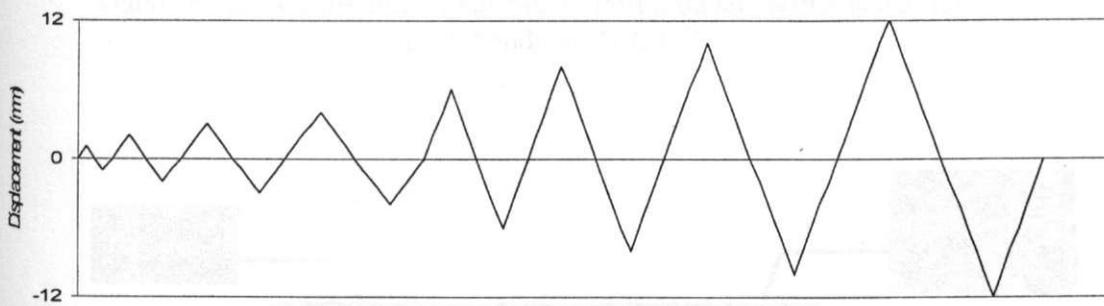
4.2.5. Benda Uji URM-C

Pengujian yang dilakukan pada kelompok benda uji ke tiga ini dilakukan untuk mengetahui perilaku dan kemampuan dinding bata untuk menahan gaya tekan (aksial) dan gaya lateral. Gaya aksial yang diberikan merupakan pemodelan dari beban gravitasi akibat berat sendiri struktur dan gaya lateral adalah untuk mensimulasikan beban akibat gempa. Ada dua benda uji yang diamati, yaitu URM-C (Gambar 5.21) adalah dinding bata polos tanpa tulangan dan RM-C adalah dinding bata yang diberi tulangan pada setiap lapisan siar.

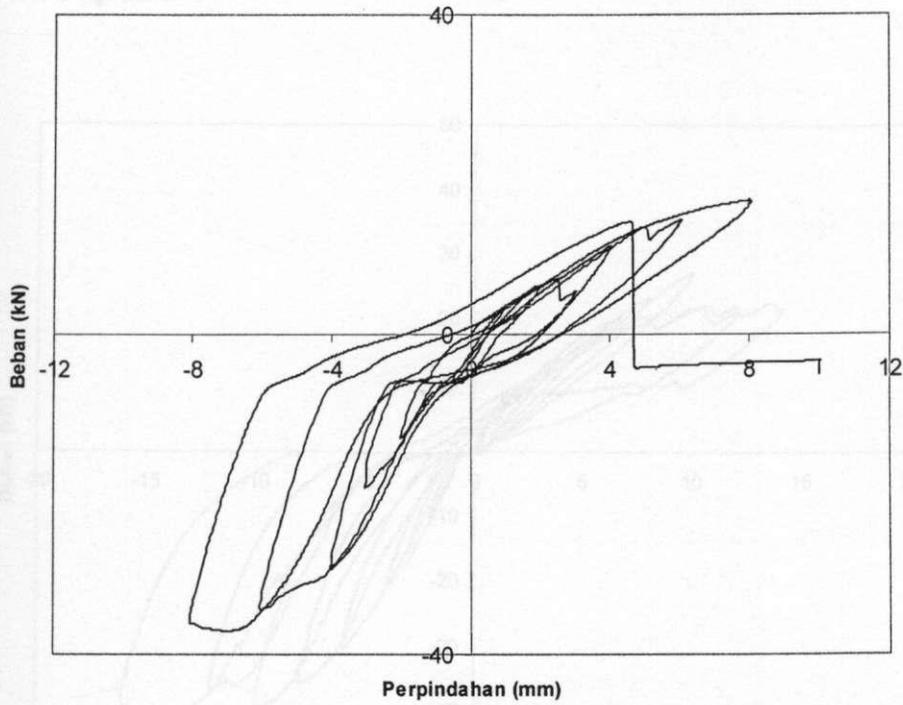
Setting up pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.21. Beban aksial tetap 2 ton (20 kN) diberikan sebelum beban lateral bekerja. Beban lateral yang merupakan pemodelan beban gempa diberikan pada sisi atas dinding bata dalam bentuk simpangan (*displacement controlled*). Model beban lateral yang diberikan dapat dilihat pada Gambar 5.22.



