TUGAS AKHIR TF-141581

ANALISIS KONDUKTIVITAS TERMAL BATA RINGAN BERDASARKAN VARIASI KOMPOSISI DENGAN CAMPURAN EKSTRAKSI LUMPUR LAPINDO

DAN SULAIMAN
NRP 02311340000137

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

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

TUGAS AKHIR TF-141581

ANALISIS KONDUKTIVITAS TERMAL BATA RINGAN BERDASARKAN VARIASI KOMPOSISI DENGAN CAMPURAN EKSTRAKSI LUMPUR LAPINDO

DAN SULAIMAN
NRP 02311340000137

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

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

THESIS TF-141581

THERMAL CONDUCTIVITY ANALYSIS OF AUTOCLAVED AERATED CONCRETE BASED ON COMPOSITION VARIABLES WITH MIXED LAPINDO MUD EXTRACT

DAN SULAIMAN
NRP 02311340000137

Supervisors:
Ir. Zulkifli, M.Sc
Dyah Sawitri, S.T, M.T

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

ANALISIS KONDUKTIVITAS TERMAL BATA RINGAN BERDASARKAN VARIASI KOMPOSISI DENGAN CAMPURAN EKSTRAKSI LUMPUR LAPINDO

TUGAS AKHIR

Dan Sulaiman
NRP. 02311340000137

Surabaya, 26 Januari 2018

Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I	Pembimbing II
Ir. Zulkifli, M.Sc	**Dyah Sawitri, S.T, M.T**
NIP. 19581118 198701 1 001	**NIP. 19700101 1995122 001**

Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI - ITS

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

ANALISIS KONDUKTIVITAS TERMAL BATA RINGAN BERDASARKAN VARIASI KOMPOSISI DENGAN CAMPURAN EKSTRAKSI LUMPUR LAPINDO

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Rekayasa Bahan
Program Studi S1 Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:

Dan Sulaiman
NRP. 02311340000137

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Ir. Zulkifli, M.Sc (Pembimbing I)
2. Dyah Sawitri, S.T, M.T (Pembimbing II)
3. Dr.-Ing.Doty Dewi Risanti, ST, MT (Ketua Penguji)
4. Lizda Johar M., S.T., M.T (Penguji)
5. Dr. Ir. Ali Musyafa, M.Sc (Penguji)

Surabaya, 26 Januari 2018

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Dan Sulaiman
NRP	: 023111340000137
Departemen	: Teknik Fisika FTI – ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul:

ANALISIS KONDUKTIVITAS TERMAL BATA RINGAN BERDASARKAN VARIASI KOMPOSISI DENGAN CAMPURAN EKSTRAKSI LUMPUR LAPINDO

adalah bebas dari plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 26 Januari 2018

Yang membuat pernyataan

Dan Sulaiman

ANALISIS KONDUKTIVITAS TERMAL BATA RINGAN BERDASARKAN VARIASI KOMPOSISI DENGAN CAMPURAN EKSTRAKSI LUMPUR LAPINDO

Nama Mahasiswa	: Dan Sulaiman
NRP	: 02311340000137
Departemen	: Teknik Fisika FTI - ITS
Dosen Pembimbing	: Ir. Zulkifli, M.Sc
	Dyah Sawitri, S.T, M.T

Abstrak

Pada penelitian ini telah dibuat bata ringan jenis *autoclaved aerated concrete* (AAC) berdasarkan komposisi Ca dan Al dengan campuran lumpur Lapindo untuk mengetahui nilai konduktivitas termal yang paling baik. Komposisi yang dibuat adalah Al 0,5%; 1%; 2% dan Ca 15%;25%; 33% dengan tambahan silika hasil ekstraksi lumpur Lapindo pada masing-masing sampel. Dibuat juga bata ringan tanpa tambahan silika hasil ekstraksi lumpur Lapindo sebagai perbandingan. Untuk memenuhi kebutuhan bata ringan dengan standar industri, komposisi yang paling baik adalah Ca 33%, Al 1 % dan silika dari ekstraksi lumpur Lapindo 0,29%. dengan nilai konduktivitas termal 2,52 W/m.K, porositas 57,569% dan massa jenis sebesar 560,28 kg/m^3. Penambahan silika hasil ekstraksi dari lumpur Lapindo dapat digunakan sebagai bahan tambahan bata ringan untuk memperbaiki sifat termal namun harus memperhatikan komposisi bahan penyusun lainnya.

Kata Kunci: bata ringan, *Autoclaved Aerated Concrete (AAC)*, konduktivitas termal, lumpur Lapindo

THERMAL CONDUCTIVITY ANALYSIS OF AUTOCLAVED AERATED CONCRETE BASED ON COMPOSITION VARIABLE WITH MIXED LAPINDO MUD EXTRACT

Name	: Dan Sulaiman
NRP	: 02311340000137
Department	: Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor	: Ir. Zulkifli, M.Sc
	Dyah Sawitri, S.T, M.T

Abstract

Autoclaved aerated concrete (AAC) has been made in order to obtain an optimized value of thermal conductivity. This research employs Al composition of 0.5%, 1%, 2% while Ca compositions are 15%, 25% and 33%. All of them were added by silica extreacted from Lapindo mud volcano, except for samples as controlled variable. The sample were further characterized by means of thermal conductivity, porosity and density. To meet industrial need in low thermal conductivity lightweight brick, our result indicates that 33% Ca, 1% Al, 0.29% silica from Lapindo mud yields thermal conductivity of 2.52 W/m.K. In addition this composition also results in porosity and density of 57.569% and 560.28 kg/m^3, respectively. This findings may suggest that silica extracted from Lapindo mud is beneficial to improve the lightweight brick's thermal conductivity, since each component added has its own effect on lightweight brick's thermal conductivity as well as on it's fabrication, therefore it is important to control the amount of each component used.

