

# STUDI EKSPERIMENTAL KINERJA STRUKTURAL BETON RINGAN AERASI (AUTOCLAVED AERATED CONCRETE) DENGAN VARIASI THIN BED MORTAR

Endaryanta<sup>1</sup>, Faqih Ma'arif<sup>2</sup>, Imam Muchoyar<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, FT - UNY

## ABSTRACT

*This research aims to know the performance of the Autoclaved Aerated Concrete (AAC) wall using thin bed mortar. The specimen made of Autoclaved Aerated Concrete Wall, with 100x100x200mm in dimension. The test of specimen consist of compressive strength, shear strength and flexural strength. The test results shows that the compressive strength of powerbond and citicon are 3.13MPa and 2.61 MPa. The amount of compressive strength of thin bed mortar on water cement ratio 0.15; 0.20 and 0.25 were 2.85MPa; 2.78MPa and 3.08MPa respectively. Compressive strength for three layer konvensional mortar with proportion mix 1:4; 1:5; and 1:6; were 2.23MPa, 2.04MPa and 2.28MPa respectively. Shear strength with water cement ratio 0.15; 0.20; 0.25 were the result 0.49MPa; 0.55MPa and 0.56MPa respectively. Crack pattern results are combination failure, the water cement ratio effective is 0.25; and effective of proportion mix is 1:5; with 0.9 water cement ratio.*

**Keyword:** Autoclaved Aerated Concrete, proportion mix, water cement ratio

## PENDAHULUAN

Inovasi teknologi bahan bangunan pada masa sekarang ini semakin beragam, diawali dengan adanya pengganti batu bata (dari tanah liat) menjadi dinding ringan aerasi (hebel), bata foam; penutup atap yang tidak lagi menggunakan kayu sebagai kuda-kuda beserta reng dan usuknya yang sekarang sedang mengarah ke tren struktur baja ringan sebagai pengganti bahan kayu, plat lantai yang digantikan dengan panel dinding aerasi dan pelat bondek dari material baja.

Secara lebih khusus pada dinding, dimasa lampau masyarakat lebih familiar menggunakan material seperti batu bata dan batako, akan tetapi saat ini dengan adanya perkembangan teknologi bahan bangunan yang semakin pesat, tren masyarakat lebih cenderung memilih bahan bangunan dengan massa ringan seperti beton ringan aerasi (*Aerated Lightweight Concrete/ALC*) atau sering disebut juga (*Autoclaved Aerated Concrete*). Sebutan lainnya Autoclaved Concrete, Cellular Concrete, Porous Concrete, di Inggris disebut Aircrete and Thermalite. Sebenarnya beton ringan aerasi dikenal pertama kalinya di Eropa di Negara Swedia pada tahun 1923 sebagai bahan bangunan alternatif untuk mengurangi penggundulan hutan, kemudian pada tahun 1943 di Jerman dikembangkan oleh Joseph Hebel, di Indonesia sendiri baru dikenal sejak tahun 1995 dan semakin populer di tahun 2006 setelah gempa bumi di daerah istimewa Yogyakarta (Suara Merdeka, 2006).

Hebel atau beton ringan aerasi untuk bahan adonannya antara lain terdiri dari pasir kwarsa, semen, kapur, sedikit gypsum, air, dan aluminium pasta sebagai bahan pengembang (pengisi udara secara kimiawi). Setelah adonan tercampur sempurna, nantinya akan mengembang selama 7-8 jam. Aluminium pasta yang

digunakan dalam adonan tadi, selain berfungsi sebagai pengembang ia berperan dalam mempengaruhi kekerasan beton. Volume aluminium pasta ini berkisar 5-8 persen dari adonan yang dibuat, tergantung kepadatan yang diinginkan. Adonan beton aerasi ini lantas dipotong sesuai ukuran untuk panel dinding, pelat, tangga dan lain sebagainya ([www.hebel.co.id](http://www.hebel.co.id)).

Produk beton ringan aerasi mempunyai dimensi 20x60x10cm atau tebalnya dapat lebih kecil sedikit. Dalam penggunaan bata sebagai penutup dinding biasa digunakan kurang lebih sekitar 85 buah. Untuk produk powerblock rata-rata digunakan sebanyak 8,5 buah. Sedangkan untuk batu bata terdiri atas jenis bata tanah liat atau lempung, bata pasir, kapur, dan bata mortar. Dari segi pembuatannya, ada batu bata merah konvensional dan bata press. Besarnya dimensi batu bata pada umumnya berkisar 25x12x4,5cm atau lebih kecil beberapa cm dari produk beton ringan aerasi.

Pada kasus bangunan gedung, produsen selalu "menganggap" bahwa salah satu produk beton aerasi yang berupa bata ringan mengirit pemakaian semen (semen instan/*mortar powerbond*), karena untuk pasangan bata-nya cukup dengan tebal lapisan mortar 0,5cm ditambah ukurannya yang besar (60cmx20cm). Anggapan tersebut dapat diterima untuk pasangan dinding bata ringan aerasi sebagai partisi. Tetapi bila pada suatu pekerjaan konstruksi menghendaki bagian dinding tersebut adalah struktur bangunan, Anggapan diatas masih perlu dikaji ulang kehandalannya. Terutama tentang daya lekat mortar powerbond, modulus elastisitas mortar, tegangan geser, tegangan tekan, lentur, kapasitas geser, kapasitas lentur pasangan dan lain sebagainya. Sampai saat ini belum ada uji kepakaran yang valid terhadap anggapan tersebut.

Mengaplikasikan bata ringan aerasi pada bagian dinding struktur dengan teknik pengerjaan dinding partisi, dapat berisiko tinggi terhadap kekuatan struktur bangunan. Pasangan semen instan (*powerbond*) dengan tebal 0,5cm pada bagian dinding struktur, masih diragukan kekuatannya. Pasangan mortar semen (*powerbond*) yang tipis menghasilkan dinding struktur yang rentan terhadap tekanan/gaya horisontal, meskipun manual dari produk sendiri menyatakan bahwa kekuatannya cukup besar dibandingkan dengan mortar biasa. Bahasa kasar tukang tradisional-nya "ketabrak badan saja bata bata ringan aerasi bisa lepas".

Keraguan penggunaan pasangan dinding bata ringan aerasi semakin meluas, termasuk juga, teknik pengerjaan kolom. Apabila proses pelaksanaannya meniru teknik pengerjaan dinding batu bata ke bata ringan saat pengerjaan kolom sangatlah berisiko. Perlu diketahui, dinding batu bata dirancang memiliki ketebalan 15cm. Batu bata dengan tebal 9cm, plester/aci kiri kanan 5-6cm. Sehingga, bila pengecoran kolom berbarengan dengan pemasangan batubata, diharapkan ketebalan kolom menjadi sama dengan dinding, yaitu 15cm (cor kolom beton praktis+plesteran), merupakan suatu ketebalan kolom struktur yang cukup untuk rumah tidak bertingkat.

Berbeda dengan dinding partisi, seharusnya, kolom dicetak/dicor terlebih dahulu dengan spesifikasi yang sesuai. Mengecor kolom berbarengan dengan pasangan dinding bata ringan aerasi, apalagi pada pasangan dinding bata ringan aerasi dengan tebal 10cm, akan menghasilkan ketebalan kolom 10cm. Kolom setebal ini tidak memadai sebagai kolom struktur, hanya memadai sebagai kolom pembantu. Selain itu, karena sifatnya yang lunak berisiko tinggi bila dinding bata ringan diekspos (tanpa diplester/aci).