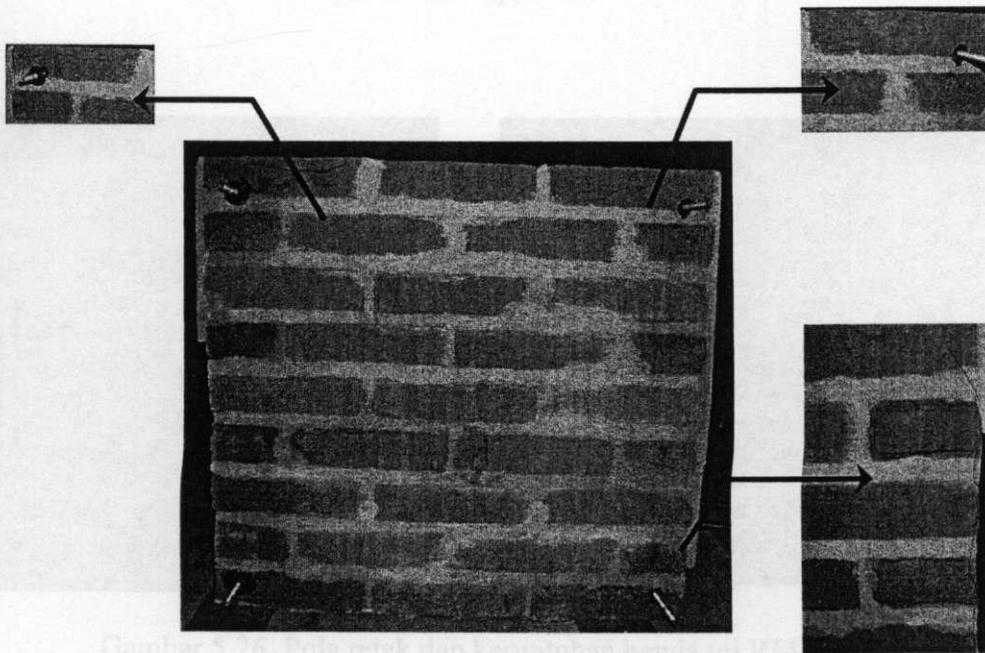
Gambar 5.21. Setting up pengujian URM-C dan RM-C



Gambar 5.22. Loading history pada pembebanan lateral benda uji URM-C dan RM-C

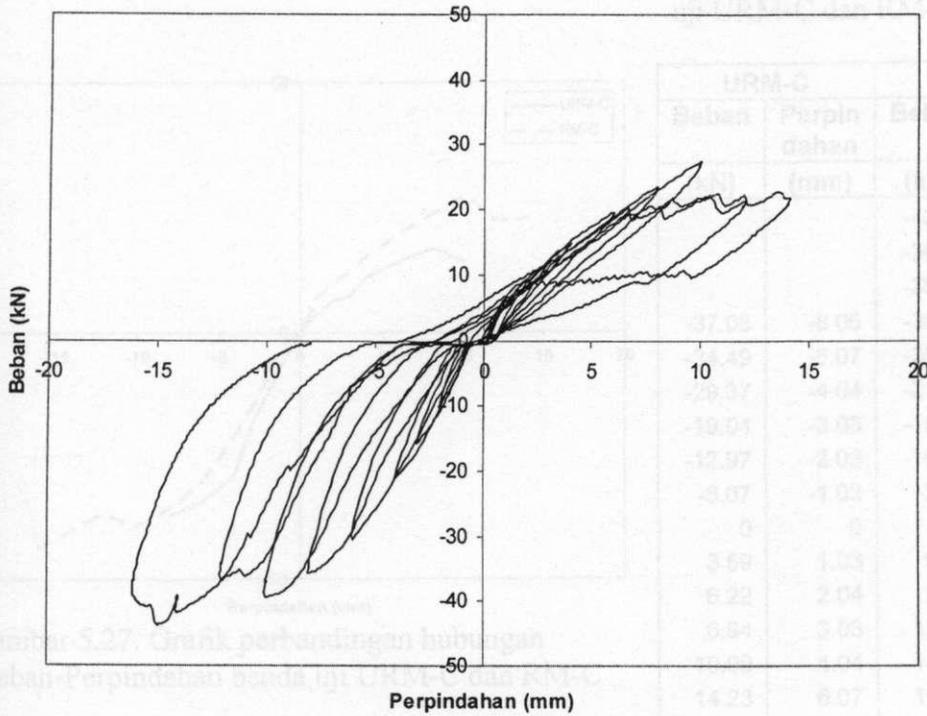


Gambar 5.23. Grafik hubungan Beban-Perpindahan akibat beban lateral pada benda uji URM-C

