



**TUGAS AKHIR - TF141581**

**ANALISIS PEMBENTUKAN FASA DAN KUAT  
TEKAN BATA RINGAN *AERATED*  
*AUTOCLAVED CONCRETE* (AAC) DENGAN  
MENGUNAKAN VARIASI KOMPOSISI Si, Ca, Al**

**RISANDY BAYU SETIAWAN**  
NRP. 0231134 000052

Dosen Pembimbing  
Dyah Sawitri, S.T, M.T  
Ir. Zulkifli, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



FINAL PROJECT- TF141581

***ANALYSIS OF PHASE FORMING AND  
COMPRESSIVE STRENGTH COMPOSITION  
Si, Ca, Al VARIED LIGHTWEIGHT CONCRETE  
OF AERATED AUTOCLAVED CONCRETE (AAC)***

RISANDY BAYU SETIAWAN  
NRP. 0231134 000052

Dosen Pembimbing  
Dyah Sawitri, S.T, M.T  
Ir. Zulkifli, M.Sc

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Risandy Bayu Setiawan

NRP : 0231134 000052

Departemen/Prodi : Teknik Fisika/S1 Teknik Fisika

Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "**Analisis Pembentukan Fasa dan Kuat Tekan Bata Ringan Aerated Autoclaved Concrete (AAC) dengan Menggunakan Variasi Komposisi Si, Ca, Al**" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, Februari 2018  
Yang membuat pernyataan,



Risandy Bayu Setiawan  
NRP. 0231134 000052

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

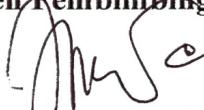
**LEMBAR PENGESAHAN**  
**ANALISIS PEMBENTUKAN FASA DAN KUAT TEKAN**  
**BATA RINGAN *AERATED AUTOCLAVED CONCRETE***  
**(AAC) DENGAN MENGGUNAKAN VARIASI KOMPOSISI**  
**Si,Ca,Al**

Oleh :

**RISANDY BAYU SETIAWAN**  
**0231134000052**

Menyetujui,  
Februari 2018

Dosen Pembimbing I



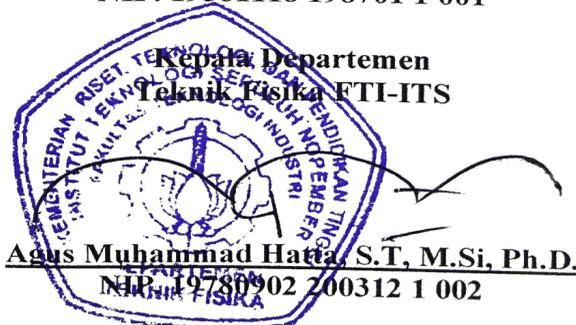
**Dyah Sawitri, S.T, M.T.**  
**NIP. 19700101 1995122 001**

Dosen Pembimbing II



**Ir. Zulkifli, M.Sc.**  
**NIP. 19581118 198701 1 001**

Kepala Departemen  
Teknik Fisika FTI-ITS



**Agus Muhammad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D.**  
**NIP. 19780902 200312 1 002**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**ANALISIS PEMBENTUKAN FASA DAN KUAT TEKAN  
BATA RINGAN *AERATED AUTOCLAVED CONCRETE* (AAC)  
DENGAN MENGGUNAKAN VARIASI KOMPOSISI Si, Ca,Al**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa Bahan  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**Oleh:**

**RISANDY BAYU SETIAWAN  
NRP. 0231134 000052**

**Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:**

1. Dyah Sawitri, S.T, M.T.  (Pembimbing I)
2. Ir. Zulkifli, M.Sc.  (Pembimbing II)
3. Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T  (Ketua Penguji)
4. Lizda Johar, S.T, M.T.  (Penguji I)
5. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.  (Penguji II)

**SURABAYA  
Februari 2018**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**ANALISIS PEMBENTUKAN FASA DAN KUAT TEKAN  
BATA RINGAN *AERATED AUTOCLAVED CONCRETE* (AAC)  
DENGAN MENGGUNAKAN VARIASI KOMPOSISI Si, Ca, Al**

Nama Mahasiswa : Risandy Bayu Setiawan  
NRP : 02311340000052  
Departemen : Teknik Fisika  
Dosen Pembimbing I : Dyah Sawitri, S.T, M.T  
Dosen Pembimbing II : Ir. Zulkifli, M.Sc

**ABSTRAK**

Telah dilakukan fabrikasi bata ringan *Aerated Autoclaved Concrete* (AAC) dengan menggunakan variasi komposisi kandungan Si, Ca, Al dari bahan baku semen, pasir silika, kapur, air dan *agent foam* (pasta aluminium) sebagai bahan pengembang. Proses pembuatan rancangan variasi komposisi berdasarkan penelitian sebelumnya dengan menggunakan metode prediksi jaringan syaraf tiruan untuk mendapatkan komposisi yang ideal dan memiliki kuat tekan terbaik. Dimulai dengan proses pencampuran semua bahan, lalu dilakukan pengadukan hingga semua campuran homogen dan mengembang, untuk kemudian dimasukkan ke dalam *autoklaf* pada suhu 180–190 °C, selama 6-7 jam. Pengujian yang dilakukan antara lain uji XRD (*X-Ray Diffraction*), densitas, porositas dan kuat tekan sampel bata ringan. Dari semua sampel uji, dapat diketahui bahwa pada variasi Si 30% dan Al 0,5% yang terbentuk fasa *tobermorite*. Pada penentuan variasi komposisi, semakin banyak komposisi Si yang digunakan akan semakin meningkatkan kuat tekan bata ringan, dan untuk variasi Ca terhadap kuat tekan komposisi minimal yang diperbolehkan digunakan dalam pembuatan bata ringan yaitu 25%. Untuk hubungan antara nilai porositas dan densitas nilai keduanya berbanding terbalik, semakin besar nilai porositas maka nilai densitas bata ringan menjadi semakin kecil. Dan untuk hubungan antara nilai densitas dan kuat tekan berbanding lurus, yaitu semakin besar nilai densitas bata ringan menjadi semakin besar juga nilai kuat tekan bata ringan. Nilai kuat tekan terbaik dimiliki oleh sampel dengan variasi komposisi Si 30% yaitu 0,306 N/mm<sup>2</sup>.

***Kata Kunci — aerated autoclaved concrete, agent foam, densitas, porositas, kuat tekan, X-Ray diffraction.***

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

**ANALYSIS OF PHASE FORMING AND COMPRESSIVE  
STRENGTH COMPOSITION Si, Ca, Al VARIED  
LIGHTWEIGHT CONCRETE OF AERATED AUTOCLAVED  
CONCRETE (AAC)**

Name : Risandy Bayu Setiawan  
NRP : 02311340000052  
Departement : Teknik Fisika  
Supervisor I : Dyah Sawitri, S.T, M.T  
Supervisor II : Ir. Zulkifli, M.Sc

**ABSTRACT**

*Aerated Autoclaved Concrete (AAC) lightweight concrete fabrication has been made using variation of Si, Ca, Al. It's made from cement, silica sand, lime, water and agent foam (aluminum paste) as the developer material. The process of making variation of composition based on previous research that using prediction method of artificial neural network (ANN) to get the ideal composition and have the best compressive strength. It's begun by mixing all ingredients, then stirring until all the mixture is homogeneous and fluffy, and then fed into the autoclave at a temperature of 180-190 °C, for 6-7 hours. Tests conducted include XRD (X-Ray Diffraction) test, density, porosity and compressive strength of samples. Of all test samples, it can be seen that in the variation of Si 30% and Al 0.5% formed tobermorite phase. In determining the variation of the composition, the more Si composition used will increase the compression strength of the lightweight concrete, and for the variation of Ca to the compressive strength of the minimum composition allowed in the manufacture of lightweight concrete of 25%. For the relationship between the porosity value and the density value of both are inversely proportional, the greater the porosity value, the smaller lightweight concrete density becomes smaller. And for the relationship between the value of density and compressive strength is directly proportional, that the greater the value of lightweight concrete density becomes greater and also the value of the compressive strength of lightweight concrete. The best compressive strength value is owned by a sample with a 30% Si composition variation of 0.306 N / mm<sup>2</sup>.*

**Keywords — aerated autoclaved concrete, agent foam, density, porosity, compressive strength , X-Ray diffraction.**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena dengan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**ANALISIS PEMBENTUKAN FASA DAN KUAT TEKAN BATA RINGAN *AERATED AUTOCLAVED CONCRETE* (AAC) DENGAN MENGGUNAKAN VARIASI KOMPOSISI Si, Ca,Al**” yang merupakan salah satu prasyarat akademis dalam menyelesaikan Program Sarjana (S1) Departemen Teknik Fisika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik berkat kerja sama, bantuan, dukungan dan doa dari banyak pihak. Sehubungan dengan hal tersebut, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Agus Muhammad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS
2. Kedua Orangtua penulis, yang selalu mendukung, mendoakan dan memotivasi penulis.
3. Ibu Dyah Sawitri, S.T, M.T selaku dosen pembimbing yang telah memberi bimbingan dan motivasi kepada penulis dalam mengerjakan penelitian Tugas Akhir sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
4. Bapak Ir. Zulkifli, M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah memberi bimbingan dan motivasi kepada penulis dalam mengerjakan penelitian Tugas Akhir sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
5. Ibu Dr.Ing. Doty Dewi Risanti, ST, MT, selaku kepala laboratorium rekayasa bahan dan material, sekaligus ketua penguji, yang telah memberi banyak saran, motivasi dan bimbingan.
6. Pak Kamsun, Pak Bashori, yang selalu memberi arahan dan pelayanan administrasi selama mengerjakan tugas Akhir.
7. Seluruh jajaran dosen dan staf Departemen Teknik Fisika ITS yang telah memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis selama diperguruan.

8. Teman-teman Angkatan 2013 yang selalu mendukung dan memotivasi. Terutama para pejuang 117 yang selalu berjuang bersama penulis.
9. Pak Adi, selaku kepala personalia PT. Corin Mulia Gemilang, yang telah memberikan izin untuk melakukan fabrikasi bata ringan.
10. Pak Dewa, Pak Ivan, Pak Fuad dan Pak Rangga selaku staff karyawan dan laboran PT. Corin Mulia Gemilang, yang banyak memberikan bimbingan, bantuan dalam fabrikasi bata ringan.
11. Sahabat-sahabat dan teman dekat penulis, Dan, Bayu, Hafizhul, Angga, Dedi, Robby, Amin, Charis, dan lain-lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu-satu. Terimakasih atas dukungan dan motivasi kalian.
12. Semua pihak yang belum bisa penulis sebutkan satu persatu. Terima kasih telah membantu sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang berkepentingan.

Surabaya, Februari 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Bata Ringan .....	5
2.1.1 <i>Cellular Lightweight Concrete (CLC)</i> .....	5
2.1.2 <i>Autoclaved Aerated Concrete (AAC)</i> .....	6
2.2 Proses Pembuatan Bata Ringan .....	7
2.3 Kekuatan Tekan.....	13
2.4 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	17
3.1 Studi Literatur.....	18
3.2 Persiapan Alat dan Bahan.....	18
3.3 Pengujian EDAX.....	19
3.4 Rancangan Sampel Bata Ringan.....	19
3.5 Pembuatan Sampel Bata Ringan .....	20
3.6 Pengukuran Densitas .....	22
3.7 Pengujian dan Pengukuran Porositas Bata Ringan.....	22
3.8 Pengujian Kuat Tekan .....	23
3.9 Analisa Data .....	23

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....	25
4.1 Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	25
4.1.1 Karakterisasi XRD Sampel Al 0,5% .....	25
4.1.2 Karakterisasi XRD Sampel Al 1% .....	26
4.1.3 Karakterisasi XRD Sampel Al 2% .....	27
4.1.4 Karakterisasi XRD Sampel Ca 33% .....	28
4.1.5 Karakterisasi XRD Sampel Si 20% .....	29
4.1.6 Karakterisasi XRD Sampel Si 30% .....	31
4.2 Hasil Uji EDAX Kandungan Pasir Silika.....	32
4.3 Hasil Uji EDAX Kandungan Semen .....	32
4.4 Pembuatan Sampel Bata Ringan .....	33
4.5 Pengujian Bata Ringan .....	36
4.5.1 Pengujian Densitas Bata Ringan .....	36
4.5.2 Pengujian Pengukuran Porositas Bata Ringan .....	38
4.5.3 Pengujian Kekuatan Tekan Bata Ringan .....	41
4.6 Interpretasi Hasil Analisis .....	42
 BAB V PENUTUP .....	 45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	45
 DAFTAR PUSTAKA.....	 47
LAMPIRAN A .....	49
LAMPIRAN B.....	51
BIODATA PENULIS.....	53

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Serbuk Aluminium yang digunakan pada pembuatan bata ringan .....	10
Gambar 2.2 Proses pembuatan AAC .....	10
Gambar 2.3 Foto SEM yang menunjukkan keberadaan <i>macropore</i> dan <i>micropore</i> pada AAC.....	11
Gambar 2.4 Variasi fasa pada sistem CaO–Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –SiO <sub>2</sub> –H <sub>2</sub> O dalam rentang suhu 50°C sampai 1000°C.....	12
Gambar 2.5 <i>Tobermorite</i> kristalin yang membentuk matriks AAC .....	13
Gambar 2.6 Diagram skematik pengujian XRD.....	15
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> penelitian.....	16
Gambar 3.2 Bahan baku penyusun bata ringan .....	19
Gambar 3.3 Proses pembuatan bata ringan AAC .....	21
Gambar 3.4 <i>Autoclave</i> PT. Corin Mulia Gemilang .....	22
Gambar 3.5 Ukuran sampel uji bata ringan .....	23

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan mineral pada semen Portland .....	8
Tabel 3.1 Rasio komposisi dengan variasi Al yang digunakan .	20
Tabel 3.2 Rasio komposisi dengan variasi Ca yang digunakan.	20
Tabel 3.3 Rasio komposisi dengan variasi Si yang digunakan..	20
Tabel 4.1 Hasil uji EDAX kandungan pasir silika (Wt%).....	32
Tabel 4.2 Hasil uji EDAX kandungan pasir silika (At%) .....	32
Tabel 4.3 Hasil uji EDAX kandungan semen (Wt%).....	33
Tabel 4.4 Hasil uji EDAX kandungan semen (At%).....	33
Tabel 4.5 Hasil perhitungan porositas bata ringan .....	38
Tabel 4.6 Hasil perhitungan bata ringan.....	39