Rumah sederhana/bangunan lebih dari 2 lantai yang menggunakan material partisi seharusnya dibangun dengan prinsip kerja yang sesuai, yaitu kolom harus dibangun dengan teknik kerja, spesifikasi, dan ukuran yang sesuai, misalnya kolom

harus di cetak/dicor dengan semestinya. Menggunakan material dinding yang lebih cocok sebagai partisi, pada bagian bangunan yang membutuhkan unsur struktur, sangat berbahaya.

Berdasarkan permasalahan yang berkaitan dengan beton ringan (*autoclaved aerated concrete*) terutama pada bagian non-struktur seperti dinding, maka penelitian ini perlu dilakukan untuk menguji keandalan dan meyakinkan kualitas produk beton ringan (bata ringan) yang sekarang sedang berkembang di masyarakat luas.

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat dirumuskan suatu permasalahan sebagai berikut: (a) Berapakah besarnya kapasitas beban dinding ringan aerasi (AAC)?; (b) Berapakah besarnya tegangan tekan *thin bed mortar* dinding aerasi (AAC)?; (c) Berapakah besarnya tegangan tekan dan tarik pasangan *thin bed mortar* dan mortar konvensional?; (d) Berapakah besarnya tegangan lentur pasangan dinding AAC *thin bed mortar*?; (e) Bagaimanakah pola kerusakan yang terjadi akibat gaya tekan, lentur, dan tarik struktur dinding aerasi?; (f) Berapakah f.a.s *thin bed mortar* efektif dan perbandingan volume efektif berdasarkan hasil pengujian pasangan dinding beton aerasi (AAC)?

## LANDASAN TEORI

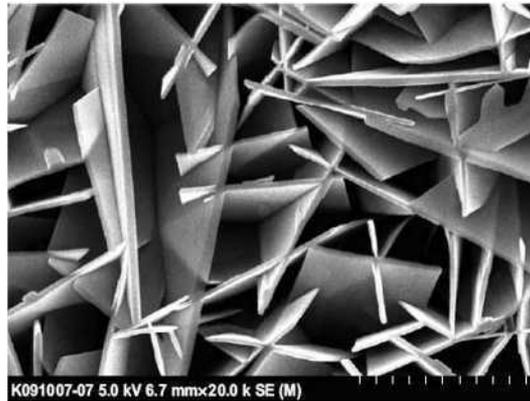
### Beton ringan aerasi

N. Narayanan, K. dan Ramamurthy (2001) Meneliti tentang properties material beton ringan aerasi (*autoclaved aerated concrete*) secara fisik di laboratorium dilihat dari (microstruktur, kerapatan), kandungan kimia, sifat mekanik (kuat tekan, tarik, modulus elastisitas, berat jenis kering) dan secara fungsi sebagai (isolasi panas, kelembaban, durabilitas, ketahanan terhadap isolasi suara dan api. Hasil pengujian menunjukkan bahwa besarnya rasio pengujian tarik berkisar antara 10%-15%, sedangkan untuk kuat tekan dan lentur berkisar antara 0,22-0,27. Modulus rupture beton aerasi didapatkan formula  $MOR = 0,27 + 0,21_{f_{ct}}$ , dimana  $f_{ct}$  = kuat tekan dalam (MPa), akibat durabilitas sangat disarankan tidak terkena lingkungan korosif, dikarenakan beton ringan aerasi mempunyai porositas tinggi dan daya absorpsi lebih besar dibandingkan dengan beton normal, beton ringan aerasi mempunyai ketahanan yang baik terhadap api dibandingkan dengan beton normal atau beton non-aerasi.

Tabel 6. Material properties hasil pengujian beton ringan aerasi

Dry density (kg/m <sup>3</sup> )	Compressive strength (MPa)	Static modulus of elasticity (kN/mm <sup>2</sup> )	Thermal conductivity (W/m°C)
400	1.3-2.8	0.18-1.17	0.07-0.11
500	2.0-4.4	1.24-1.84	0.08-0.13
600	2.8-6.3	1.76-2.64	0.11-0.17
700	3.9-8.5	2.42-3.58	0.13-0.21

Jun Kikuma (2009) meneliti tentang studi formasi beton ringan aerasi (AAC) dengan menggunakan sinar X (X-ray) pada kondisi *hydrothermal*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa hasil analisis kimia tubermorite via *non-crystalline* C-S-H adalah *Non-crystalline* C-S-H ( $x\text{CaO} \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$ ) + Quartz ( $\text{SiO}_2$ ) → □ *Tobermorite* ( $5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ). Analisis senyawa *hydroxyllellstadite* menghasilkan (HE:  $\text{Ca}_{10}(\text{SiO}_4)_3(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_2$ ).



Gambar 3. SEM image of platy crystals of tobermorite skala 0.2  $\mu\text{m}$   
(Sumber: Jun Kikuma, 2009)

Hasil penelitian terbaru dari kedua senyawa tersebut pada beton ringan aerasi adalah kombinasi antara tingginya daya transmisi XRD dapat digunakan untuk analisis reaksi *hydrothermal*, dengan menggunakan CCD atau *phonton-counting pixel array detector*.

### Pengujian kuat tekan dinding aerasi

N. Arreshvhina<sup>1</sup>, et. al (2006) menguji kuat tekan beton ringan aerasi pada berbagai umur, hasil pengujiaannya ditunjukkan pada Tabel 7 di bawah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan yang direndam dengan air laut hasilnya lebih rendah dibandingkan dengan yang direndam di air biasa.

Tabel 7. Hasil pengujian kuat tekan AAC

Age	Compressive Strength (MPa)					
	MCTR			M65		
	Air	Seawater	Nat. weather	Air	Seawater	Nat. weather
14 days	8.92	7.66	10.19	10.52	8.65	10.96
28 days	11.93	8.27	11.14	12.84	10.39	11.85
90 days	12.22	8.94	11.85	15.88	12.22	14.12
180 days	13.68	6.02	12.63	16.89	9.82	16.87

Yothin Ungkoon, et. Al (2007) menganalisis tentang material mikrostruktur beton ringan aerasi (*autoclaved aerated concrete*) pada konstruksi dinding dengan menggunakan optikal mikroskop dan scanning electron mikroskopis (SEM), kemudian hasil analisis reaksi kimiawi didapatkan dari data gelombang X-ray (XRD). Pengujian dilakukan dengan membandingkan pasangan dinding menggunakan AAC dan pasangan dinding biasa. Secara umum, material tubermorit dengan orthorhombic dapat distabilkan dengan menggunakan reaksi kimia Ca/Si dari 0.8 s.d 1 dan suhu disekitarnya pada 150°C. Dengan menggunakan dinding AAC, besarnya kerapatan pasangan dinding lebih besar dibandingkan dengan non-AAC. Dinding AAC memberikan hasil kuat tekan lebih besar dan sifat ketahanan terhadap panas yang lebih baik. Penggunaan beton ringan aerasi (*auctoclaved aerated concrete*) sangat disarankan ahli konstruksi di Thailand.