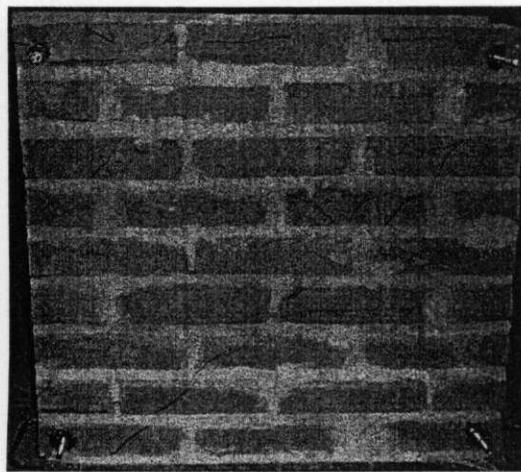
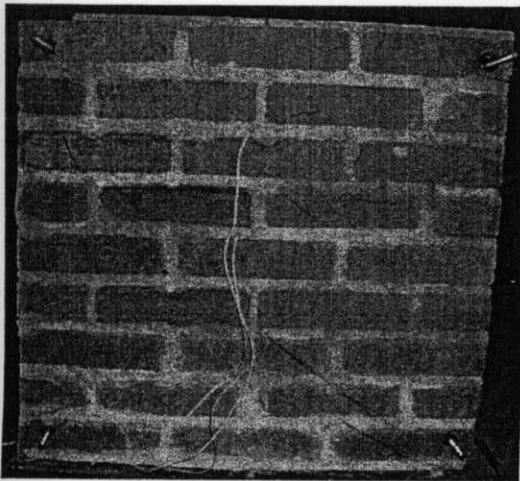


Gambar 5.24. Pola retak dan keruntuhan benda uji URM-C

4.2.6. Benda uji RM-C



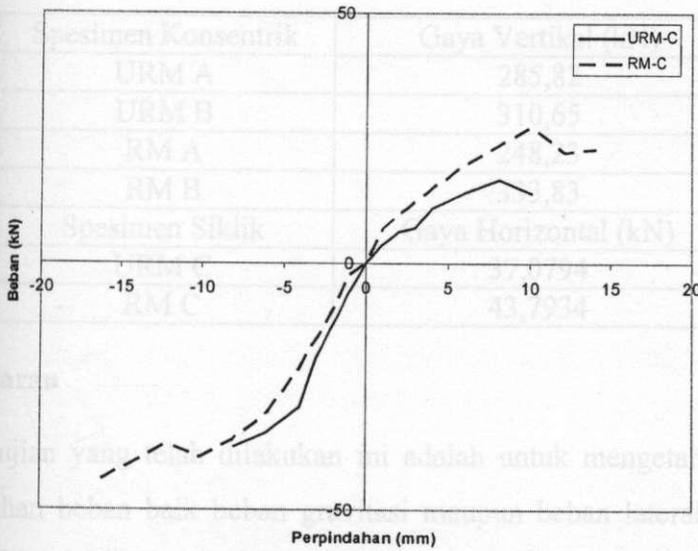
Gambar 5.25. Grafik hubungan Beban-Perpindahan akibat beban lateral pada benda uji RM-C



Gambar 5.26. Pola retak dan keruntuhan benda uji RM-C

BAB IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Tabel 5.10. Beban dan perpindahan maksimum benda uji URM-C dan RM-C



Gambar 5.27. Grafik perbandingan hubungan Beban-Perpindahan benda uji URM-C dan RM-C

URM-C		RM-C	
Beban (kN)	Perpindahan (mm)	Beban (kN)	Perpindahan (mm)
		-43.79	-16.08
		-36.62	-12.08
		-39.44	-10.06
-37.08	-8.06	-35.78	-8.06
-34.49	-6.07	-30.59	-6.03
-29.37	-4.04	-21.36	-4.04
-19.04	-3.03	-15.87	-3.04
-12.97	-2.03	-10.11	-2.03
-6.07	-1.03	-2.59	-1.01
0	0	0	0
3.59	1.03	6.56	1.03
6.22	2.04	9.46	2.04
6.94	3.03	12.21	3.02
10.99	4.04	14.95	4.04
14.23	6.07	19.53	6.05
16.75	8.07	23.58	8.06
14.04	10.06	27.39	10.07
		22.20	12.09
		22.77	14.08