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Inovasi bata ringan saat ini perlahan-lahan dikembangkan secara signifikan sehingga dapat diaplikasikan pada pembangunan infrastruktur yang ada di Indonesia. Apabila inovasi ini dapat berkembang dengan baik dan berhasil diaplikasikan pada bangunan bertingkat, nantinya diharapkan bangunan tersebut bisa menerima beban lebih hemat dan juga lebih efisien.<sup>[1]</sup>

Pada umumnya material penyusun bata ringan berupa semen, pasir silika, air, kapur, serta *foam agent* (pasta aluminium). Pada umumnya material penyusun beton ringan berupa semen, air, serta bahan tambahan kimia. Permasalahannya adalah bahan-bahan pembuat beton yang sekarang dipakai masih monoton. Bahan-bahan tersebut merupakan sumber daya alam yang tak dapat diperbaharui seperti pasir, semen, dan lain-lain. Untuk saat ini ketersediaan bahan-bahan tersebut masih banyak, namun di masa yang akan datang, bahan-bahan tersebut akan menjadi langka atau bahkan akan habis. Maka perlu adanya bahan alternatif yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pengganti bahan baku beton<sup>[2][3]</sup>

Saat ini produk bata ringan sangat banyak diperjualbelikan di pasaran. Namun dari uji sampel yang telah dilakukan dari beberapa tempat, produk bata ringan yang ada, belum memenuhi standar kelayakan untuk digunakan dalam konstruksi bangunan, seperti kuat tekan yang sangat terbatas. Padahal penggunaan bata untuk infrastruktur bangunan, tidak lepas dari fungsinya untuk menahan beban, dimana diperlukan fondasi yang kokoh dan kuat guna menopang semua beban. Penggunaan material dengan kemampuan topang yang baik dapat mengurangi dan meminimalisir kemungkinan bangunan runtuh. Untuk itu diperlukan adanya penelitian lebih lanjut terkait kuat beban bata ringan dibandingkan dengan menggunakan bata konvensional. Kemampuan tekan suatu material ditentukan oleh kekuatan dari

material dalam menerima beban, semakin lama dan semakin besar beban yang dapat diterima oleh suatu material, semakin baik pula kekuatan tekannya. Pada kasus bata ringan, faktor - faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan antara lain massa jenis, kandungan uap air, berat beban (tekanan yang diberikan), porositas, dan komposisi mineral penyusun bata ringan<sup>[4]</sup>

Dalam proses pembuatan bata ringan perlu adanya kesetimbangan pada cara pencampuran bahan-bahan. Bahan-bahan yang dicampurkan haruslah merata dan homogen, karena dapat mempengaruhi struktur dan bentuk mikro dalam bata ringan saat jadi. Untuk mengetahui unsur, fasa, senyawa struktur mikro bata ringan seperti yang diinginkan diperlukan adanya suatu uji material dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*)<sup>[5]</sup>.

Ada banyak penelitian penelitian tentang bata ringan, guna memaksimalkan dan memperoleh hasil terbaik dari teknologi bata ringan. Berdasarkan penelitian Saleh, 2017 dengan menggantikan semen dengan menggunakan abu ampas tebu, namun dalam penelitiannya masih banyak mempunyai kekurangan yaitu densitas bata ringan yang terbentuk masih terlalu besar yaitu 1014–1037 kg/m<sup>3</sup>. Dan berdasarkan penelitian, Absa 2016, tentang penelitian produk bata ringan AAC dengan menggunakan simulasi jaringan syaraf tiruan, perlu dibuktikan dengan adanya penelitian secara eksperimen dengan melakukan fabrikasi bata ringan, dikarenakan penelitian secara simulasi dilakukan dengan asumsi keadaan yang ideal tanpa adanya faktor eksternal. Maka dari itu perlu adanya penelitian secara nyata untuk memperoleh formulasi komposisi bahan penyusun bata ringan terbaik dengan densitas sesuai batas bata ringan standar.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang diangkat pada Tugas Akhir ini adalah :

- a. Bagaimana pengaruh variasi komposisi Si, Ca, Al yang terkandung dalam semen, kapur, pasir silika dan aluminium pasta terhadap pembetukan fasa *tobermorite* pada sampel bata ringan?

- b. Bagaimana pengaruh variasi komposisi Si, Ca, Al yang terkandung dalam semen, kapur, pasir silika dan aluminium pasta terhadap besar nilai kuat tekan bata ringan?

### 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

- a. Menganalisa pengaruh variasi komposisi Si, Ca, Al yang terkandung dalam semen, kapur, pasir silika dan aluminium pasta terhadap pembentukan fasa *tobermorite* pada sampel bata ringan
- b. Mengetahui pengaruh variasi komposisi Si, Ca, Al yang terkandung dalam semen, kapur, pasir silika dan aluminium pasta terhadap besar nilai kuat tekan bata ringan

### 1.4 Batasan Masalah

Adapun lingkup kerja yang diangkat adalah sebagai berikut :

- a. Jenis bata ringan yang digunakan adalah jenis *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) dalam standar laboratorium.
- b. Variasi pembuatan dan pengujian yang digunakan menggunakan variasi Si, Ca, Al yang terkandung dalam semen, kapur, pasir silika dan aluminium pasta.
- c. Pengujian yang dilakukan berupa uji densitas, uji EDX, dan uji kuat tekan yang disesuaikan standar.
- d. Pengujian struktur mikro bata ringan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*).

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB II DASAR TEORI**

### **2.1 Bata Ringan**

Bata ringan adalah material yang menyerupai beton dan memiliki sifat kuat, tahan air dan api, awet (durabel) yang dibuat di pabrik menggunakan mesin. Bata ini cukup ringan, halus, dan memiliki tingkat kerataan yang baik. Bata ringan ini diciptakan agar dapat memperringan beban struktur dari sebuah bangunan konstruksi, mempercepat pelaksanaan, serta meminimalisasi sisa material yang terjadi pada saat proses pemasangan dinding berlangsung. Terdapat 2 jenis bata ringan *Cellular Lightweight Concrete* (CLC) dan *Autoclaved Aerated Concrete* AAC<sup>[1]</sup>.

#### **2.1.1 Cellular Lightweight Concrete (CLC)**

Bata ringan CLC adalah beton berpori yang mengalami proses *curing* secara alami, CLC adalah beton konvensional yang mana agregat kasar (kerikil) diganti dengan gelembung udara, dalam prosesnya menggunakan busa organik yang kurang stabil dan tidak ada reaksi kimia ketika proses pencampuran adonan, *foam* atau busa berfungsi hanya sebagai media untuk membungkus udara. Fabrikasi dan peralatan yang digunakan untuk menghasilkan CLC juga standar, sehingga produksi dengan mudah dapat pula diintegrasikan ke dalam pabrikasi beton konvensional. Hanya pasir, semen, air dan foam yang digunakan dan kepadatan yang didapatkan dapat disesuaikan mulai dari 350 kg/m<sup>3</sup> sampai 1800 kg/m<sup>3</sup> dan kekuatan dapat juga dicapai dari serendah 1,5 sampai lebih 30 N/mm<sup>2</sup><sup>[2]</sup>

Pasir sungai berukuran 2, 4, 6 dan 8mm dapat digunakan, tergantung pada kepadatan yang diinginkan<sup>[2] [3]</sup> Semen portland menawarkan kinerja paling optimal tetapi kebanyakan jenis lain semen juga bisa digunakan. Kepadatan beton bisa disesuaikan, berbagai ukuran dapat diproduksi, di atas kepadatan dari 1200 kg/m<sup>3</sup> (setengah dari berat beton konvensional) untuk aplikasi struktural dapat menggunakan rangka baja.

Pada CLC, gelembung udara yang dihasilkan benar-benar terpisah satu sama lain, sehingga penyerapan air jauh lebih sedikit dan baja tidak perlu dilapisi dengan lapisan anti korosi, beton dengan kepadatan diatas  $1.200 \text{ kg/m}^3$  juga tidak memerlukan plaster, seperti pada AAC, hanya cukup di cat saja. Penyerapan air lebih rendah daripada di AAC dan masih cukup baik dibandingkan dengan beton konvensional<sup>[3]</sup>.

CLC sama halnya dengan beton konvensional kekuatan akan bertambah seiring dengan waktu melalui kelembapan alamiah pada tekanan atmosfer saja. Meskipun tidak seringan AAC, CLC tetap menawarkan penurunan berat badan yang cukup besar dibandingkan dengan beton konvensional dan isolasi termal 500% lebih tinggi dan tahan api. Beton CLC menawarkan banyak ruang lingkup pengaplikasian, mulai dari isolasi atap rumah pada kepadatan serendah  $350 \text{ kg/m}^3$  sampai dengan produksi panel dan lantai beton dengan kepadatan  $1800 \text{ kg/m}^3$ <sup>[4]</sup>

### 2.1.2 *Autoclaved Aerated Concrete (AAC)*

Secara umum AAC adalah mortar dengan campuran semen, air kapur, pasir silika, dan *foam agent* sebagai bahan pengembang yang menyebabkan pembentukan pori – pori atau rongga dalam bata ringan. Bata ringan AAC adalah beton seluler dimana gelembung udara yang ada disebabkan oleh reaksi kimia, adonan AAC umumnya terdiri dari pasir kuarsa, semen, kapur, sedikit gipsum, 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<sup>[5]</sup>.

Adonan beton aerasi ini lantas dipotong sesuai ukuran. Adonan beton aerasi yang masih mentah ini, kemudian dimasukkan ke *autoclave chamber* atau diberi uap panas dan diberi tekanan tinggi. Suhu di dalam *autoclave chamber* sekitar  $180\text{--}190 \text{ }^\circ\text{C}$ . Hal ini dilakukan sebagai proses pengeringan atau

pematangan. Saat pencampuran pasir kuarsa, semen, kapur, gipsum, air, dan aluminium pasta, terjadi reaksi kimia. Bubuk aluminium bereaksi dengan kalsium hidroksida yang ada di dalam pasir kuarsa dan air sehingga membentuk hidrogen. Gas hidrogen ini membentuk gelembung-gelembung udara di dalam campuran beton tadi. Gelembung-gelembung udara ini menjadikan volumenya menjadi dua kali lebih besar dari volume semula. Di akhir proses pengembangan atau pembusaan, hidrogen akan terlepas ke atmosfer dan langsung digantikan oleh udara. Rongga-rongga udara yang terbentuk ini yang membuat beton ini menjadi ringan <sup>[6]</sup>.

## 2.2 Proses Pembuatan Bata Ringan

Proses pembuatan bata ringan dimulai dari pencampuran bahan baku berupa semen, pasir sebagai sumber silika ( $\text{SiO}_2$ ), kapur ( $\text{CaO}$ ), air dan serbuk aluminium.

### a. Semen

Semen merupakan hasil industri dari paduan bahan baku berupa batu kapur atau gamping sebagai bahan utama dan tanah liat atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk, yang mengeras atau membatu pada pencampuran dengan air <sup>[7]</sup>. Batu kapur merupakan bahan alam yang mengandung senyawa Kalsium Oksida ( $\text{CaO}$ ), sedangkan tanah liat, mengandung senyawa seperti Silika Oksida ( $\text{SiO}_2$ ), Aluminium Oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Besi Oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan Magnesium Oksida ( $\text{MgO}$ ). Semen yang digunakan dalam pembuatan AAC adalah semen *Portland*. Adapun kandungan mineral dari Semen *Portland* terurai dalam Tabel 2.1 di bawah ini :

**Tabel 2.1** Kandungan mineral pada semen Portland<sup>[4]</sup>

Mineral	Rumus Kimia	Komposisi Oksida	Singkatan
Trikalsium Silikat (Alite)	$\text{Ca}_3\text{SiO}_5$	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C3S
Dikalsium Silikat (Belite)	$\text{Ca}_2\text{SiO}_4$	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C2S
Trikalsium aluminat	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_4$	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C3A
Tetrakalsium aluminoforit	$\text{Ca}_4\text{AlnFe}_2$ $-\text{nO}_7$	$4\text{CaO}.\text{AlnFe}_2$ $-\text{nO}_3$	C4AF

b. Pasir

Batu pasir adalah batuan endapan yang terutama terdiri dari mineral berukuran pasir atau butiran batuan. Sebagian besar batu pasir terbentuk oleh kuarsa atau feldspar karena mineral-mineral tersebut paling banyak terdapat di kulit bumi. Seperti halnya pasir, batu pasir dapat memiliki berbagai jenis warna, dengan warna umum adalah coklat muda, coklat, kuning, merah, abu-abu dan putih. Karena lapisan batu pasir sering kali membentuk karang atau bentukan topografis tinggi lainnya, warna tertentu batu pasir dapat diidentifikasi dengan daerah tertentu. Sebagai contoh, sebagian besar wilayah di bagian barat Amerika Serikat dikenal dengan batu pasir warna merahnya<sup>[8]</sup>. Batu pasir tahan terhadap cuaca tapi mudah untuk dibentuk. Hal ini membuat jenis batuan ini merupakan bahan umum untuk bangunan dan jalan. Karena kekerasan dan kesamaan ukuran butirannya, batu pasir menjadi bahan yang sangat baik untuk dibuat menjadi batu asah (*grindstone*) yang digunakan untuk menajamkan pisau dan berbagai kegunaan lainnya.

c. Kapur

Batu gamping adalah batuan sedimen yang utamanya tersusun oleh kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dalam bentuk mineral kalsit. Batu gamping (batu kapur) merupakan batuan sedimen organik yang terbentuk dari akumulasi cangkang, karang, alga, dan pecahan-pecahan sisa organisme. Batu gamping juga dapat menjadi batuan sedimen kimia yang terbentuk oleh pengendapan kalsium karbonat dari air danau ataupun air laut. Pada prinsipnya, definisi batu gamping mengacu pada batuan yang mengandung setidaknya 50% berat kalsium karbonat dalam bentuk mineral kalsit<sup>[8]</sup> Sisanya, batu gamping dapat mengandung beberapa mineral seperti kuarsa, mineral lempung, pirit, siderit dan mineral-mineral lainnya. Bahkan batu gamping juga dapat mengandung nodul besar rijang, nodul pirit ataupun nodul siderit. Kandungan kalsium karbonat dari batugamping memberikan sifat fisik yang sering digunakan untuk mengidentifikasi batuan ini. Biasanya identifikasi batugamping dilakukan dengan meneteskan 5% asam klorida (HCl), jika bereaksi maka dapat dipastikan batuan tersebut adalah batu gamping.<sup>[9]</sup>

d. Air

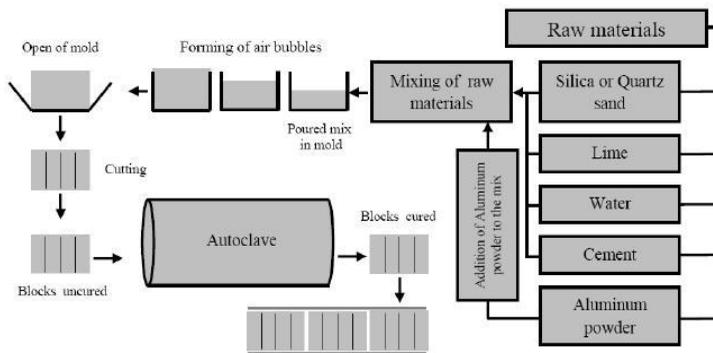
Air diperlukan pada pembuatan bata berpori untuk memicu proses kimia semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan bata. Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran bata. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran bata akan menurunkan kualitas bata, bahkan dapat mengubah sifat-sifat bata yang dihasilkan<sup>[9][10]</sup>. Air digunakan untuk membuat adukan menjadi bubur kental dan juga sebagai bahan untuk menimbulkan reaksi pada bahan lain untuk dapat mengeras. Oleh karena itu, air sangat dibutuhkan dalam pelaksanaan pengerjaan bahan. Tanpa air, konstruksi bahan tidak akan terlaksana dengan baik dan sempurna.