### Pengujian kuat tarik & geser

Jennifer Tanner, et. all (2004) meneliti desain sistem dinding struktur ringan aerasi AAC (*autoclaved aerated concrete*) dan pengaruhnya akibat gaya

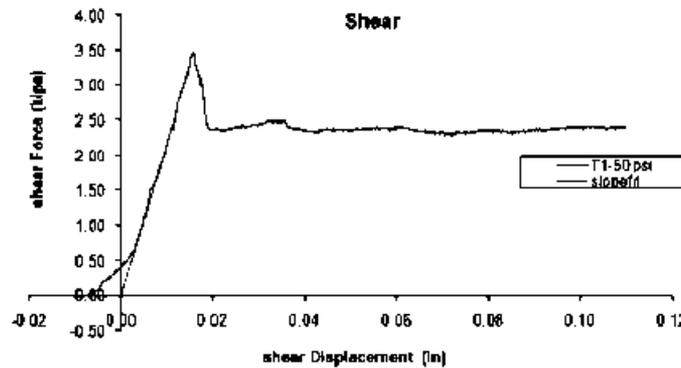
gempa. Pengujian dilakukan terhadap 17 dinding dari bata ringan aerasi dengan spesifikasi desain 10 dinding untuk rusak geser dan 7 buah untuk tipe rusak lentur. Pembebanan dikerjakan dengan metode *quasi static* pada arah lateral dinding. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dari lantai diafragma ke dinding geser AAC cukup sukses mentransfer gaya lateral dengan desain yang sudah diusulkan. Pola retak yang terjadi adalah retak lentur, geser, kombinasi retak lentur dan geser, retak pada bagian tengah pasangan dinding, retak slip (bonding), retak diagonal dan retak karena gaya aksial. Besarnya kuat lentur yang didapatkan sebesar 1.11 sampai dengan 1.34, dengan rata-rata total sebesar 1.22 dan koefisien variasi 6,8%, kapasitas geser dinding sebesar 130kips dengan drift ratio sekitar 0,7. Besarnya displacement *ductility* factor berkisar antara 2,5 dan 6.

Besarnya kuat geser mortar menurut Eric Tung (2008) disajikan pada Tabel 8 di bawah.

Tabel 8. Besar kuat geser mortar biasa

Stress (Psi)	Forces (kips)
50	1.172
100	2.344
150	3.416
200	4.688

Kemudian dari besarnya kuat geser pengujian dibuat suatu hubungan antara kuat geser dengan displacemen. Gambar 4 memperlihatkan grafik hubungan antara hasil pengujian numerik dengan eksperimental laboratorium.



Gambar 4. Grafik hubungan antara gaya geser dan *displacemen*

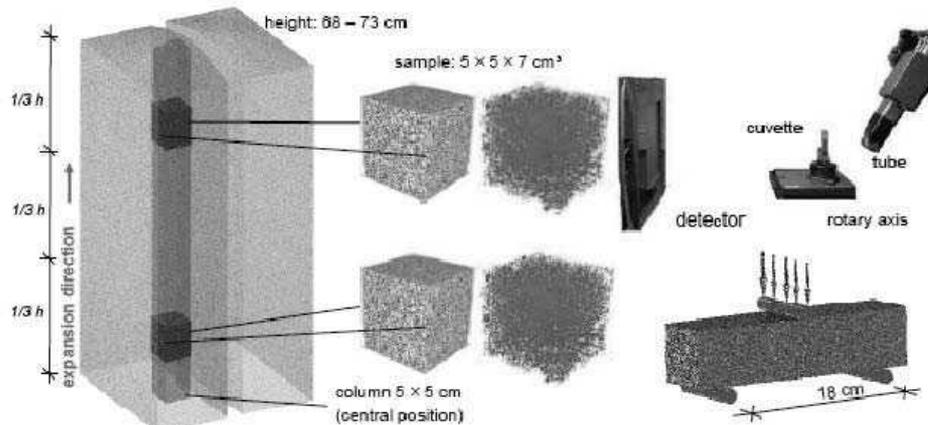
### 1. Pengujian kuat lentur

Pengujian kuat lentur dimaksudkan untuk mengetahui besarnya gaya geser antar mortar *powerbond* dan batu bata. Besarnya kekuatan lentur pasangan akan menunjukkan pula kualitas material yang digunakan. Eric Tung (2008) melaporkan tentang studi parameter rangka dinding pengisi beton bertulang menggunakan sambungan mortar dengan membandingkan hasil pengujian laboratorium dan numerik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil pengujian mortar batu bata mempunyai gaya tarik, tegangan tekan, dan geser maksimal berturut-turut sebesar 112,2Psi; 2,95ksi dan 4,688kips. Terdapat 3 jenis kegagalan yaitu gagal geser, diagonal dan retak 90°. Hasil pengujian kuat lentur disajikan pada Tabel 9 di bawah.

Tabel 9. Hasil pengujian kuat lentur pasangan dinding

<b>Gross Area flexural tensile strength (psi)</b>				
<b>PRISM</b>			<b>Tensile strength</b>	
1	142.4	7.2	135.2	psi
12	109.2	5.8	103.4	psi
15	72.20	4.1	84.8	psi
17	162.6	8.1	154.5	psi
26	93.06	5.1	88.0	psi
28	113.5	6.0	107.5	psi
		Average	112.2	psi

Gerd Weidemann (2007) meneliti tentang penggunaan serat pada beton ringan aerasi (AAC) dengan menggunakan komputer tomography. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mikroCT 225kV dengan target refleksi dan pencahayaan 8  $\mu\text{m}$  pada 8W dan plat panel detektor (PerkinElmer) dengan sebuah struktur Csl *scintillator* dan 2048\*2048 pixels dengan ukuran 0,2mm. Untuk penggunaan digital radiography menggunakan 40kV dan 200 $\mu\text{A}$ . Kolom dan balok beton ringan aerasi dipasang alat cuvette dengan lebar sekitar 100mm, tebal 10mm dan tinggi 150mm, masing-masing alat tersebut diletakkan pada bagian tengah kolom dan balok yang akan diuji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa adanya *cuvette* dapat menggambarkan posisi fiber yang sudah homogen dengan kolom dan balok, bahkan pada saat kolom atau balok dikerjakan gaya aksial dan lentur, perilakunya dapat digambarkan melalui sensor *cuvette* tersebut. Penggunaan fibre optimum pada dimensi 6mm untuk kadar 1.5% dan 12mm untuk kadar 1% dari volumenya.



Gambar 5. Pengujian SEM serat beton ringan aerasi (Sumber: Gerd Weidemann, 2007)

## 2. Pengujian Berat jenis AAC

Menurut Tjokrodimuljo (1997), beton disebut ringan apabila beratnya kurang dari 1800 kg/m<sup>3</sup>. Beton ringan menurut SK SNI :03-3449-1994 merupakan beton dengan berat di bawah 1860 kg/m<sup>3</sup> dengan kuat tekan maksimum 41,36 MPa.

Tabel 10. Spesifikasi produk *Qui* panel dan Hebel berupa material dinding dan lantai dari bahan beton ringan. (Hoedajanto, 2007)

Jenis	Dimensi (cm)	Kuat tekan Material (MPa)	Berat jenis (kg/m <sup>3</sup> )	Berat (kg)	Modulus Elastisitas (MPa)
Qui panel: material dinding dan lantai	300x60x5	4-4.5	700	70	-
	300x60x7.5	4-4.5	700	90	-
	300x60x10	4-4.5	700	140	-
Hebel: panel dinding interior	300x60x8.5	4.8	680	-	2250

Menurut Neville and Brooks (2003), beton ringan dibedakan tiga kelompok yaitu: beton ringan sebagai penyekat, sebagai pengisi dan sebagai elemen struktur.

Tabel 11. pembagian beton ringan menurut penggunaan dan persyaratannya.

Pustaka	Jenis beton ringan	Berat jenis	Kuat tekan (MPa)
Dobrowolski (1998)	Beton dengan berat jenis rendah (low density concrete)	240-800	0,35-6,9
	Beton ringan dengan kekuatan menengah (moderate strength lightweight concrete)	800-1440	6,9-17,3
	Beton ringan struktur (structural lightweight concrete)	1440-1900	>17,3
Neville dan Brooks	Beton ringan struktur (Struktural lightweight concrete)	1400-1800	>17
	Beton ringan untuk pasangan batu (Masonry concrete)	500-800	7-14
	Beton ringan penahan panas (insulating concrete)	< 800	0,7-7

## METODE PENELITIAN

### Desain Eksperimen

Desain eksperimen pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Tempat

Pembuatan benda uji (*specimen*) dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta. Selanjutnya, pengujian yang dilakukan adalah:

- Sifat material mortar dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Pengujian eksperimen untuk mendapatkan perilaku struktur pasangan dinding AAC di Laboratorium Teknik Struktur, Fakultas Teknik, Universitas Islam Indonesia-Yogyakarta.

## 2. Rancangan Percobaan

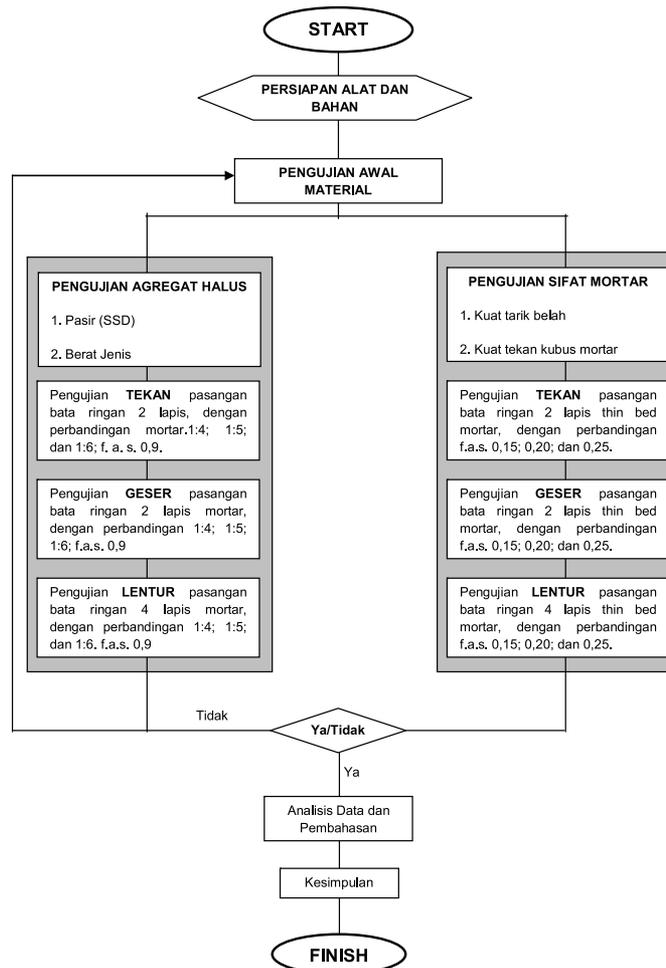
Penelitian ini dimaksudkan untuk mencari karakteristik/perilaku pasangan dinding beton ringan aerasi AAC (*autoclaved aerated concrete*) agar didapatkan suatu desain baru yang lebih optimal.

Penelitian ini dilakukan dalam 5 tahapan penelitian, diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Pemeriksaan sifat bahan agregat halus, pemeriksaan sifat mortar *powerbond*, pengujian berat jenis.
- b. Perhitungan perencanaan campuran (mix desain) mortar
- c. Pengujian geser mortar 1Pc:2Ps dan mortar *powerbond*
- d. Pengujian lentur multi lapis dinding batu bata dan beton ringan aerasi AAC (*autoclaved aerated concrete*).
- e. Analisis data dan pembahasan

## 3. Prosedur Eksperimen

Sesuai dengan tujuannya, maka penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen. Data-data yang digunakan lebih lanjut berupa data primer yang diperoleh dari hasil pengukuran dalam eksperimen yang dilakukan. Penelitian dilakukan dengan mengikuti diagram alir di bawah ini.



Gambar 6. Diagram alir pelaksanaan penelitian

## BAHAN & ALAT (EKSPERIMEN & UJI LABORATORIUM)

### 1. Bahan/Material

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Agregat halus yang digunakan adalah dari Krasak Sleman Yogyakarta
- b. Mix Desain untuk mortar biasa dan thin bed mortar adalah sebagai berikut:
  - 1) Mortar konvensional menggunakan perbandingan volume 1:4; 1:5 dan 1:6 nilai f.as. sebesar 0.9
  - 2) *Thin bed mortar dengan dua merk* dagang nilai f.a.s sebesar 0.15; 0.20; dan 0.25.
- c. Semen yang digunakan adalah semen PPC Gresik, Tipe I
- d. Air yang digunakan adalah air bersih yang berasal dari Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Pendidikan Teknik Sipil & Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta

### 2. Peralatan Penelitian

Peralatan penelitian dapat dibagi menjadi dua kategori, diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Peralatan Primer  
Peralatan primer yang digunakan untuk pengujian lentur pasangan bata ringan adalah sebagai berikut: seperangkat pengujian lentur berupa UTM model WDW 100 kapasitas 100kN, UTM Zimatzu kapasitas, dial gauge dengan ketelitian 0.01 mm.
- b. Peralatan Sekunder  
Merupakan peralatan pendukung penelitian, diantaranya adalah sebagai berikut: kerucut abrahms (SSD), roskam, mixer, Timbangan, cetakan benda uji silinder dan kubus, gelas ukur, ayakan, dan karung goni.