## e. Pasta Aluminium (Al)



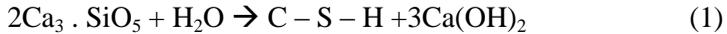
**Gambar 2.1** Serbuk aluminium yang digunakan pada pembuatan bata ringan <sup>[4]</sup>

Secara umum proses produksi AAC ditunjukkan pada Gambar 2.2 Bahan baku berupa pasir, kapur, air, dan semen dicampur dalam suatu wadah. Serbuk aluminium ditambahkan saat proses pencampuran berlangsung. Selanjutnya, campuran dipindahkan ke dalam cetakan (*molding*) <sup>[10]</sup>



**Gambar 2.2** Proses pembuatan AAC <sup>[4]</sup>

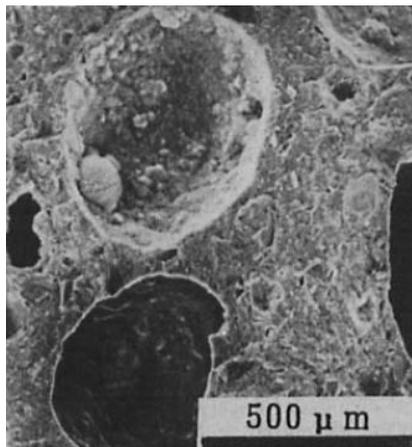
Saat berada di dalam cetakan, terjadi reaksi hidrasi antara trikalsium silikat yang terdapat pada semen dengan air membentuk kalsium silikat hidrat (CSH) dan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  sesuai dengan persamaan reaksi:



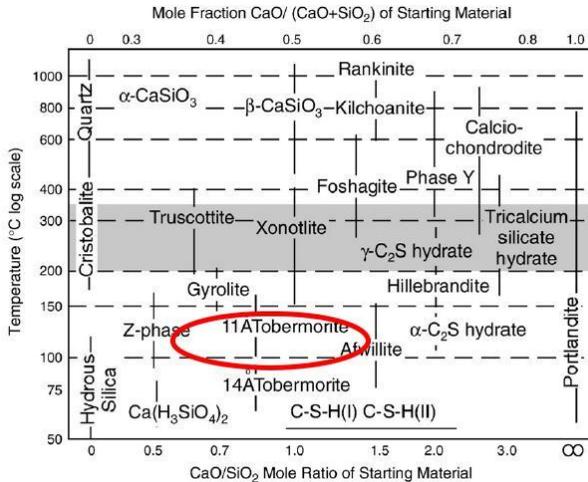
Selanjutnya,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  akan bereaksi dengan serbuk aluminium dan menghasilkan gas hidrogen sesuai dengan persamaan reaksi :



Reaksi ini menyebabkan campuran mengembang secara keseluruhan seperti tampak pada Gambar 2.2 di atas. Gas hidrogen yang dihasilkan akan keluar meninggalkan campuran dan digantikan oleh udara karena massa jenis gas hidrogen yang lebih ringan dibanding udara. Pada lokasi ini, terbentuklah *macropore* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 di bawah. Sementara itu, *micropore* terbentuk pada permukaan *macropore* [1][4].



**Gambar 2.3** Foto SEM yang menunjukkan keberadaan *macropore* dan *micropore* pada AAC <sup>[4]</sup>



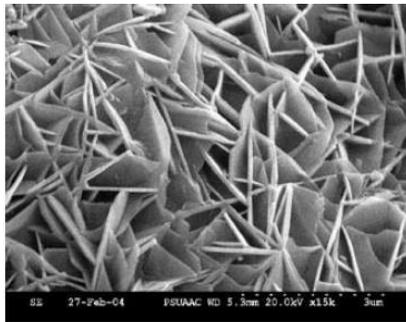
**Gambar 2.4** Variasi fasa pada sistem  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  dalam rentang suhu  $50^\circ\text{C}$  sampai  $1000^\circ\text{C}$  <sup>[8]</sup>

Peningkatan volume campuran bergantung pada jumlah serbuk aluminium yang ditambahkan ke dalam campuran. Semakin besar pengembangan yang terjadi, campuran akan memiliki massa jenis yang semakin kecil. Hal ini akan berpengaruh terhadap sifat fisik, mekanik, maupun sifat termal produk akhir bata ringan

Setelah dibiarkan selama beberapa saat di dalam cetakan, campuran akan mulai mengeras dan selanjutnya dipotong menggunakan kawat sesuai dengan ukuran yang diinginkan. Setelah itu, campuran dipindahkahkan ke dalam *oven autoclave* untuk dikeringkan. *autoclave* umumnya beroperasi pada suhu mencapai  $200^\circ\text{C}$  dalam tekanan 4 -16 MPa dan durasi selama 8-16 jam. Pada proses *autoclaving*, akan terjadi reaksi yang melibatkan C-S-H,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , dan kuarsa (*quartz*- $\text{SiO}_2$ ) yang terdapat pada pasir atau *flyash*. Jika pada reaksi hidrasi semen sebelumnya pasir atau *fly ash* bersifat inert atau dengan kata lain tidak ikut bereaksi, pada suhu *autoclave*, pasir akan bereaksi baik

itu dengan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  maupun dengan C-S-H untuk membentuk *tobermorite* ( $\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{17} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )<sup>[9]</sup>

Variasi fasa yang terbentuk pada sistem C-A-S-H pada rentang suhu 50 sampai 1000°C Fasa *tobermorite* terbentuk pada rasio  $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 0,8 - 1,5$ . Sedangkan Gambar 2.5 menunjukkan struktur kristalin fasa *tobermorite*. Bentuknya yang menyerupai bilah dapat saling mengunci satu sama lain sehingga memberikan kuat tekan yang lebih tinggi pada AAC dibanding CLC. *Tobermorite* yang terbentuk memiliki fasa kristalin dan semi kristalin



**Gambar 2.5** *Tobermorite* kristalin yang membentuk matriks AAC<sup>[10]</sup>.

### 2.3 Kekuatan Tekan

Kekuatan tekan adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan suatu material hancur bila diberi beban dengan gaya tekan tertentu. Kekuatan tekan dapat diukur dengan memasukkannya ke dalam kurva tegangan-regangan dari data yang didapatkan dari mesin uji. Beberapa bahan akan patah pada batas tekan, beberapa mengalami deformasi yang tidak dapat dikembalikan. Deformasi tertentu dapat dianggap sebagai batas kekuatan tekan, meski belum patah secara keseluruhan, terutama pada bahan yang tidak dapat kembali ke kondisi semula (*irreversible*). Pengetahuan mengenai kekuatan tekan merupakan kunci dalam mendesain sebuah struktur<sup>[10]</sup>

Untuk mengetahui kekuatan tekan bata ringan dilakukan pemeriksaan uji kuat tekan, dengan menggunakan Kekuatan tekan dapat diukur dengan menggunakan mesin uji tekan (*Compression Testing Machine*). Pada mesin uji tekan, sampel diletakkan dan diberikan beban sampai benda hancur, yaitu pada saat beban maksimum bekerja. Untuk menghitung besarnya nilai kuat tekan dapat dihitung secara matematis dengan menggunakan persamaan :

$$p = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

Dimana : F = Kuat tekan (N/mm<sup>2</sup>)  
 p = Gaya tekan maksimum (N)  
 A = Luas penampang sampel (mm<sup>2</sup>)

Secara teoritis faktor – faktor yang mempengaruhi hasil uji kuat tekan bata ringan meliputi <sup>[12]</sup>

1. Pasta semen
2. Volume rongga
3. Agregat
4. *Interface* (hubungan antara pasta semen dengan agregat)

## 2.4 X-Ray Diffraction (XRD)

*X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi unsur, senyawa, fasa dan struktur kristal suatu material secara kualitatif. Pada dasarnya, atom yang tersusun membentuk struktur kristal dan struktur mikro atau fasa dapat dianalisis melalui teknik eksperimental yang berbasis difraksi. Prinsip kerjanya electron yang dihasilkan oleh suatu filamen panas dalam keadaan vakum dan pada tegangan tinggi, ditumbukkan pada permukaan logam (Cu) dengan kecepatan tinggi akan menghasilkan sinar-X. Sinar-X tersebut ditembakkan pada sampel uji, sehingga terjadi penyerapan dan hamburan intensitas sinar-X oleh atom-atom dalam material sampel uji. Berkas sinar-X tersebut ada yang saling melemahkan karena fasanya berbeda dan ada yang saling menguatkan karena fasanya sama, sehingga terjadi difraksi ke

segala arah dengan memenuhi hukum Bragg (persamaan (2.2)).<sup>[14]</sup>

Hukum Bragg menyatakan bahwa perbedaan lintasan berkas difraksi sinar-X harus merupakan kelipatan panjang gelombang, secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$n\lambda = d \sin \theta \quad (2.2)$$

Keterangan:

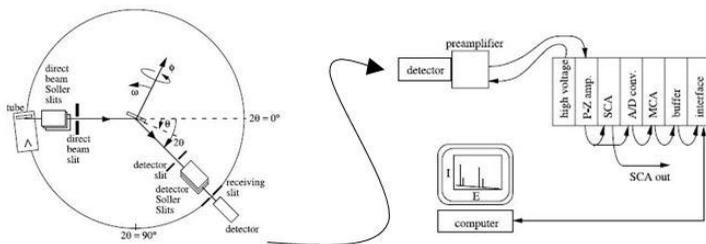
$n$  = bilangan bulat (1, 2, 3, ...)

$\lambda$  = panjang gelombang sinar-X (m)

$d$  = jarak antar bidang (m)

$\theta$  = sudut difraksi

Interferensi gelombang terjadi pada gelombang yang diemisikan atom yang berbeda jenis dan posisinya. Geometri yang direpresentasikan melalui arah gelombang membentuk pola difraksi yang dapat digunakan untuk menentukan sel satuan pada struktur kristal dan senyawa. Gambar 2.6 menunjukkan skema mekanisme kerja dari mesin XRD <sup>[15]</sup>



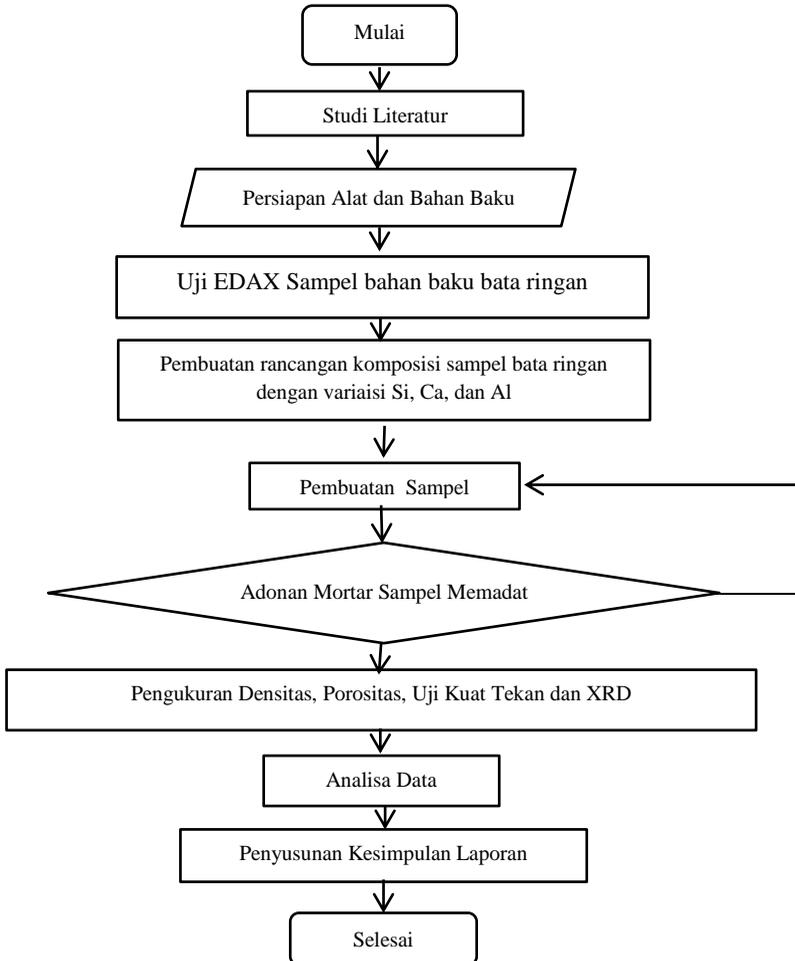
**Gambar 2.6** Diagram skematik pengujian XRD <sup>[15]</sup>

Detektor akan bergerak sepanjang lintasan  $2\theta$  dalam kecepatan sudut konstan untuk mendeteksi berkas-berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel uji. Grafik karakterisasi yang terbentuk, akan menghasilkan spektrum puncak - puncak difraksi dengan intensitas tertentu sepanjang nilai  $2\theta$ , dan membentuk pola difraksi pada setiap padatan kristalin tertentu, sehingga dapat menampilkan hasil identifikasi unsur, senyawa ataupun fasa yang terdapat pada sampel uji. <sup>[15][16]</sup>

Interferensi gelombang terjadi pada gelombang yang diemisikan atom yang berbeda jenis dan posisinya. Geometri yang direpresentasikan melalui arah gelombang membentuk pola difraksi yang dapat digunakan untuk menentukan sel satuan pada struktur kristal dan senyawa. Semakin tinggi intensitas puncak difraksi yang terbentuk, menunjukkan material yang terkandung dalam sampel uji semakin kristalin. Begitu juga sebaliknya, semakin rendah intensitas dan semakin lebar puncak difraksi yang ada menunjukkan bahwa material yang terkandung berbentuk amorf. <sup>[15][16]</sup>

### BAB III METODE PENELITIAN

Adapun metodologi tugas akhir ini dilakukan berdasarkan metodologi sesuai diagram alir berikut :



**Gambar 3.1** Flowchart Penelitian

Berdasarkan dari diagram alir di atas dapat dijelaskan sebagai berikut :

### **3.1 Studi Literatur**

Studi Literatur ini dilakukan dengan mengumpulkan berbagai teori yang dapat menunjang untuk menyelesaikan pengerjaan Tugas Akhir. Literatur yang digunakan berasal dari berbagai jurnal-jurnal Internasional, Tugas Akhir yang telah dilakukan sebelumnya oleh mahasiswa lain, dan berbagai referensi lainnya.