### 3. Cara Penentuan Contoh

Penelitian ini menggunakan 3 buah benda uji untuk setiap varian. Jumlah benda uji yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian eksperimental dijelaskan secara lebih rinci untuk beton ringan aerasi AAC adalah sebagai berikut:

Tabel 12. Cara penentuan contoh benda uji

No	Jenis Pengujian	Jenis Mortar	f.a.s	Perb. campuran	Jml Benda uji
1	Tk. Mortar PB	-	-	-	6 Mortar
2	Tk. Mortar PM	-	-	-	6 Mortar
3	Tekan PM110	<i>Thin Bed</i>	0,15; 0,20;0,25	-	9 buah
4	Tekan PM110	Konvensional	0,90	1:4; 1:5; 1:6	9 buah
7	Geser PRO889	<i>Thin Bed</i>	0,15; 0,20;0,25	-	9 buah
8	Geser PBK	Konvensional	0,90	1:4; 1:5; 1:6	9 buah
9	Lentur PB889	<i>Thin Bed</i>	0,15; 0,20;0,25	-	9 buah
10	Lentur PBK	Konvensional	0,90	1:4; 1:5; 1:6	9 buah
<b>Total</b>					<b>66 buah</b>

Keterangan:

PB : *powerblock*;

PM : *prime mortar*;

PRO889 : *thin bed mortar powerblock*

PM110 : *thin bed prime mortar type 110*

## HASIL & PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Bahan Penyusun Beton

#### 1. Pasir

Pasir yang digunakan pada penelitian ini berasal dari sungai Krasak Kabupaten Sleman-Yogyakarta. Pengujian agregat halus terdiri dari pengujian kadar air pasir alam, kadar air pasir SSD; berat jenis pasir SSD; kadar lumpur pasir dan robot isi pasir.

Tabel 13. Hasil pengujian agregat halus

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
1	Kadar air pasir alam	2.19%
2	Kadar air pasir SSD	2.42%
3	Berat Jenis pasir SSD	2.59gr/ml
4	Kadar Lumpur pasir	0.51%
5	Bobot isi pasir	1.44kg/lt

Tabel 14. Hasil pengujian MKB pasir

Lubang ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Persen tertinggal (%)	Persen tertinggal kumulatif (%)	Persen tembus kumulatif (%)
9.52	9	0.91	0.91	99.05
4.76	39.70	3.99	4.90	95.10
2.40	98.33	9.89	14.80	85.20
1.20	290	29.20	43.96	56.02
0.60	327	32.91	76.89	23.12
0.30	147	14.80	91.69	8.31
0.15	80	8.05	99.74	0.26
<0.15	2.5	0.25	-	-
<b>Jumlah</b>	<b>993.53</b>	<b>100.00</b>	<b>332.912</b>	

Hasil pengujian MKB pasir adalah  $339/100 = 3.39$

Pasir mempunyai modulus halus butir antara 1.5 sampai dengan 3.8 (Tjokrodimuljo, 2007). Dari hasil pengujian tersebut, pasir yang digunakan termasuk kedalam Zone I, kategori pasir kasar.

#### 2. Air

Air yang digunakan adalah berasal dari laboratorium bahan bangunan Jurusan pendidikan teknik sipil, facultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta. Air tersebut telah memenuhi persyaratan fisik karena setiap harinya digunakan untuk kebutuhan praktikum. Hal tersebut berarti bahwa secara kimiawi air tersebut tidak mengandung bahan kimia yang dapat merusak beton. Apabila ditinjau dari segi fisik, warnanya bening dan bersih, tampak tidak ada kandungan lumpur atau kotoran yang berarti, sehingga dapat digunakan sebagai bahan pembuatan beton.

## HASIL PENGUJIAN KARAKTERISTIK BETON

### 1. Kuat tekan Kubus

Pengujian kuat tekan mortar dilakukan di Laboratorium Universitas Islam Indonesia. Hasil pengujian kuat tekan kubus *thin bed mortar* dari 15 benda uji, disajikan pada Tabel 15 di bawah.

Tabel 15. Hasil pengujian kuat tekan kubus mortar

No	Kode Benda Uji	Pmax (N)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Kuat tekan (f'c)	Kuat tekan rerata (f'c)	Keterangan
1	PM-110-0.15	1050	2489	0,422	0,470	<i>Prime mortar 110</i>
		1420	2493	0,570		
		1080	2570	0,420		
2	PM-110-0.2	8200	2500	3,280	2,470	<i>Prime mortar 110</i>
		6100	2500	2,440		
		4200	2500	1,680		
3	PM-110-0.25	4250	2500	1,700	1,820	<i>Prime mortar 110</i>
		4350	2500	1,740		
		5050	2500	2,020		
4	PRO-889-0.15	24500	2500	9,800	6,800	<i>Powerbond 889</i>
		26500	2500	10,600		
5	PRO-889-0.25	16000	2500	6,400	7,240	<i>Powerbond 889</i>
		21800	2500	8,720		
		16500	2500	6,600		

Keterangan: *Prime mortar type 110; Powerbond type 889*

### 2. Kuat tarik belah mortar

Hasil pengujian kuat tarik belah silinder mortar dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan tarik mortar. Pengujian dilakukan di Laboratorium Universitas Islam Indonesia. Hasil pengujian selengkapnya disajikan pada Tabel 16 di bawah ini.

Tabel 16. Hasil pengujian kuat tarik belah mortar

No	Kode Benda Uji	Pmax (N)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Keterangan
1	14TKB	6450	161.39	1:4
	14TKB	7200	177.92	
2	15TKB	3560	79.41	1:5
	15TKB	3520	78.77	
3	16TKB	2500	78.94	1:6
	16TKB	1780	76.89	

### 3. Kuat tekan bata ringan

Pengujian kuat tekan bata ringan dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan tekan. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan Universitas Islam Indonesia. Hasil pengujian kuat tekan bata ringan disajikan pada Tabel 17 di bawah ini.

Tabel 17. Hasil pengujian kuat tekan bata ringan

No	Kode Benda Uji	Berat (gr)	Berat Jenis (gr/dm <sup>3</sup> )	Porositas (Vr/Vp)	Dimensi (mm)			Beban Maks (kN)
					P	I	t	
1	PB01	691	0.71	37.63	99.20	99.00	99.20	32
2	PB02	787	0.72	38.17	99.20	105.00	99.00	24
3	PB03	741	0.72	38.87	104.10	99.40	99.20	32
4	PB04	668	0.69	42.26	96.40	100.20	100.20	32
5	PB05	687	0.74	36.11	99.00	99.20	99.20	36
6	CT01	689	0.98	72.53	9.85	10.00	9.88	22
7	CT02	640	1.00	65.58	9.83	9.84	9.85	25
8	CT03	612	0.55	71.89	9.94	9.88	9.69	21
9	CT04	690	0.61	69.06	9.67	9.74	9.85	25
10	CT05	609	0.64	68.74	9.64	9.68	9.70	24

Keterangan: PB : *Powerbond*; CT : *Citicon*

#### 4. Kuat tekan 3 lapis thin bed mortar pasangan dinding aerasi

Pengujian kuat tekan 3 lapis *thin bed mortar* pasangan dinding ringan dilaksanakan di Laboratorium Universitas Islam Indonesia. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 7 di bawah ini.