### **3.2 Persiapan Alat dan Bahan Baku**

Tahapan ini dilakukan dengan menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk melaksanakan tugas akhir ini. Adapun alat-alat yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Oven
- b. Timbangan Analitik
- c. Gelasukur (*Beaker*)
- d. Spatula
- e. Mortar
- f. Sendok (alat pengaduk)
- g. Penggaris
- h. Kamera digital
- i. Cetakan
- j. *Autoclave*

Bahan-bahan yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Pasir silika
- b. Semen
- c. Batu kapur
- d. Air
- e. Serbuk Aluminium



**Gambar 3.2** Bahan baku penyusun bata ringan

### 3.3 Pengujian EDAX

Pengujian EDAX dilakukan untuk mengetahui komposisi masing–masing bahan baku yang digunakan berdasarkan hitungan wt%, yang dilakukan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.

### 3.4 Rancangan Komposisi Sampel Bata Eingan

Adapun rancangan komposisi sampel acuan yang digunakan, ditampilkan pada Tabel 3.1. Sedangkan untuk kandungan komposisi masing–masing bahan diuraikan dalam Tabel 3.2 berdasarkan perbandingan rasio massa material per massa sampel bata ringan (wt%). Kandungan komposisi bahan sampel yang digunakan dijadikan acuan berdasarkan pada penelitian sebelumnya<sup>[1]</sup>

Pada percobaan ini, pembuatan sampel ini dibuat cetakan dengan ukuran 20 cm x 10cm x 15 cm (volume = 0.0045m<sup>3</sup>). Maka didapatkan rancangan pembuatan sampel masing–masing variasi komposisi. Berikut ini merupakan rincian komposisi bahan–bahan yang digunakan :

**Tabel 3.1** Rasio komposisi dengan variasi Al yang digunakan

<b>Al (gr)</b>	<b>Semen (gr)</b>	<b>Kapur (gr)</b>	<b>Pasir (gr)</b>	<b>Air (gr)</b>
13,635	454,5	227,25	709,02	1278,69
27,27	454,5	227,25	709,02	1265,055
54,54	454,5	227,25	709,02	1237,785

**Tabel 3.2** Rasio komposisi dengan variasi Ca yang digunakan

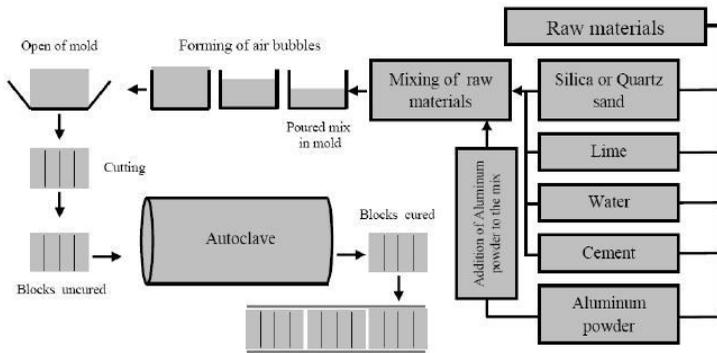
<b>Al (gr)</b>	<b>Semen (gr)</b>	<b>Kapur (gr)</b>	<b>Pasir (gr)</b>	<b>Air (gr)</b>
27,27	272,7	136,35	709,02	1537,755
27,27	454,5	227,25	709,02	1265,055
27,27	599,94	299,97	709,02	1046,895

**Tabel 3.3** Rasio komposisi dengan variasi Si yang digunakan

<b>Al (gr)</b>	<b>Semen (gr)</b>	<b>Kapur (gr)</b>	<b>Pasir (gr)</b>	<b>Air (gr)</b>
27,27	454,5	227,25	545,4	1278,69
27,27	454,5	227,25	709,02	1265,055
27,27	454,5	227,25	818,1	1237,785

### 3.5 Pembuatan Sampel Bata Ringan

Pembuatan sampel dengan melakukan pencampuran semua bahan seperti semen, pasir, kapur, air dan aluminium pasta, yaitu untuk mengetahui pengaruh komposisi masing-masing hingga proses pencetakan. Adapun proses pembuatan bata ringan AAC dijelaskan sebagai berikut:



**Gambar 3.3** Proses pembuatan bata ringan AAC

1. Menyiapkan alat dan bahan-bahan baku seperti semen, pasir silika, kapur, air dan pasta aluminium.
2. Memasukkan pasir silika ke dalam wadah sesuai takaran yang sudah ditentukan, setelah itu menuangkan air secukupnya, kemudian dilakukan pengadukan secara merata.
3. Memasukkan semen ke dalam wadah sesuai takaran yang sudah ditentukan, dan dilakukan pengadukan secara merata, hingga adonan homogen.
4. Setelah homogen, memasukkan serbuk kapur ke dalam wadah. Namun dalam proses ini pengadukan tidak boleh dilakukan dalam durasi lama, dikhawatirkan adonan akan beraksi dahulu sebelum dituang ke dalam cetakan.
5. Kemudian memasukkan pasta aluminium, yang sebelumnya sudah dilarutkan dalam air.
6. Memasukkan adonan mortar ke dalam cetakan yang sudah ditentukan.
7. Ditunggu beberapa saat hingga adonan mortar kering, untuk kemudian dimasukkan ke dalam *autoclave*.
8. Proses *autoclaving* berlangsung selama 6–7 jam, beroperasi pada temperatur 180–190 °C .
9. Sampel dipotong sesuai dengan ukuran yang diinginkan.



**Gambar 3.4** Autoclave PT. Corin Mulia Gemilang

### 3.6 Pengukuran Densitas

Pengukuran densitas bata ringan buatan dilakukan dengan cara mengukur massa dan volumenya, Dimana sampel yang dibuat akan dicetak dalam cetakan ukuran 30 cm x 10 cm x 15 cm (volume = 0.0045 m<sup>3</sup>). Dengan asumsi densitas ideal yang diharapkan sebesar 606 kg/m<sup>3</sup>, maka massa total yang dibutuhkan 2.727 kg. Untuk mengukur nilai densitas sampel bata ringan ini dengan membandingkan nilai massa sampel bata ringan dengan nilai volume sampel bata ringan, dengan menggunakan persamaan 3.1.

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (3.1)$$

Dimana :  $\rho$  = Nilai densitas (kg/m<sup>3</sup>)  
 $M$  = Massa sampel bata ringan (kg)  
 $V$  = Volume sampel bata ringan (m<sup>3</sup>)

### 3.7 Pengujian dan Pengukuran Porositas Bata ringan

Porositas adalah rasio dari pori-pori atau ruang kosong dalam sebuah material terhadap volumenya. Berdasarkan ASTM 642-90 , *Standard Test Method for Specific Gravity, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*, porositas dapat dihitung dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mengukur berat kerang, dengan cara mengeringkan benda uji ke dalam oven dengan temperatur konstan 105°C selama kurang lebih 24 jam. Kemudian sampel uji dibiarkan beberapa waktu hingga mencapai suhu ruang (25°C), kemudian ditimbang massa sampel uji.

2. Mengukur berat basah, dengan cara merendam sampel uji yang telah mencapai suhu ruang ( $25^{\circ}\text{C}$ ) ke dalam wadah berisi air (diusahakan seluruh bagian sampel uji terendam). Setelah itu sampel uji diangkat dan dibiarkan beberapa saat hingga tidak ada lagi air yang menetes. Kemudian ditimbang kembali massa sampel uji.
3. Mengukur berat semu, dengan cara merebus air pada suhu  $110^{\circ}\text{C}$  dan saat mencapai suhu  $110^{\circ}\text{C}$  sampel uji tadi direndam selama kurang lebih 14 jam, setelah itu dipindahkan ke wadah berisi air dengan suhu ruang selama 5 jam. Lalu diukur berat sampel uji dalam air.

Setelah itu dilakukan perhitungan nilai porositas dengan menggunakan persamaan 3.2.

$$\% \text{ porositas} = (C - A) / (C - D) \times 100 \% \quad (3.2)$$

Dimana :

C = berat sampel uji setelah direndam (di udara) (N)

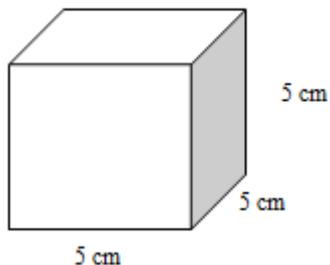
A = berat setelah dikeringkan dalam oven (di udara) (N)

D = berat setelah direbus dan direndam dalam air (N)

### 3.8 Pengujian Kuat Tekan

Untuk mengetahui kekuatan tekan bata ringan dilakukan pengujian kuat tekan, dengan menggunakan mesin uji tekan (*Compression Testing Machine*) di PT. Corin Mulia Gemilang Sidoarjo. Untuk ukuran sampel bata ringan yang diuji yaitu 5cm x 5cm x 5cm. Pada mesin uji tekan, sampel diletakkan dan diberikan beban sampai benda hancur, yaitu pada saat beban maksimum bekerja. Untuk menghitung besarnya nilai kuat tekan dapat dihitung secara matematis dengan menggunakan persamaan 2.1. Dimana keluaran yang ditunjukkan oleh alat ukur *compressive machine* adalah berupa besarnya gaya maksimal yang dapat ditahan oleh sampel bata ringan. Dimana *Compression Testing Machine* memiliki beban maksimal sebesar 300 kN. Standar pengujian kuat tekan yang digunakan sesuai dengan ASTM C 133

– 1997, *Standard Test Methods fo Cold Crushing Strength and Modulus of Rupture of Refractories.*



**Gambar 3.5** Ukuran sampel uji bata ringan

### 3.9 Analisa Data

Analisa data diperoleh dari himpunan data–data dari pengukuran dan pengujian sebelumnya, serta melakukan perhitungan dan validasi data.

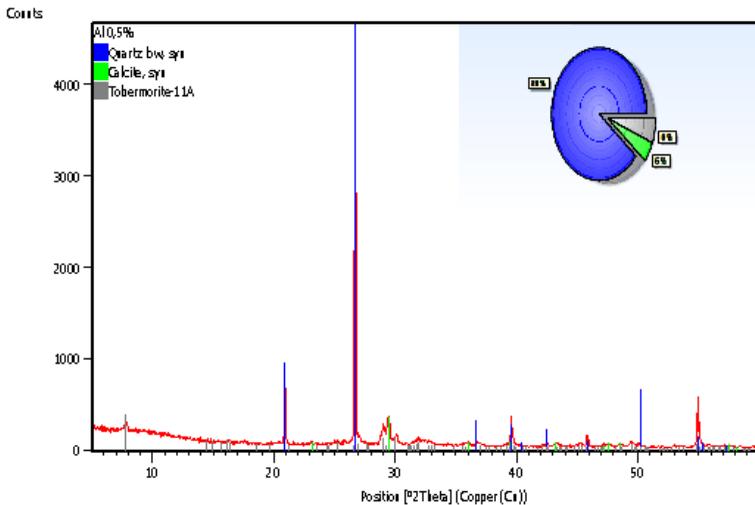
## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD)

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui senyawa-senyawa yang terbentuk dalam sampel bata ringan dan tingkat kristalinitas dari masing-masing sampel, informasi yang diinginkan yaitu jenis kristal yang terbentuk, persentase jenis kristal dalam sampel dan ukuran kristal tiap masing-masing puncak yang terbentuk.

#### 4.1.1 Karakterisasi XRD Sampel Al 0,5%

Hasil karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada sampel bata ringan dengan komposisi Al 0,5% dapat dilihat pada Gambar 4.1.