Tabel 18. Hasil pengujian kuat tekan 3 lapis thin bed mortar pasangan dinding ringan

No	Kode Benda Uji	Pmax (N)	Defleksi (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Pola kerusakan	First crack
1	TC1 <sub>1</sub> 0.15	53900	1.55	19462	Kombinasi	44000 N (lebar 0.38mm)
	TC1 <sub>2</sub> 0.15	57600	1.74	19310	Pasangan	57400N (lebar 0.20mm)
	TC1 <sub>3</sub> 0.15	54600	2.23	19457	Kombinasi	39300N (lebar 0.22mm)
2	TC2 <sub>1</sub> 0.20	53900	1.83	19367	Kombinasi	29200N (lebar 0.02mm)
	TC2 <sub>2</sub> 0.20	53900	1.43	19121	Kombinasi	56200N (lebar 0.74mm)
	TC2 <sub>3</sub> 0.20	53900	1.02	19685	Kombinasi	56200N (lebar 0.21mm)
3	TC3 <sub>1</sub> 0.25	61000	1.90	19351	Kombinasi	61500N (lebar 1.02mm)
	TC3 <sub>2</sub> 0.25	63000	1.49	19352	Kombinasi	59500N (lebar 0.58mm)
	TC3 <sub>3</sub> 0.25	54600	1.43	19350	Kombinasi	56000N (lebar 0.93mm)

Keterangan:

TC1<sub>1</sub>0.15 : Tekan *Citicon*, Tebal mortar 3mm, f.a.s 0.15

TC2<sub>1</sub>0.20 : Tekan *Citicon*, Tebal mortar 3mm, f.a.s 0.20

TC3<sub>1</sub>0.25 : Tekan *Citicon*, Tebal mortar 3mm, f.a.s 0.25

#### 5. Kuat tekan pasangan mortar konvensional

Pengujian tekan pasangan mortar konvensional dilaksanakan di Laboratorium Universitas Islam Indonesia. Hasil pengujian kuat tekan pasangan mortar konvensional, disajikan pada Tabel 19 di bawah ini.

Tabel 19. Hasil pengujian kuat tekan 3 lapis pasangan mortar konvensional

No	Kode Benda Uji	Pmax (N)	Defleksi (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Pola kerusakan	First crack
1	TC1 <sub>1</sub> ,14	45000	1.74	21259	Kombinasi	44500N (lebar 0.37mm)
	TC1 <sub>2</sub> ,14	48000	1.79	20768	Pasangan	48000N (lebar 0.18mm)
	TC1 <sub>3</sub> ,14	48000	1.68	21241	Kombinasi	37750N (lebar 0.24mm)
2	TC2 <sub>1</sub> ,15	42500	1.58	20966	Pasangan	42500N (lebar 0.16mm)
	TC2 <sub>2</sub> ,15	38250	1.09	20985	Kombinasi	38250N (lebar 0.31mm)
	TC2 <sub>3</sub> ,15	47500	2.27	21002	Kombinasi	19000N (lebar 0.20mm)
3	TC3 <sub>1</sub> ,16	51500	1.74	21332	Kombinasi	42500N (lebar 0.14mm)
	TC3 <sub>2</sub> ,16	42500	1.37	20961	Kombinasi	20500N (lebar 0.21mm)
	TC3 <sub>3</sub> ,16	50500	1.74	21034	Kombinasi	48750N (lebar 0.23mm)

Keterangan:

TC3<sub>1</sub>,14 : Tekan *citicon*, Tebal mortar 14mm, f.a.s 0.9.

TC3<sub>1</sub>,15 : Tekan *citicon*, Tebal mortar 15mm, f.a.s 0.9.

TC3<sub>1</sub>,16 : Tekan *citicon*, Tebal mortar 16mm, f.a.s 0.9.

## 6. Geser thin bed mortar 2 lapis

Pengujian kuat geser *thin bed mortar* dilaksanakan di Laboratorium Universitas Islam Indonesia. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 20 di bawah ini.

Tabel 20. Hasil pengujian geser 2 lapis *thin bed mortar*

No	Kode Benda Uji	Pmax (N)	Defleksi (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Pola kerusakan	First Crack (N)
1	GP1 <sub>1</sub> ,0.15	12950	0.90	19181	Kombinasi	12950
	GP1 <sub>2</sub> ,0.15	7675	0.72	19195	Pasangan	7675
	GP1 <sub>3</sub> ,0.15	7625	1.35	19181	Pasangan	7625
2	GP2 <sub>1</sub> ,0.20	6300	0.42	19579	Mortar	6300
	GP2 <sub>2</sub> ,0.20	14500	0.48	19529	Pasangan	7550
	GP2 <sub>3</sub> ,0.20	11100	0.32	18925	Pasangan	11100
3	GP3 <sub>1</sub> ,0.25	9475	2.12	18952	Kombinasi	9475
	GP3 <sub>2</sub> ,0.25	14025	0.69	18681	Kombinasi	6550
	GP3 <sub>3</sub> ,0.25	8000	0.40	19133	Mortar	8000

Keterangan:

GP1<sub>1</sub>,0.15 : geser *thin bed*, Tebal mortar 3mm, f.a.s 0.15

GP2<sub>1</sub>,0.20 : geser *thin bed*, Tebal mortar 3mm, f.a.s 0.20

GP3<sub>1</sub>,0.25 : geser *thin bed*, Tebal mortar 3mm, f.a.s 0.25

## 7. Pengujian Lentur pasangan mortar powerbond PRO 889

Hasil pengujian kuat lentur pasangan *thin bed mortar (powerbond)* dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 21 di bawah ini.

Tabel 21. Pengujian Lentur pasangan mortar *powerbond* PRO 889 rerata

No	Kode Benda Uji	Pmax (N)	Lendutan (mm)	L (mm)	Pola kerusakan
1	LP1 <sub>R</sub> 0.15	219.33	18.76	508.53	Pasangan + Mortar
2	LP2 <sub>R</sub> 0.20	170.00	16.37	508.02	Kombinasi
3	LP3 <sub>R</sub> 0.25	220.33	18.23	509.70	Kombinasi

Keterangan:

LP1<sub>R</sub>0.15 : Tebal mortar 3mm, f.a.s 0.15

LP2<sub>R</sub>0.20 : Tebal mortar 3mm, f.a.s 0.20

LP3<sub>R</sub>0.25 : Tebal mortar 3mm, f.a.s 0.25

## 8. Pengujian Lentur pasangan mortar konvensional

Hasil pengujian kuat lentur pasangan mortar konvensional dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta. Hasil pengujian dari 12 benda uji disajikan pada Tabel 22 di bawah ini.

Tabel 22. Pengujian Lentur pasangan mortar konvensional rerata

No	Kode Benda Uji	Pmax (N)	Lendutan (mm)	L (mm)	Pola kerusakan
1	LP1 <sub>R</sub> 14	54.10	17.90	532.10	Mortar
2	LP2 <sub>R</sub> 15	24.90	18.80	535.35	Mortar
3	LP3 <sub>R</sub> 0.25	56.00	12.79	534.97	Mortar

Keterangan:

LP1<sub>R</sub>14 : Lentur pelat, Tebal mortar 15mm, f.a.s 0.9

LP2<sub>R</sub>15 : Lentur pelat, Tebal mortar 15mm, f.a.s 0.9

LP3<sub>R</sub>16 : Lentur pelat, Tebal mortar 15mm, f.a.s 0.9

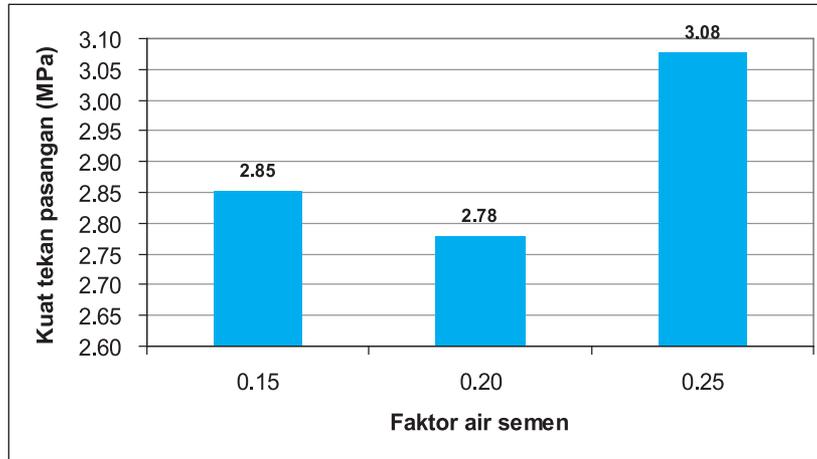
## PEMBAHASAN

### 1. Kuat tekan bata ringan

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan mortar untuk *powerblock* dan *Citicon*, didapatkan kuat tekan rerata berturut-turut sebesar 3.13MPa dan 2.43MPa. bata ringan *powerblock* mempunyai kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan *Citicon* sebesar 31.31%.