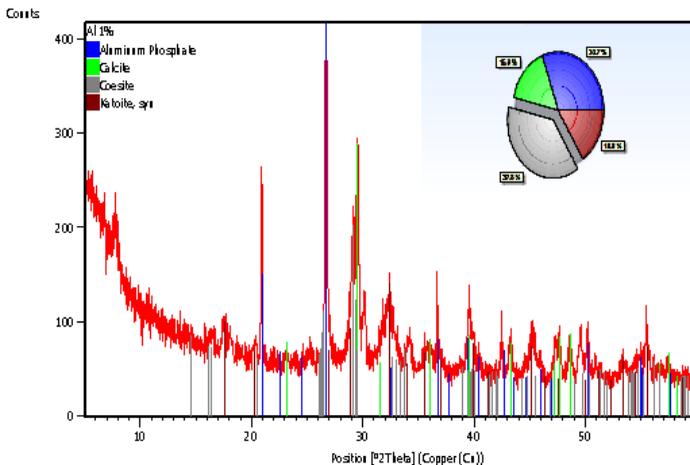


**Gambar 4.1** Hasil XRD Sampel Al 0,5%

Pada karakterisasi ini dapat diamati bahwa sampel terdapat tiga senyawa yaitu *Quartz* ( $\text{SiO}_2$ ), *Calcite*  $\text{Ca}(\text{CO}_3)$  dan *Tobermorite*  $\text{Ca}_5(\text{OH})_2\text{Si}_6\text{O}_{16} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . Gambar 4.1 menunjukkan hasil pola XRD untuk fasa *Tobermorite* pada sampel bata ringan dengan variasi komposisi Al 0,5%. Berdasarkan hasil XRD pada grafik tersebut dapat dilihat dan dihitung besarnya fraksi senyawa–senyawa yang terbentuk, dengan membandingkan presentase senyawa dengan jumlah presentase senyawa yang terbentuk. Berikut hasil perhitungan fraksi masing – masing senyawa, antara lain senyawa *Tobermorite* sebesar 11,98%, *Quartz* sebesar 63,09%, *Calcite* sebesar 24,91%.

#### 4.1.2 Karakterisasi XRD Sampel Al 1 % ( Ca 26%, Si 25%)

Hasil karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada sampel bata ringan dengan komposisi Al 1% dapat dilihat pada Gambar 4.2.



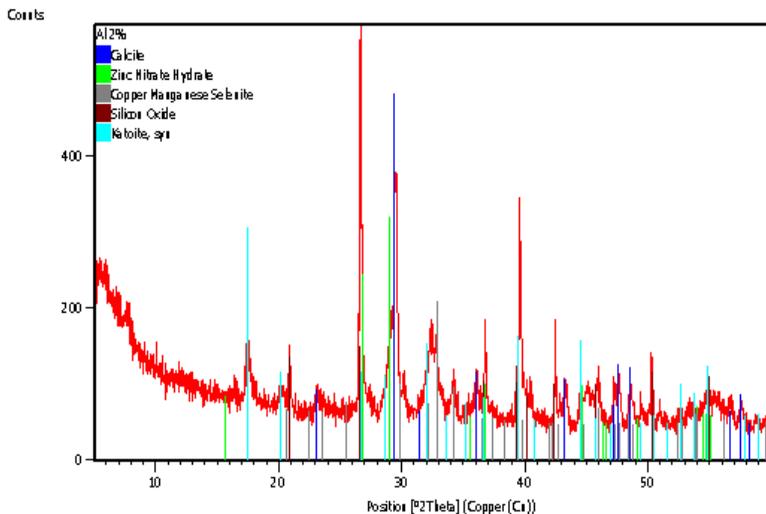
**Gambar 4.2** Hasil XRD Sampel Al 1%

Untuk sampel bata ringan variasi Al 1% terdapat empat senyawa yang terbentuk, yaitu *Berlinite*  $\text{AlPO}_4$ , *Calcite*

$\text{Ca}(\text{CO}_3)$ , *Coesite* ( $\text{O}_2\text{Si}$ ), dan *Katoite* ( $\text{Al}_{3,5}\text{Ca}_3\text{H}_{7,5}\text{O}_{12}$ ) Dapat dilihat dari Gambar 4.2 pada sampel ini tidak terbentuk fasa *Tobermorite*. Ini dimungkinkan karena adanya proses *autoclaving* yang kurang merata secara sempurna. Namun dapat dilihat dan dihitung besarnya fraksi mol senyawa – senyawa yang terbentuk yaitu untuk *Berlinite* sebesar 34,76%, *Calcite* sebesar 23,28%, *Coesite* sebesar 30,24%, dan *Katoite* sebesar 11,72%.

#### 4.1.3 Karakterisasi XRD Sampel Al 2%

Hasil karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada sampel bata ringan dengan komposisi Al 2% dapat dilihat pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Hasil XRD Sampel Al 2%

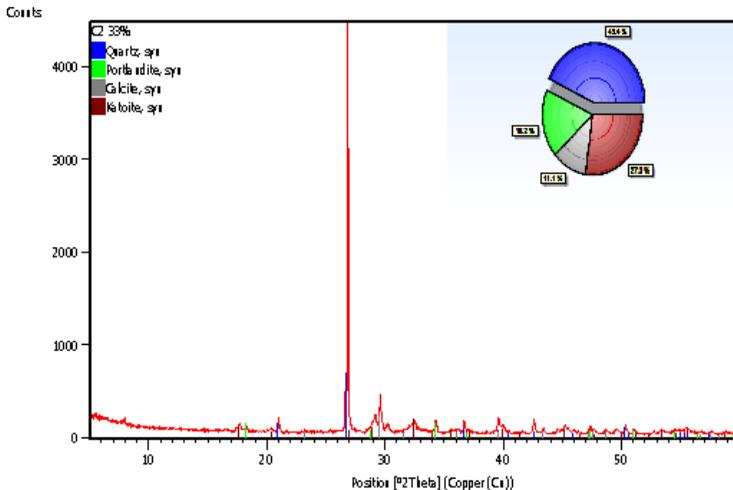
Untuk sampel bata ringan variasi Al 2% terdapat 4 senyawa yang terbentuk, yaitu *Calcite*  $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ , *Zinc Nitrate Hydrate*

( $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), *Copper Manganese Selenite* ( $\text{Cu}_{0.75}\text{Mn}_{0.25}$ ), ( $\text{SeO}_3$ ), *Silicon Oxide* ( $\text{SiO}_2$ ) dan *Katoite* ( $\text{Al}_{3.5}\text{Ca}_3\text{H}_{7.5}\text{O}_{12}$ ).

Dapat dilihat dari Gambar 4.3 pada sampel ini tidak terbentuk fasa *Tobermorite*. Ini dimungkinkan karena adanya proses *autoclaving* yang kurang merata secara sempurna. Pada sampel ini terdapat unsur Zn, Cu, dan Mn, hal ini kemungkinan terjadi karena adanya faktor lingkungan, mungkin pada saat pencampuran bahan dan proses *autoclave* lingkungan pada saat itu tidak seratus persen steril sehingga terdapat pengotor yang masuk dalam sampel. Dari data uji tersebut dapat diketahui besarnya fraksi mol masing–masing senyawa, yaitu *Calcite* sebesar 29,07%, *Zinc Nitrate Hydrate* sebesar 29,69%, *Copper Manganese Selenite* sebesar 16,05%, *Silicon Oxide* sebesar 13,12%, dan *Katoite* sebesar 12,07%.

#### 4.1.4 Karakterisasi XRD Sampel Ca 33%

Hasil karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada sampel bata ringan dengan komposisi Ca 33% dapat dilihat pada Gambar 4.4. Untuk sampel bata ringan variasi Al 2% terdapat 4 senyawa yang terbentuk, yaitu *Quartz* atau *Silicon Oxide* ( $\text{SiO}_2$ ), *Portlandite*  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , *Calcite*  $\text{Ca}(\text{CO}_3)$  dan *Katoite* ( $\text{Al}_{3.5}\text{Ca}_3\text{H}_{7.5}\text{O}_{12}$ ).

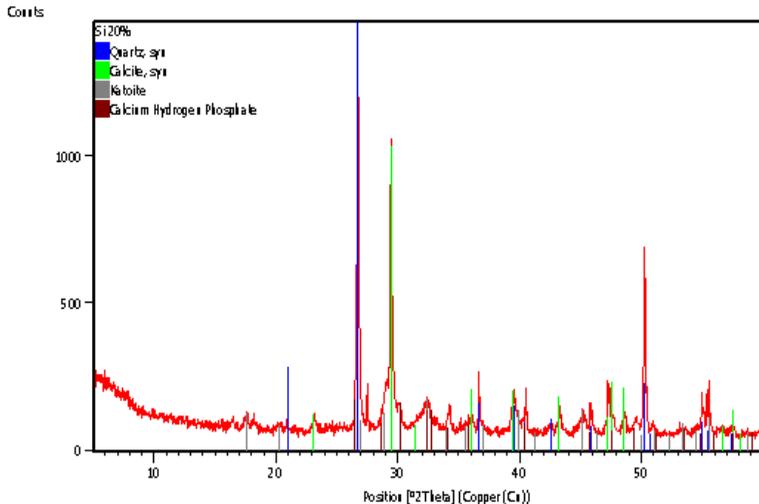


**Gambar 4.4** Hasil XRD Sampel Ca 33%

Dapat dilihat dari Gambar 4.4 pada sampel ini tidak terbentuk fasa *tobermorite*. Ini dimungkinkan karena adanya proses *autoclaving* yang kurang merata secara sempurna. Dari data uji tersebut dapat diketahui besarnya fraksi mol masing-masing senyawa, yaitu *Silicon Oxide* sebesar 16,59%, *Portlandite* sebesar 7,09%, *Calcite* sebesar 5,40% dan *Katoite* sebesar 70,92%.

#### 4.1.5 Karakterisasi XRD Sampel Si 20%

Hasil karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada sampel bata ringan dengan komposisi Al 2% dapat dilihat pada Gambar 4.5. Untuk sampel bata ringan variasi Al 2% terdapat 4 senyawa yang terbentuk, yaitu *Quartz* atau *Silicon Oxide* ( $\text{SiO}_2$ ), *Portlandite*  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , *Calcite*  $\text{Ca}(\text{CO}_3)$  dan *Katoite* ( $\text{Al}_{3.5}\text{Ca}_3\text{H}_{7.5}\text{O}_{12}$ ).

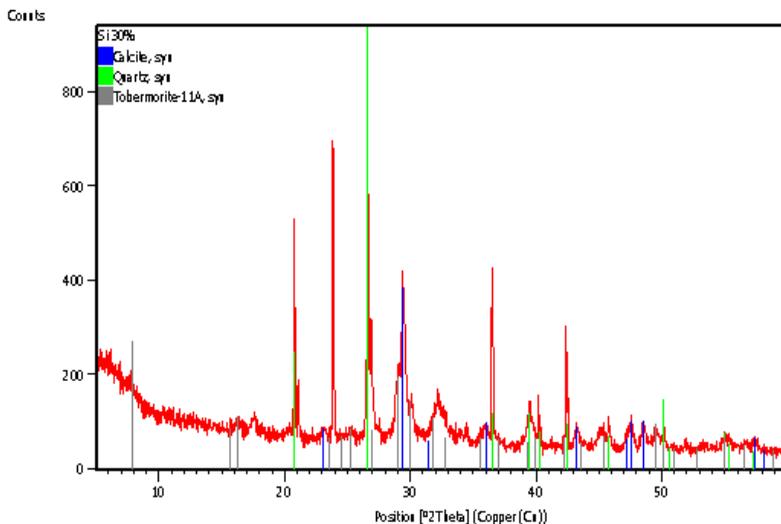


**Gambar 4.5** Hasil XRD Sampel Si 20%

Untuk sampel bata ringan variasi Al 2% terdapat empat senyawa yang terbentuk, yaitu *Quartz* atau *Silicon Oxide* ( $\text{SiO}_2$ ) *Calcium Hydrogen Phosphate*  $\text{CaHPO}_4$ , *Calcite*  $\text{Ca}(\text{CO}_3)$  dan *Katoite* ( $\text{Al}_{3.5}\text{Ca}_3\text{H}_{7.5}\text{O}_{12}$ ). Dapat dilihat dari Gambar 4.5 pada sampel ini tidak terbentuk fasa *tobermorite*. Ini dimungkinkan karena adanya proses *autoclaving* yang kurang merata secara sempurna. Dari data uji tersebut dapat diketahui besarnya fraksi mol masing – masing senyawa, yaitu *Quartz* sebesar 34,92%, *Calcite* sebesar 36,94%, *Katoite* sebesar 7,98%, dan *Calcium Hydrogen Phosphate* sebesar 20,16%.

#### 4.1.6 Karakterisasi XRD Sampel Si 30%

Hasil karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada sampel bata ringan dengan komposisi Al 2% dapat dilihat pada Gambar 4.6.



**Gambar 4.6** Hasil XRD Sampel Si 30%

Pada karakterisasi ini dapat dilihat bahwa sampel terdapat tiga senyawa yaitu *Quartz* ( $\text{SiO}_2$ ), *Calcite*  $\text{Ca}(\text{CO}_3)$  dan *Tobermorite*  $\text{Ca}_5(\text{OH})_2\text{Si}_6\text{O}_{16} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . Gambar 4.1 menunjukkan hasil pola XRD untuk nanopartikel *Tobermorite* pada sampel bata ringan dengan variasi komposisi Si 30%. Berdasarkan hasil XRD pada grafik tersebut dapat dilihat dan dihitung besarnya fraksi mol senyawa–senyawa yang terbentuk, yaitu *Tobermorite* sebesar 20,82%, *Quartz* sebesar 55,09% dan *Calcite* sebesar 24,09%.

#### 4.2 Hasil Uji EDX Kandungan Pasir Silika

Berdasarkan hasil uji EDX kandungan pasir silika yang telah dilakukan di Laboratorium SEM – EDX Departemen Material dan Metalurgi ITS, ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan 4.2

**Tabel 4.1** Hasil uji EDAX kandungan pasir silika (Wt%)

Elemen	T1 (Wt%)	T2 (Wt%)	T3 (Wt%)	T rata-rata (Wt%)
OK	48,64	41,17	43,75	44,52
SiK	51,36	58,83	56,25	55,48

**Tabel 4.2** Hasil uji EDAX kandungan pasir silika (At%)

Elemen	T1 (At%)	T2 (At%)	T3 (At%)	T rata-rata (At%)
OK	62,44	55,12	57,73	58,43
SiK	37,56	44,88	42,27	41,57

Dapat dilihat dari hasil uji EDX di atas, bahwa unsur yang paling dominan dalam sampel uji pasir silika yang digunakan yaitu O dan Si dengan rata-rata sebesar 44,52 wt% dan 55,48 wt%. Ini menunjukkan di dalam sampel pasir silika terdapat kandungan *pure* (murni) SiO<sub>2</sub> tanpa adanya unsur pengotor lainnya.

### 4.3 Hasil Uji EDX Kandungan Semen

Berdasarkan hasil uji EDX kandungan semen yang telah dilakukan di Laboratorium SEM – EDX Departemen Material dan Metalurgi ITS, ditunjukkan pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4

**Tabel 4.3** Hasil uji EDAX kandungan semen (Wt%)

Elemen	T1 (Wt%)	T2 (Wt%)	T3 (Wt%)	T rata-rata (Wt%)
OK	26,29	22,48	29,28	26,02
MgK	01,07	01,25	01,48	01,27
AlK	02,13	02,03	02,77	02,31
SiK	06,30	08,10	09,57	07,99
S K	01,51	01,02	00,93	01,15
K K	01,39	01,00	00,79	01,06
CaK	56,70	61,72	51,55	56,66
FeK	04,60	02,41	03,61	03,54

**Tabel 4.4** Hasil uji EDAX kandungan semen (At%)

Elemen	T1 (At%)	T2 (At%)	T3 (At%)	T rata-rata (At%)
OK	46,02	40,61	49,00	45,21
MgK	01,24	01,48	01,63	01,45
AlK	02,21	02,17	02,75	02,38
SiK	06,28	08,34	09,12	07,91
K K	01,32	00,92	00,78	01,01
S K	00,99	00,74	00,54	00,75
CaK	39,62	44,50	34,43	39,52
FeK	02,31	01,25	01,73	01,76

Dapat dilihat dari hasil uji EDX di atas, bahwa unsur yang paling dominan dalam sampel uji semen portland yaitu Ca dengan rata-rata sebesar 56,66 wt% kemudian unsur O dengan rata-rata sebesar 26,02 wt%, Na 3,54 wt% dan unsur penyusun lainnya.

#### 4.4 Pembuatan Sampel Bata Ringan

Pembuatan sampel bata ringan dilakukan dengan pencampuran semua bahan, antara lain pasir silika, kapur, semen, pasta aluminium dan air. Pada tahap ini dilakukan percobaan beberapa komposisi untuk mendapatkan struktur bata ringan satndar. Pada percobaan pembuatan sampel untuk variasi komposisi Al ini, variabel komposisi semen, kapur dan pasir dibuat tetap. Berdasarkan penelitian sebelumnya bahwa rasio komposisi terbaik bata ringan dengan densitas  $606.97 \text{ kg/m}^3$  menghasilkan besar kuat tekan 5.59 Mpa, terdiri dari 29.62 wt% Si, 25.89 wt% Ca, 1.69 wt% dan 41.19 wt% O<sup>[12]</sup>.

Berikut adalah foto fisik sampel – sampel bata ringan yang telah dibuat dengan menggunakan variasi komposisi Si, Ca, Al yang terkandung dalam bahan–bahan penyusun bata ringan AAC.



(a.) Al 0,5%

(b.) Al 1%

(c.) Al 2%

**Gambar 4.7** Hasil Bata Ringan dengan Variasi Aluminium

Dapat dilihat dari gambar 4.7 penambahan komposisi aluminium pada bata ringan membuat pori-pori bata ringan semakin mengecil, untuk sampel bata ringan Al 2% nampak pori tidak merata sedangkan pada Al 0,5% pori - pori besar. Hal ini dimungkinkan karena pada proses pembuatan bata ringan dengan komposisi yang sama dan menggunakan variasi aluminium pasta yang berbeda. Aluminium pasta yang digunakan mempengaruhi cepat lambatnya proses pengembangan adonan mortar, Ketika penggunaan komposisi aluminium pasta terbanyak yaitu 2%, semakin cepat reaksi yang terjadi di dalam bata ringan, dan pori-pori yang terbentuk tidak merata, serta pada beberapa bagian mengalami pembentukan pori – pori yang lebih besar.



(a.) Ca 15%

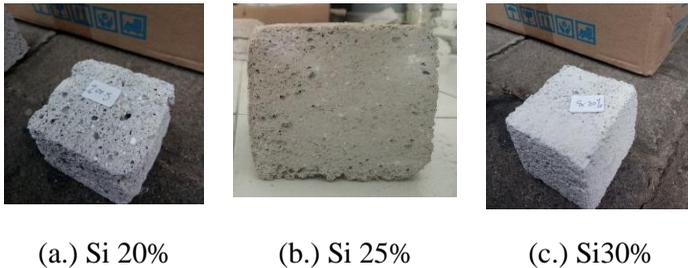
(b.) Ca 25%

(c.) Ca 33%

**Gambar 4.8** Hasil Bata Ringan dengan Variasi Kalsium

Untuk bata ringan dengan variasi kalsium, pada bata ringan ringan dengan komposisi Ca 15% tidak jadi, dikarenakan saat sampel bata ringan diangkat dari cetkan terlalu rapuh (berupa

bongkahan pasir). Dapat dilihat dari gambar 4.8 penambahan kalsium juga mempengaruhi pori pada bata ringan. Dan pada sampel bata ringan variasi komposisi Ca 33% terlihat ada bercak putih, bercak putih tersebut dimungkinkan adalah kapur yang gagal bereaksi secara sempurna dengan bahan lainnya ketika diaduk.



**Gambar 4.9** Hasil Bata Ringan dengan Variasi Silika

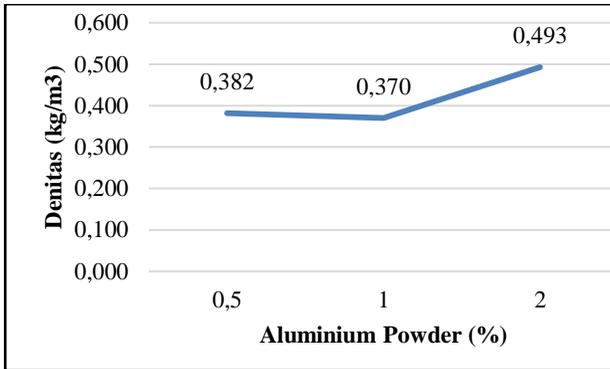
Dapat dilihat dari gambar 4.9 penambahan komposisi silika pada bata ringan membuat pori-pori bata ringan semakin mengecil dan semakin rapat, untuk sampel bata ringan Si 20% - 30% nampak pori-pori yang merata.

## 4.5 Pengujian Bata Ringan

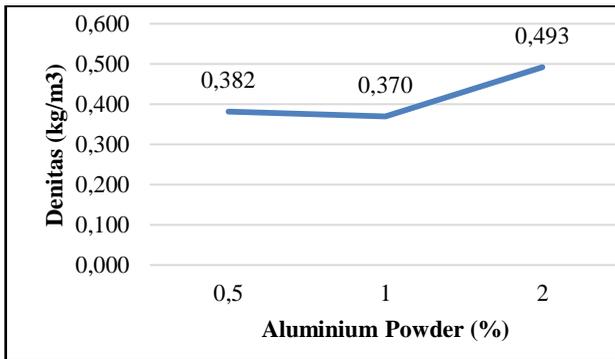
Pengujian bata ringan yang dilakukan meliputi pengujian densitas, porositas, dan kuat tekan

### 4.5.1 Pengujian Densitas Bata Ringan

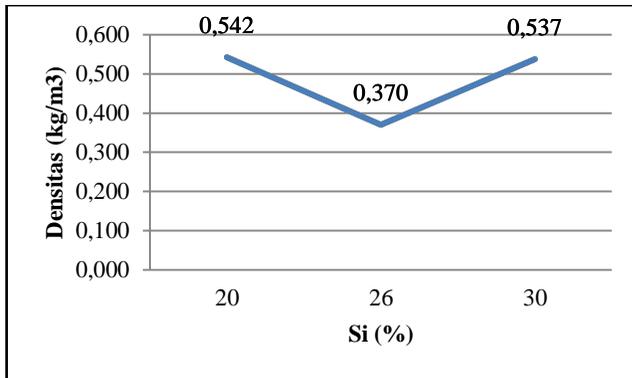
Berdasarkan pengukuran massa sampel dan volume bata ringan yang telah dilakukan, didapatkan nilai massa jenis untuk masing-masing bata ringan Berikut adalah grafik hasil perhitungan densitas bata ringan. Pengaruh variasi komposisi aluminium (Al). Dimana terlihat pada Gambar 4.10 densitas cenderung semakin meningkat, seiring dengan penggunaan komposisi Al.



**Gambar 4.10** Grafik pengaruh variasi Al terhadap densitas bata ringan



**Gambar 4.11** Grafik Pengaruh Variasi Ca terhadap Densitas Bata Ringan



**Gambar 4.12** Grafik Pengaruh Variasi Si terhadap Densitas Bata Ringan

Dapat dilihat dari grafik di atas untuk pengaruh variasi Aluminium, semakin banyak komposisi Al yang digunakan, semakin besar pula densitasnya, ini berbeda dengan hasil berdasarkan teoritis, dimana seharusnya penambahan komposisi Al akan menyebabkan pori-pori bata ringan yang lebih besar. Dari gambar di atas juga menunjukkan pengaruh penambahan komposisi Ca dan Si, dimana semakin banyak komposisi Ca yang digunakan akan menurunkan densitas bata ringan dan semakin banyak Si yang digunakan akan meningkatkan densitas bata ringan.

#### 4.5.2 Pengujian dan Pengukuran Porositas Bata ringan

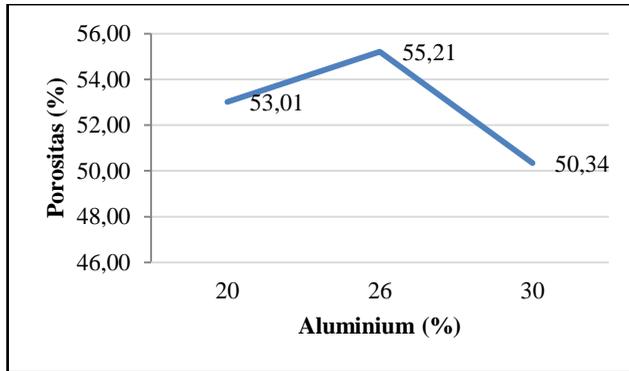
Pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui pengaruh besar kecilnya pori-pori di dalam bata ringan. Berikut adalah hasil perhitungan untuk menentukan nilai porositas.

**Tabel 4.5** Hasil Perhitungan Porositas Bata Ringan Berbagai Variasi

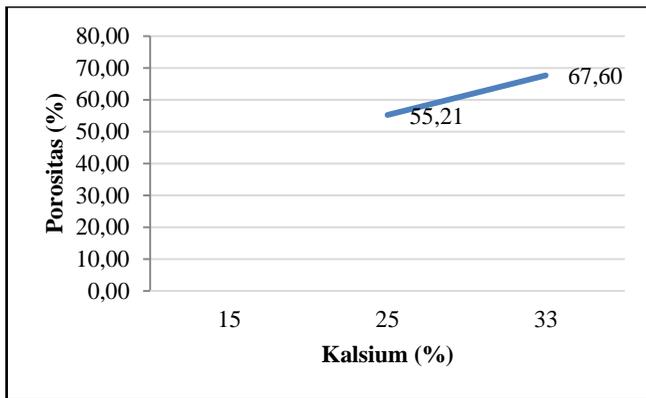
Variasi		Massa (gram)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densitas	Berat Keramik (A)(N)	Berat Basah ©(N)	Berat Semu (D)(N)	Porositas	Densitas (gr)
al	0,5	19,18	50,23	0,382	0,187	0,373	0,022	53,01	381,96
	1	17,24	46,62	0,370	0,168	0,367	0,007	55,21	369,97
	2	37,75	76,63	0,493	0,367	0,695	0,044	50,34	492,71
Ca	15	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	17,24	46,62	0,370	0,168	0,367	0,007	55,21	369,97
	33	12,16	47,15	0,258	0,116	0,316	0,020	67,60	257,94
Si	20	19,44	40,95	0,542	0,423	0,765	0,055	48,136	542,00
	26	17,25	46,62	0,370	0,168	0,367	0,007	55,21	369,97
	30	15,66	45,29	0,537	0,435	0,722	0,066	43,730	537,00

**Tabel 4.6** Hasil Perhitungan Bata Ringan Berbagai Variasi

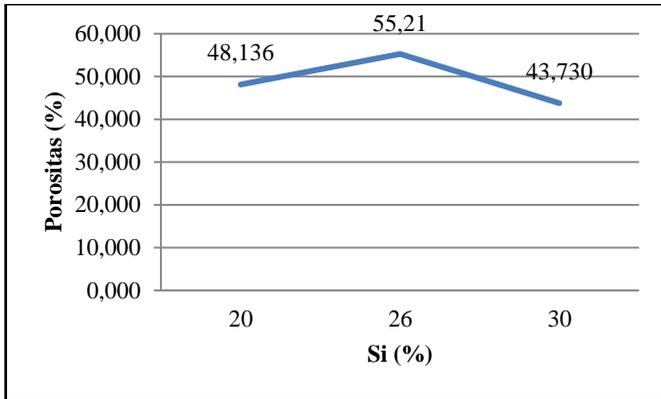
Variasi		Massa Jenis (kg/m <sup>3</sup> )	Porositas (%)	Kuat Tekan (N/mm <sup>2</sup> )
Al	0,5%	382	53,01	0,336
	1%	370	55,21	0,261
	2%	493	50,34	0,332
Ca	15%	-	-	-
	25%	370	55,21	0,261
	33%	258	67,60	0,268
Si	20	542	48,136	0,236
	26	370	55,21	0,261
	30	537	43,73	0,304



**Gambar 4.13** Grafik pengaruh penambahan Al terhadap porositas bata ringan



**Gambar 4.14** Grafik Pengaruh Penambahan Ca terhadap Porositas Bata Ringan

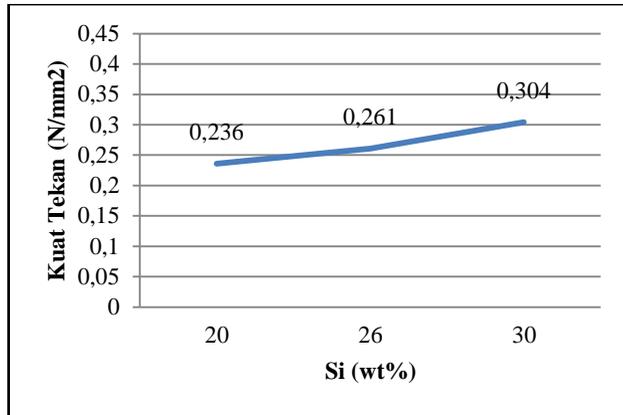


**Gambar 4.15** Grafik Pengaruh Penambahan Si terhadap Porositas Bata Ringan

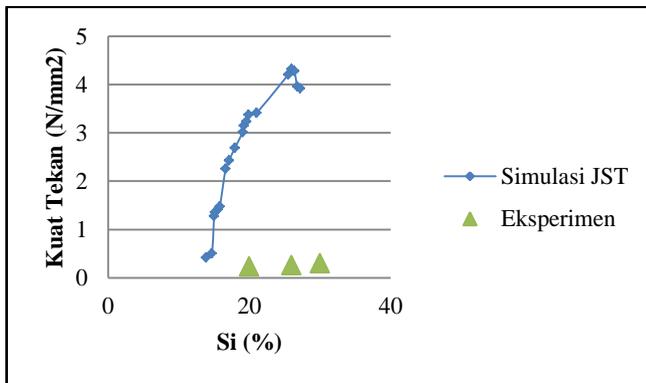
Dari hasil perhitungan untuk nilai porositas sampel bata ringan dapat diketahui pada pengaruh variasi komposisi kandungan Al, nilai porositas tertinggi pada sampel dengan variasi komposisi 2% dan terendah pada 0,5%. Dan untuk variasi Ca dapat dikatakan cenderung menngkat, banyaknya komposisi Ca yang digunakan. Sedangkan untuk variaisi Si dapat dikatakan mempunyai nilai porositas yang cenderung turun seiring dengan bertambahnya kandunga komposisi Si yang digunakan.