### 2. Kuat tekan thin bed mortar

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan *thin bed* mortar dengan variasi f.a.s. sebesar 0.15; 0.20 dan 0.25, didapatkan kuat tekan rerata berturut-turut sebesar 2.85MPa; 2.78MPa dan 3.08MPa. Grafik hubungan antara kuat tekan dengan tipe mortar disajikan pada Gambar 10 di bawah ini.



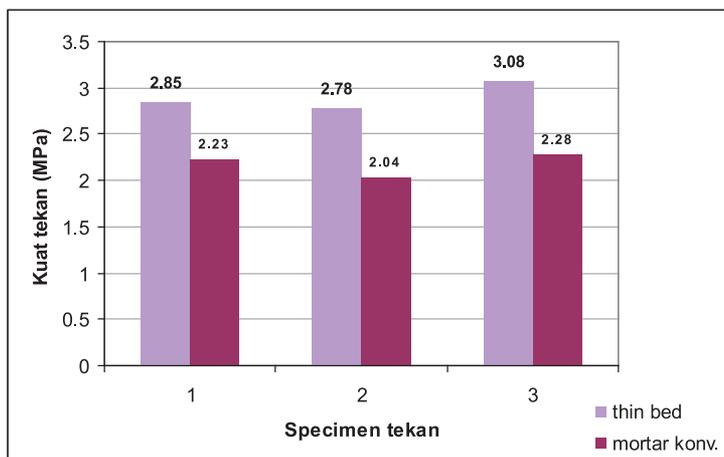
Gambar 10. Perbandingan antara kuat tekan pasangan dengan faktor air semen

Gambar 10 di atas menunjukkan bahwa pada penambahan faktor semen sebesar 0.20; nilai kuat tekan pasangannya menurun sebesar 3% dibandingkan dengan nilai f.a.s sebesar 0.15.

Sedangkan pada nilai f.a.s sebesar 0.25; kuat tekan meningkat sebesar 11% dibandingkan dengan f.a.s 0.2. Berdasarkan hasil pengujian juga menunjukkan bahwa pada nilai f.a.s sebesar 0.25 pembacaan tegangan tekan akan optimal yaitu sebesar 3.08MPa. Hasil pengujian tersebut juga mengindikasikan bahwa besarnya tegangan tekan dinding ringan aerasi lebih besar dibandingkan dengan pasangan dinding batu bata yang dilakukan oleh Oscar (2008) yaitu sebesar 1.60MPa. Pasangan dinding ringan aerasi mempunyai selisih tegangan tekan sebesar 48.05% dibandingkan dengan pasangan batu bata.

### 3. Kuat tekan pasangan 3 lapis antara thin bed mortar dan mortar konvensional

Berdasarkan hasil pengujian untuk 3 lapis *thin bed* mortar untuk perbandingan 1:4; 1:5 dan 1:6; besarnya kuat tekan rerata berturut-turut sebesar 2.85MPa; 2.78MPa; dan 3.08MPa. Sedangkan untuk hasil pengujian dengan menggunakan mortar konvensional, hasil pengujian kuat tekannya berturut-turut sebesar 2.23MPa; 2.04MPa; dan 2.28MPa.



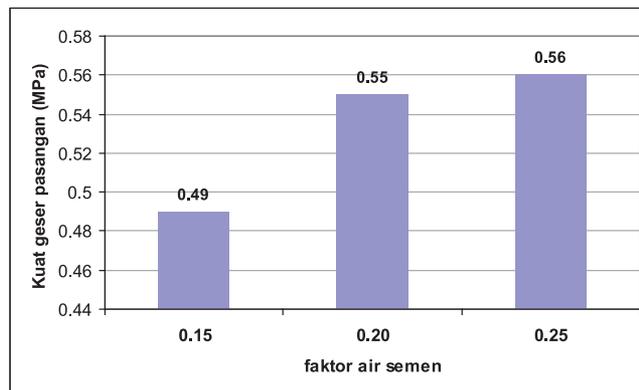
Gambar 11. Perbandingan kuat tekan antara thin bed mortar dan mortar konvensional

Gambar 11 tersebut diatas menunjukkan bahwa untuk kuat tekan dengan menggunakan *thin bed mortar*, hasilnya lebih tinggi berturut-turut sebesar 22%; 27% dan 26% dibandingkan dengan mortar konvensional.

#### 4. Kuat geser pasangan 2 lapis *thin bed mortar*

Kuat tarik pasangan 2 lapis *thin bed mortar* menggunakan variasi faktor air semen, agar didapatkan hasil f.a.s optimum. Variasi f.a.s dilakukan pada nilai 0.15; 0.20 dan 0.25.

Untuk perbandingan antara kuat geser mortar dengan nilai f.a.s. disajikan pada Gambar 12 di bawah ini.



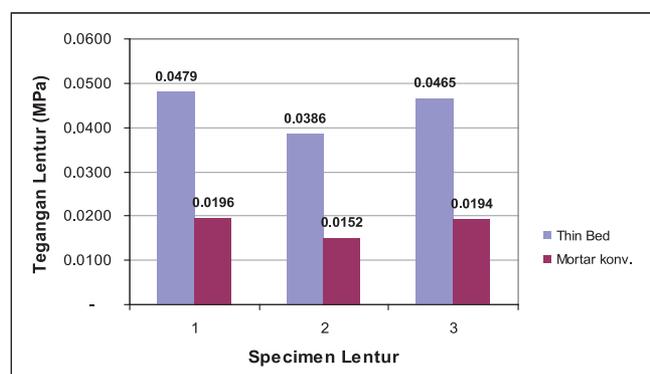
Gambar 12. Perbandingan antara kuat geser mortar dengan variasi f.a.s

Gambar 12 di atas menunjukkan bahwa dengan bertambahnya nilai f.a.s. maka akan semakin meningkat kuat geser pasangannya. Hal ini ditenggarai bahwa pada f.a.s sebesar 0.15; pelaksanaan pengerjaan di Laboratorium sulit untuk dilakukan. Besarnya peningkatan nilai f.a.s. pada 0.20 dan 0.25 berturut-turut sebesar 12.24% dan 14.28%. Penambahan f.a.s akan ideal pada nilai 0.25.