#### 4.5.3 Pengujian Kekuatan Tekan bata Ringan

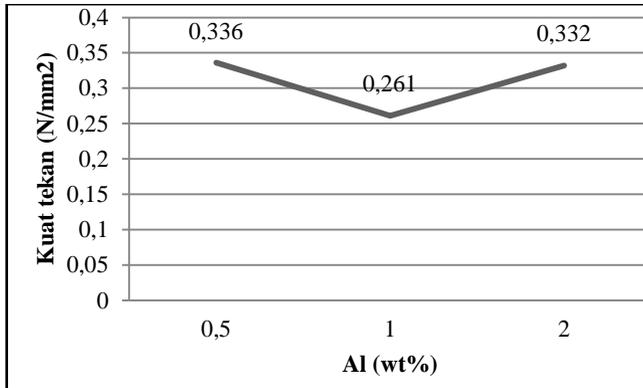
Pengujian kuat tekan bata ringan dilakukan di PT. Corin Mulia Gemilang. Berikut adalah hasil perhitungan kuat tekan.



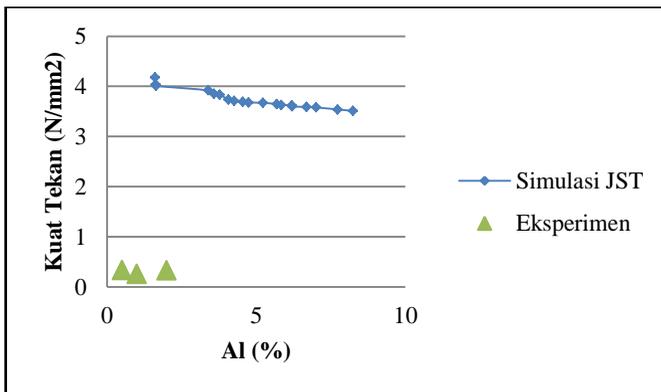
**Gambar 4.16** Grafik Pengaruh Penambahan Si terhadap Kuat Tekan Bata Ringan



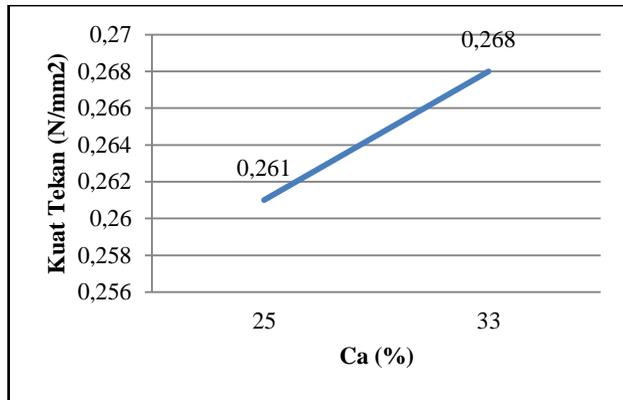
**Gambar 4.17** Grafik Pengaruh Penambahan Si terhadap Kuat Tekan Bata Ringan eksperimen dan simulasi



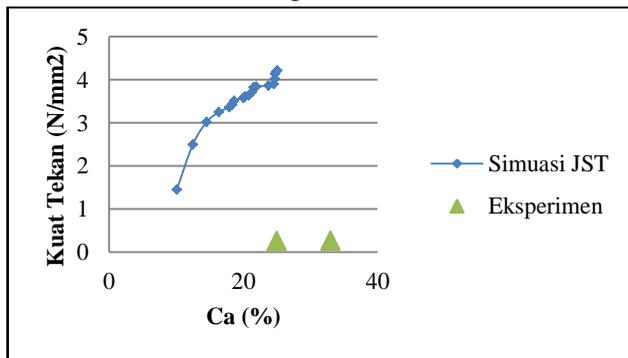
**Gambar 4.18** Grafik Pengaruh Penambahan Al terhadap Kuat Tekan Bata Ringan



**Gambar 4.19** Grafik Pengaruh Penambahan Al terhadap Kuat Tekan Bata Ringan eksperimen dan simulasi



**Gambar 4.20** Grafik Pengaruh Penambahan Ca terhadap Kuat Tekan Bata Ringan



**Gambar 4.21** Grafik Pengaruh Penambahan Ca terhadap Kuat Tekan Bata Ringan eksperimen dan simulasi

Pada hasil perhitungan kuat tekan dapat diamati bahwa penambahan komposisi Ca dan Si yang lebih banyak dapat berpengaruh meningkatkan nilai kuat tekan bata ringan. Sedangkan untuk penambahan komposisi Al cenderung akan mengurangi kuat tekan bata ringan. Dapat juga dilihat dari

Gambar 4.17, 4.19 dan 4.21 merupakan hasil perbandingan grafik hasil percobaan menggunakan simulasi jaringan syaraf tiruan dan grafik hasil eksperimen, bahwa hasil eksperimen yang dilakukan secara keadaan real masih terlalu jauh dengan hasil yang dilakukan secara simulasi. Hal ini dikarenakan hasil percobaan secara simulasi dilakukan dengan asumsi pada kondisi ideal.

#### **4.6 Interpretasi Hasil Analisis**

Setelah dilakukan pembuatan bata ringan di PT Corin Mulia Gemilang dengan menggunakan variasi Si, Ca dan Al terhadap pengaruh kuat tekan bata ringan. Dari data-data yang telah dibahas satu persatu di atas, dapat dilihat bahwa semua sampel mengandung senyawa *quartz* dan *calcite*, senyawa ini terbentuk dari bahan baku utama penyusun bata ringan yaitu, silika dan CaO yang menjadi unsur dominan. Dan dari hasil karakterisasi XRD pada semua sampel bata ringan yang telah dibuat menunjukkan bahwa hanya sampel bata ringan dengan variasi komposisi Al 0,5 % dan Si 30% saja yang terbentuk fase *tobermorite*, dimana fase ini merupakan fase yang diharapkan untuk pembentukan bat ringan AAC yang sempurna.

Dari pembahasan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa besar densitas bata ringan berbanding terbalik dengan nilai porositasnya, semakin besar densitas bata ringan maka nilai porositas bata ringan semakin kecil. Dan untuk nilai kuat tekan bat ringan berbanding lurus dengan nilai densitas bata ringan. Semakin besar nilai densitas bata ringan maka nilai kuat tekan bata ringan akan semakin besar pula. Namun sampel-sampel yang dibuat belum memenuhi kriteria dari densitas minimal standar bata ringan. Dilihatdari hasil perbandingan grafik hasil percobaan menggunakan simulasi jaringan syaraf tiruan dan grafik hasil eksperimen, bahwa hasil eksperimen yang dilakukan

secara keadaan real masih terlalu jauh dengan hasil yang dilakukan secara simulasi. Hal ini dikarenakan hasil percobaan secara simulasi dilakukan dengan asumsi pada kondisi ideal.

Untuk pengaruh variasi masing-masing sampel dapat diambil kesimpulan sebagai berikut pengaruh penambahan komposisi Ca dan Si yang lebih banyak dapat berpengaruh meningkatkan nilai kuat tekan bata ringan. Sedangkan untuk penambahan komposisi Al cenderung akan mengurangi kuat tekan bata ringan.

Dari seluruh sampel bata ringan, bata ringan dengan variasi Al memiliki nilai massa jenis paling kecil pada variasi Ca 33% yaitu  $258 \text{ Kg/m}^3$  dan nilai paling tinggi pada sampel dengan Si 30%, yaitu  $578 \text{ kg/m}^3$ . Untuk nilai porositas paling tinggi pada sampel dengan variasi Ca 33%. Pada variasi Al, porositas paling tinggi dimiliki oleh variasi Al 1%. Hal ini terlihat juga secara fisik, pori – pori pada bata ringan yang banyak dan merata di seluruh bagian. Nilai porositas paling tinggi dimiliki oleh Ca 33% dengan nilai porositas sebesar 67,60%. Untuk nilai porositas paling rendah diantara sampel Al adalah komposisi 2%. Adapun untuk kuat paling baik dimiliki oleh sampel variasi Si 30% dengan nilai  $0,306 \text{ N/mm}^2$  dan data ini didukung dengan adanya hasil karakterisasi XRD terbentuknya fase *tobermorite* dengan nilai persentase fraksi senyawa *tobermorite* sebesar 20,82%.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah melakukan percobaan pada tugas akhir ini, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pembentukan fasa *tobermorite* pada sampel bata ringan hanya terbentuk pada sampel dengan variasi Al 0,5% dan sampel variasi komposisi Si 30% dengan persentase fraksi senyawa tobermorite berturut-turut 11,98% dan 20,82%.
2. Semakin banyak komposisi Al yang digunakan akan menurunkan kuat tekan bata ringan.
3. Semakin banyak komposisi Ca yang digunakan akan meningkatkan kuat tekan bata ringan.
4. Semakin banyak komposisi Si yang digunakan akan meningkatkan kuat tekan bata ringan.
5. Nilai kuat tekan paling besar didapatkan pada sampel bata ringan variasi Si 30% yaitu 0,306 N/mm<sup>2</sup>.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya diantaranya:

1. Untuk proses fabrikasi bata ringan harus memperhatikan juga umur dari bahan baku yang digunakan, karena akan mempengaruhi kualitas bahan tersebut.
2. Dilakukan dengan secara lebih teliti, baik penakaran bahan, perhitungan dan pencampuran bahan-bahan baku penyusun bata ringan.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M, Absa. “Prediksi Pengaruh Komposisi pada Sifat Mekanik Bata Ringan dengan Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan”. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Fisika ITS.2016
- [2] A. J. Ahmad “Materials, Production, Properties and Application of Aerated Lightweight Concrete: Review”.International Journal of Materials Science and Engineering Vol. 2, No. 2. 2014.
- [3] S, Bernstein. “Determination Of Reaction Kinetics And Mechanisms of 1.13nm Tobermorite by In-Situ Neutron Diffraction”. Disertasi. Fakultät für Geowissenschaften der Ludwig-Maximilians-Universität München. 2011.
- [4] I. G. P Wirayawan “*Prediksi Sifat Termal Bata Ringan Berdasarkan Variasi Komposisi Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan*”, Jurusan Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
- [5] R, Bayuaji,, T. R Biyanto . “Model Jaringan Saraf Tiruan Kuat Tekan Beton Porus dengan Material Pengisi Pasir” Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil Vol. 20 No. 1 April 2013.
- [6] Y, Ungkoon. “Analysis of Microstructure and Properties of Autoclaved Aerated Concrete Wall Construction Materials”. J. Ind. Eng. Chem. Vol. 13, No. 7. 2007. 1103-1108
- [7] M. Baspinar, I. Demir, E. Kahraman and G. G., "Utilization Potential of Fly Ash together with Silica Fume in Autoclaved Aerated Concrete Production," KSCE Journal of Civil Engineering, vol. 18, no. I, pp. 47-52, 2014.
- [8] N. Meller, K. Kyritsis and C. Hall, "The mineralogy of the CaO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O (CASH) hydroceramic system from 200 to 350 °C," Cement and Concrete Research, vol. 39, pp. 45-53. 2009.
- [9] C.-l. Wang et al. “Preparation and properties of

autoclaved aerated concrete using coal gangue and iron ore tailings” *Construction and Building Materials* 104, 109–115. 2016.

- [10] K. Kunchariyakun et al. ‘Properties of autoclaved aerated concrete incorporating rice husk ash as partial replacement for fine aggregate” *Cement & Concrete Composites* 55, 11–16. 2015.
- [11] Y. Song et al. “Effect of the Ca-to-Si ratio on the properties of autoclaved aerated concrete containing coal fly ash from circulating fluidized bed combustion boiler” *Construction and Building Materials* 83, 136–142. 2015.
- [12] X.Y. Cong et al. “Fabrication and characterization of self-ignition coal gangue autoclaved aerated concrete” *Materials and Design* 97, 155–162. 2016.
- [13] X.-y. Huang et al. “Preparation of autoclaved aerated concrete using copper tailings and blast furnace slag” *Construction and Building Materials* 27, 1–5. 2012.
- [14] ASTM C618 For Fly Ash, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete.
- [15] Brent Fultz and James M. Howe, *Transmission Electron Microscopy and Diffractometry of Materials* Fourth Edition, (Springer - Verlag, Heidelberg 2013). ISBN 978 – 3 642 – 29760 – 1 . ISSN 1868 - 4513
- [16] C 642 - 97: “*Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete,*” ASTM International, 1997.
- [17] C 133 – 1997 : “*Standard Test Methods fo Cold Crushing Strength and Modulus of Rupture of Refractories,*” ASTM International, 1997.