#### 5. Kuat lentur pasangan 4 lapis *thin bed mortar* dan mortar konvensional

Kuat lentur pasangan 4 lapis *thin bed mortar* dan mortar konvensional dimaksudkan untuk mengetahui kekuatan lentur antara ikatan mortar dengan bata ringan aerasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada variasi f.a.s 0.15; 0.20 dan 0.25 berturut-turut sebesar 0.0479MPa; 0.0386MPa; dan 0.0465MPa.

Perbandingan antara tegangan dengan variasi f.a.s disajikan pada Gambar 13 di bawah ini.



Gambar 13. Grafik hubungan antara tegangan lentur *thin bed mortar* dan konvensional mortar.

Gambar 13 di atas menunjukkan bahwa pada nilai f.a.s sebesar 0.2; nilai tegangan rerata menurun sebesar 24% dibandingkan dengan nilai f.a.s 0.15. sedangkan pada nilai f.a.s. sebesar 0.15 dan 0.25 nilai tegangannya hampir sama. Hal ini mengindikasikan bahwa campuran f.a.s yang disarankan untuk *thin bed* mortar yaitu pada nilai f.a.s sebesar 0.25.

Sedangkan pada konvensional mortar terjadi penurunan nilai tegangan pada perbandingan 1:5 sebesar 29.47% terhadap perbandingan campuran 1:4. Nilai tegangan akan kembali meningkat pada perbandingan sebesar 1:6. Hal tersebut diduga bahwa pada proses pelaksanaan pencampuran, material kurang homogen dan bergradasi kurang baik, sehingga pada keadaan di laboratorium pasangan mortar yang sudah kering dapat lepas ketika baru berumur satu hari. Oleh karena itu, hasil pengujian belum merupakan nilai final dikarenakan masih dilakukan pengujian kembali dengan komposisi campuran mortar yang sama dan menggunakan gradasi agregat yang lebih halus agar ikatan mortar menjadi lebih kuat.

Tipe kerusakan pada f.a.s sebesar 0.15 adalah kerusakan pasangan dan mortar. Sedangkan pada f.a.s sebesar 0.20 dan 0.25 terjadi tipe kerusakan kombinasi antara mortar dengan pasangan. Sedangkan pada mortar konvensional, tipe kerusakan yang terjadi hanya pada mortar.

## SIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut: (a) Besarnya tegangan tekan dinding AAC jenis *Powerbond* dan *Citicon* berturut-turut sebesar 3.13MPa dan 2.61MPa. (b) Besarnya tegangan tekan *thin bed* mortar pada f.a.s. sebesar 0.15; 0.20 dan 0.25 berturut-turut sebesar 2.85MPa; 2.78MPa dan 3.08MPa. (c) Besarnya tegangan tekan untuk 3 lapis mortar untuk perbandingan 1:4; 1:5 dan 1:6; besarnya kuat tekan rerata berturut-turut sebesar 2.85MPa; 2.78MPa; dan 3.08MPa. Sedangkan untuk hasil pengujian dengan menggunakan mortar konvensional, hasil pengujian kuat tekannya berturut-turut sebesar 2.23MPa; 2.04MPa; dan 2.28MPa dan besarnya tegangan geser mortar pada nilai f.a.s sebesar 0.15; 0.20 dan 0.25 berturut-turut sebesar 0.49MPa; 0.55MPa; dan 0.56MPa. (d) Besarnya tegangan lentur pada variasi f.a.s 0.15; 0.20 dan 0.25 berturut-turut sebesar 0.0479MPa; 0.0386MPa; dan 0.0465MPa. (e) Pola kerusakan yang terjadi akibat gaya tekan, lentur, dan tarik struktur dinding aerasi adalah rusak pasangan akibat gaya aksial; rusak geser; dan rusak kombinasi antara aksial dan geser. (f) Nilai f.a.s *thin bed mortar* efektif pada nilai sebesar 0.25 dan perbandingan volume mortar konvensional adalah sebesar 1:5 dengan f.a.s 0.9. sedangkan saran dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: (a) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengujian kuat tarik belah pasangan *thin bed* mortar dan mortar konvensional; (b) Perlu dilakukan penelitian tentang variasi f.a.s pada pasangan mortar konvensional

## DAFTAR RUJUKAN

- [1] Anonim. 2003. SNI:03-1974-1990. Tata cara pengujian tekan beton.
- [2] ASTM E 518-00a. Standard Test Methods for Flexural Bond Strength of Masonry.
- [3] ASTM 155207 Standard Practice for Capping Concrete Masonry Units.

- [4] Anonim. 2003. SNI 03-44164-1996. Tata cara pengujian pada dinding.
- [5] EN-1996-1-1:2005 (EC6) dan EN-1996-1-1:2010. *Specified European Norm Autoclaved aerated concrete*.
- [6] Eric Tung. 2008. *Parametric study of masonry infilled reinforced concrete frames using mortar joint properties*. The 14th World Conference On Earthquake Engineering October 12–17, 2008, Beijing, China.
- [7] Gerd Weidemann, et, al. 2007. *Fibre reinforced autoclaved aerated concrete studied by computed tomography, International Symposium on Digital industrial Radiology and Computed Tomography*, June 25-27, 2007, Lyon, France.
- [8] Folker H. Whitman, 2011. *Advance in Autoclaved aerated concrete*, page 272pp, Published by Belkema.
- [9] Jun Kikuma. 2009. *Formation of Autoclaved Aerated Concrete Studied by In Situ X-ray Diffraction under Hydrothermal Condition Industrial Applications*. Analysis and Simulation Center, Asahi-KASEI Corporation, Springs research frontier 2009.
- [10] Jennifer tanner, et.al. 2004. *Seismic performance and design of autoclaved aerated Concrete (aac) structural systems*. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, Paper No. 541.
- [11] N. Narayanan, K. R. 2001. *Structure and properties of aerated concrete: a review*. *Building Technology and Construction Management Division*, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Madras, Elsevier, Cement & Concrete Composites 22(2001)321±329, Chennai 600 036, India, [www.elsevier.com/locate/cemconcomp](http://www.elsevier.com/locate/cemconcomp).
- [12] N. Arreshvhina, et. al. 2006. *Microstructural Behavior Of Aerated Concrete Containing High Volume Of GGBFS, Proceedings of the 6th Asia-Pacific Structural Engineering and Construction Conference (APSEC 2006), 5 – 6 September 2006, Kuala Lumpur, Malaysia*.
- [13] Neville, A.,M. and Brooks, J.,J. 2003. *Concrete Technology*, John Willey & Sons, New York.
- [14] Suara Merdeka. 2006. Dinding Hebel; di unduh Februari 2012.
- [15] Sugiyono. 2006. *Metodologi Penelitian Pendidikan*, Alfabeta: Bandung.
- [16] Somayaji, S., 2005. *Civil Engineering Materials*. Prentice Hall: New Jersey.
- [17] Tjokrodimuljo, K., 2007. *Teknologi Beton*. Nafiri: Yogyakarta.
- [18] [www.hebel.co.id](http://www.hebel.co.id). 2012. *Propertis Material autoclaved aerated concrete*.
- [19] Yothin Ungkoon, et. al. 2007. *Analysis of Microstructure and Properties of Autoclaved Aerated Concrete Wall Construction Materials*. *J. Ind. Eng. Chem.*, Vol. 13, No. 7, (2007) 1103-1108. Received July 11, 2007; Accepted November 9, 2007