## LAMPIRAN A

### HASIL UJI XRD SAMPEL BATA RINGAN

#### A1. Hasil Uji XRD Sampel Al 0,5%

SAMPEL BATA RINGAN Al 0,5%

Pos. [°2 $\theta$ .]	Height [cts]	FWHMLeft[°2 $\theta$ .]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	
7.8590	87.00	0.2007	11.24975	1.85	T
16.3464	20.54	0.2676	5.42281	0.44	T
17.6161	20.84	0.4015	5.03470	0.44	T
20.9801	606.43	0.0669	4.23442	12.93	Q
23.1501	26.71	0.1673	3.84218	0.57	C
25.2477	38.78	0.2676	3.52751	0.83	T
25.8050	52.88	0.1004	3.45259	1.13	T
26.6863	4690.50	0.1020	3.33777	100.00	Q
26.7667	2276.23	0.0408	3.33619	48.53	C
29.0189	220.35	0.1632	3.07456	4.70	T
29.4572	292.80	0.2856	3.02980	6.24	C
30.1218	122.65	0.2040	2.96445	2.61	T
31.8942	81.86	0.3264	2.80364	1.75	T
34.3724	19.50	0.4896	2.60696	0.42	T
36.0717	36.26	0.2448	2.48795	0.77	T
36.7445	41.89	0.3264	2.44393	0.89	T
39.5814	326.95	0.0612	2.27505	6.97	Q
39.7026	162.51	0.0612	2.27402	3.46	T
42.2361	25.39	0.3264	2.13799	0.54	T
42.4818	46.29	0.2448	2.12619	0.99	T
43.1957	41.15	0.4080	2.09269	0.88	T
45.2554	39.98	0.3264	2.00212	0.85	T
45.7906	126.58	0.1020	1.97996	2.70	Q
47.4331	25.35	0.6528	1.91515	0.54	T
48.5458	33.00	0.3264	1.87383	0.70	T
49.3742	45.04	0.4896	1.84431	0.96	T
50.0938	31.46	0.2448	1.81949	0.67	T
53.1609	13.28	0.6528	1.72151	0.28	T
54.9128	559.48	0.0816	1.67066	11.93	Q
55.0695	258.39	0.0612	1.67042	5.51	Q

## A2. Hasil Uji XRD Sampel Al 1%

### SAMPEL BATA RINGAN Al 1%

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHMLeft [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	
7.8371	35.37	0.4015	11.28115	11.09	
16.4801	12.37	0.4015	5.37909	3.88	k
17.5455	25.30	0.3346	5.05479	7.93	co
20.9047	172.27	0.1004	4.24951	54.02	al
26.5920	309.44	0.0669	3.35216	97.04	co
26.7527	318.88	0.0335	3.33239	100.00	al
29.1504	145.36	0.2342	3.06352	45.59	co
29.5916	207.07	0.0836	3.01884	64.94	ca
30.1581	75.81	0.1338	2.96341	23.77	ca
32.3955	77.42	0.3346	2.76368	24.28	k
34.2205	38.36	0.4015	2.62035	12.03	k
35.9338	22.83	0.5353	2.49925	7.16	co
36.6620	102.29	0.0669	2.45126	32.08	ca
39.5665	88.43	0.1338	2.27776	27.73	al
42.4663	58.82	0.0669	2.12869	18.44	co
43.2347	39.60	0.2007	2.09263	12.42	ca
45.1874	42.53	0.4684	2.00663	13.34	k
47.6551	46.44	0.2007	1.90833	14.56	al
48.5807	42.56	0.2007	1.87411	13.35	ca
49.5385	45.43	0.4015	1.84010	14.25	co
50.1350	47.36	0.1004	1.81960	14.85	k
53.3940	17.28	0.5353	1.71597	5.42	k
55.4664	71.81	0.0612	1.65529	22.52	al

### A3. Hasil Uji XRD Sampel Al 2%

SAMPel BATA RINGAN Al 2%

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHMLeft [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	
7.7551	21.66	0.4015	11.40023	4.24	
17.4903	58.89	0.3346	5.07062	11.53	k
20.8655	84.22	0.0669	4.25741	16.49	S
23.1217	25.44	0.2676	3.84682	4.98	ca
26.6335	498.50	0.0408	3.34426	97.60	z
26.7186	510.78	0.0335	3.33657	100.00	ca
29.0581	129.72	0.1004	3.07305	25.40	z
29.3962	304.38	0.0502	3.03847	59.59	z
29.5848	298.52	0.1338	3.01952	58.44	ca
30.1679	43.70	0.2676	2.96248	8.56	co
32.3828	103.45	0.2007	2.76473	20.25	k
32.8423	98.92	0.2007	2.72709	19.37	co
34.1654	56.91	0.1673	2.62445	11.14	co
36.0749	55.02	0.2007	2.48980	10.77	z
36.7949	122.59	0.0502	2.44271	24.00	co
39.5650	294.17	0.0502	2.27784	57.59	S
42.4487	117.94	0.0612	2.12778	23.09	S
43.3290	44.61	0.3346	2.08829	8.73	ca
44.5280	49.77	0.1004	2.03481	9.74	z
45.9982	54.33	0.2676	1.97314	10.64	co
47.2309	47.60	0.2007	1.92448	9.32	z
47.5955	56.86	0.2342	1.91058	11.13	ca
48.5334	46.54	0.3346	1.87583	9.11	ca
49.4777	19.23	0.2676	1.84222	3.76	z
50.2919	91.32	0.0612	1.81279	17.88	ca
50.9458	18.61	0.2007	1.79252	3.64	z
54.9206	34.08	0.4015	1.67183	6.67	z
56.6942	28.12	0.2676	1.62367	5.51	co
57.5564	25.24	0.2676	1.60138	4.94	ca

## A4. Hasil Uji XRD Sampel Ca 33%

SAMPEL BATA RINGAN Ca 33%

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHMLeft [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	
7.9619	59.82	0.1004	11.10461	1.37	
17.7258	80.36	0.3346	5.00378	1.84	ca
18.2645	55.46	0.1673	4.85741	1.27	p
20.3958	36.82	0.2007	4.35438	0.84	k
20.9826	153.72	0.1004	4.23392	3.52	q
25.2301	17.68	0.4015	3.52994	0.41	
26.6640	624.41	0.0335	3.34328	14.30	q
26.8656	4365.11	0.0669	3.31864	100.00	k
29.1946	189.93	0.1338	3.05898	4.35	p
29.5745	356.67	0.0669	3.02055	8.17	k
30.2378	85.24	0.2007	2.95578	1.96	ca
32.4773	133.22	0.2007	2.75691	3.05	k
34.2486	129.72	0.1338	2.61826	2.97	p
36.1801	36.50	0.2676	2.48280	0.84	ca
36.6821	124.14	0.0836	2.44996	2.84	q
39.5919	126.74	0.1338	2.27636	2.90	ca
42.5561	139.83	0.0816	2.12265	3.20	q
42.6867	113.67	0.0669	2.11821	2.60	k
43.3972	40.02	0.2007	2.08517	0.92	ca
44.5914	47.57	0.1673	2.03206	1.09	
45.2179	70.54	0.4015	2.00535	1.62	k
45.9578	48.59	0.1004	1.97478	1.11	q
47.3159	70.25	0.2007	1.92122	1.61	p
48.6041	35.03	0.1673	1.87327	0.80	k
49.5943	46.56	0.2676	1.83816	1.07	
50.3122	92.70	0.0669	1.81360	2.12	k
50.9833	49.87	0.1338	1.79129	1.14	q
52.6941	19.40	0.2007	1.73710	0.44	k
53.3146	37.99	0.3346	1.71834	0.87	k
54.6018	40.58	0.4015	1.68083	0.93	p
55.5150	56.35	0.3346	1.65533	1.29	q
57.6264	24.79	0.2676	1.59960	0.57	p
58.8606	19.49	0.2676	1.56897	0.45	ca

## A5. Hasil Uji XRD Sampel Si 20%

SAMPEL BATA RINGAN Si 20%

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHMLeft[°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	
16.4422	19.84	0.5353	5.39142	1.45	
17.6664	36.68	0.2007	5.02049	2.67	
18.2032	44.89	0.1004	4.87361	3.27	K
20.4152	19.86	0.4684	4.35028	1.45	K
20.9425	25.37	0.2007	4.24193	1.85	Q
23.1777	56.33	0.1004	3.83765	4.10	CA
26.5762	531.52	0.0502	3.35412	38.73	CH
26.7235	1372.55	0.0612	3.33321	100.00	Q
26.8074	940.26	0.0408	3.33122	68.50	CA
27.5098	149.21	0.0816	3.23970	10.87	
29.0099	147.59	0.2448	3.07549	10.75	CH
29.4443	890.42	0.0612	3.03110	64.87	CA
30.1434	86.27	0.3264	2.96238	6.29	CH
32.4553	96.28	0.3264	2.75643	7.01	CA
34.2372	87.92	0.2448	2.61695	6.41	CH
36.1068	47.81	0.4080	2.48561	3.48	K
36.6297	205.21	0.0408	2.45132	14.95	CH
36.7356	118.83	0.0612	2.44450	8.66	CA
39.5772	132.76	0.1224	2.27528	9.67	CA
40.5003	148.21	0.0612	2.22553	10.80	CH
42.4419	18.37	0.3264	2.12810	1.34	Q
43.2730	67.46	0.2448	2.08914	4.92	CA
45.1311	58.49	0.4896	2.00735	4.26	K
45.8194	106.06	0.0612	1.97878	7.73	Q
47.2477	178.71	0.1224	1.92224	13.02	CA
48.6092	58.63	0.4080	1.87153	4.27	CA
49.5556	49.60	0.4080	1.83798	3.61	CH
50.1873	636.21	0.0612	1.81632	46.35	CH
50.3240	495.85	0.0612	1.81171	36.13	Q
50.9085	30.27	0.2448	1.79227	2.21	CH
53.4218	14.06	0.8160	1.71372	1.02	CA
54.9355	141.92	0.0612	1.67003	10.34	K
55.3889	133.70	0.0612	1.65743	9.74	Q
55.5131	184.34	0.0816	1.65401	13.43	K
57.3534	24.54	0.5712	1.60523	1.79	Q

## A6. Hasil Uji XRD Sampel Si 30%

SAMPEL BATA RINGAN Si 30%

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHMLeft [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	
7.7451	18.96	0.4015	11.41500	2.20	T
16.2938	18.46	0.5353	5.44017	2.14	T
17.6015	36.05	0.4684	5.03885	4.19	T
20.7946	476.27	0.1004	4.27177	55.31	Q
21.0909	123.48	0.0836	4.21241	14.34	
23.1029	21.44	0.3346	3.84991	2.49	CA
23.8512	613.85	0.1004	3.73079	71.29	T
25.3722	25.07	0.3246	3.51049	2.91	T
26.5885	861.09	0.0612	3.34982	100.00	Q
26.6813	472.52	0.0408	3.34668	54.87	T
26.9560	224.96	0.0612	3.30498	26.12	T
28.8878	120.79	0.2448	3.08822	14.03	
29.4014	333.88	0.2448	3.03542	38.77	CA
30.1124	87.83	0.2448	2.96535	10.20	T
32.2258	105.61	0.2040	2.77554	12.27	T
34.4863	29.47	0.2448	2.59861	3.42	
35.9813	42.39	0.2448	2.49399	4.92	T
36.4580	290.64	0.0612	2.46247	33.75	CA
36.5499	378.81	0.0408	2.45649	43.99	Q
39.4372	77.54	0.2856	2.28304	9.00	T
40.1988	110.81	0.0612	2.24152	12.87	Q
42.3800	259.81	0.0612	2.13107	30.17	T
42.5018	128.08	0.0612	2.13052	14.87	CA
43.2088	37.34	0.4080	2.09209	4.34	T
45.1325	36.33	0.4896	2.00728	4.22	T
45.7230	58.59	0.1632	1.98273	6.80	Q
47.5647	50.43	0.4896	1.91016	5.86	CA
48.4882	46.17	0.4080	1.87592	5.36	T
49.4910	35.22	0.4080	1.84023	4.09	T
50.1415	35.40	0.2448	1.81787	4.11	Q
51.9046	13.01	0.4896	1.76019	1.51	T
53.2170	12.42	0.4896	1.71983	1.44	T
55.0479	28.14	0.6528	1.66688	3.27	T
57.3653	23.90	0.3264	1.60493	2.78	Q

## LAMPIRAN B



Gambar B1 Penimbangan Bahan



Gambar B2 Pencampuran Bahan



Gambar B3 Pengadukan Bahan



Gambar B4 Saat Bahan Bereaksi



Gambar B5 Sampel yang sudah dingin



Gambar B6 Sampel yang sudah diangkat



Gambar B7 Sampel sebelum masuk autoklaf



Gambar B8 Sampel setelah di autoklaf dan dipotong

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



Penulis mempunyai nama lengkap Risandy Bayu Setiawan, lahir ddi Banyuwangi Jawa Timur pada tanggal 30 Agustus 1994 dan merupakan anak sulung dari 2 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan di SDN 2 Kapatihan lalu SMPN 1 Banyuwangi. Kemudian melanjutkan studi di SMAN 1 Glagah yang kemudian dilanjutkan ke ITS Departemen Teknik Fisika pada tahun 2013 dengan NRP 2413100052. Selama kuliah, penulis telah aktif dalam beberapa organisasi dan kepanitiaan, seperti menjadi member laboratorium rekayasa bahan staff 2014-2017, koordinator sie dekorasi even Engineering Physics Week 2015. Hingga pada tahun 2017 penulis akhirnya melaksanakan Tugas Akhir sebagai syarat untuk menyelesaikan studi S1 di Jurusan Teknik Fisika dengan judul *ANALISIS PEMBENTUKAN FASA DAN KUAT TEKAN BATA RINGAN AERATED AUTOCLAVED CONCRETE (AAC) DENGAN MENGGUNAKAN VARIASI KOMPOSISI Si, Ca,Al*. Bagi pembaca yang memiliki saran, kritik, atau ingin berdiskusi lebih lanjut tentang Tugas Akhir ini, maka bisa menghubungi penulis melalui nomor (089682154439) atau email [rsandybs@gmail.com](mailto:rsandybs@gmail.com).

*Halaman ini sengaja dikosongkan*