***Keywords**: autoclaved aerated concrete, thermal conductivity,* Lapindo *mud vulcano*

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa dipanjatkan kepada Allah SWT, Maha Agung dan Maha Bijaksana atas berkah, rahmat, petunjuk dan karunia-Nya serta sholawat kepada Nabi Muhammad sehingga penulis mampu menyelesaikan dan menyusun Tugas Akhir yang berjudul ”**Analisis Konduktivitas Termal Bata Ringan Berdasarkan Variasi Komposisi Dengan Campuran Ekstraksi Lumpur Lapindo**”. Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Untuk itu diucapkan terimakasih kepada :

1. Allah SWT atas segala kebesaran-Nya sehingga saya dapat melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan lancar.
2. Bapak Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika ITS saat ini. .
3. Bapak Ir. Zulkifli, M.Sc dan Ibu Dyah Sawitri, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Andi Rahmadiansyah ST., MT. selaku Dosen wali selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika ITS.
5. Bapak Ivan, Bapak Rangga, Bapak Fuad, Bapak Dewa, Bapak Adhi dan PT Corin Mulia Gemilang yang telah mengizinkan dan membimbing membuat Tugas Akhir di pabrik.
6. Bapak dan Ibu dosen serta karyawan jurusan Teknik Fisika ITS
7. Laboratorium Rekayasa Bahan yang telah membantu pengujian dan markas untuk membuat Tugas Akhir
8. Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material dan Metalurgi yang telah membantu pengujian metalografi.
9. Kakak saya Cynthia Anindita Vadari dan adik saya Ben Yusuf Muhammad yang selalu mendukung moril dan spiritual dalam keadaan apapun.

10. H. Zikrullah SH., selaku orang tua pengganti saya yang selalu mendukung dan perwakilan keluarga dari Bogor.
11. Doncang, Charrel, Ditra, Adit, Iyan, Bonar dan teman kosan yang selalu menghibur penulis ketika sedang jenuh sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai tepat waktu.
12. Emir, Audi, Nural, Arsa, Frian, Hafizh, Robert, Gege, Abyan, Afin, Aloy, Godeg, Fatih, Irving dan Bintang yang telah mendukung penulis selama empat tahun setengah kuliah di kerasnya Surabaya.
13. Teman-teman di HMTF dan UKM Bola Basket ITS yang telah membantu pembentukan karakter dalam hidup saya.
14. Risandy dan Hafizul sebagai teman seperjuangan dalam menyelesaikan Tugas Akhir bidang Rekayasa Bahan.
15. Dan Shoes Cleaning yang telah membantu dalam hal material sehingga Tugas Akhir bisa selesai.
16. Teman-teman Teknik Fisika angkatan 2013 yang tak bisa saya sebutkan satu-satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini masih banyak dalam kekurangan. Oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran dari semua pihak sehingga mampu lebih baik lagi. Penulis berharap semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembacanya.

Surabaya, 26 Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
TITLE PAGE iii
LEMBAR PENGESAHAN I v
LEMBAR PENGESAHAN II vii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI ix
ABSTRAK xi
ABSTRACT xiii
KATA PENGANTAR xv
DAFTAR ISI xvii
DAFTAR GAMBAR xix
DAFTAR TABEL xxi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 2
1.3. Tujuan 3
1.4. Batasan Masalah 3
BAB 2 DASAR TEORI 5
2.1. Batu Bata 5
2.2. Bata ringan 6
2.3. Autoclaved Aerated Concrete 8
2.4. Pembuatan Bata Ringan 9
2.5. Lumpur Lapindo Sidoarjo 12
2.6. Konduktivitas Termal 13
2.7. Konduktivitas Termal Bata Ringan 14
BAB III METODOLOGI 15
3.1. Alat dan Bahan 16
3.2. Ekstraksi Lumpur Lapindo 17
3.3. Uji XRD 18
3.4. Pembuatan Bata Ringan 19
3.5. Pengukuran Densitas Bata Ringan 21
3.6. Uji Porositas 21
3.7. Uji Konduktivitas Bata Ringan 23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 25

4.1. Karakterisasi XRD SiO_2 Lumpur Sidoarjo 25
4.2. Hasil Pembuatan Bata Ringan. 26
4.3. Massa Jenis Bata Ringan 28
4.4. Porositas Bata Ringan 29
4.5. Konduktivitas Termal Bata Ringan 31
4.6. Interpretasi Hasil Analisis 35
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 41
5.1. Kesimpulan 41
5.2. Saran 41
Daftar Pustaka 43
Lampiran A Membuat dan Hasil Ekstraksi Silika Lumpur Lapindo 47
Lampiran B Pembuatan Bata Ringan 49
Lampiran C Perhitungan Porositas dan Densitas 51
Biodata Penulis 55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Contoh standar ukuran bata ringan AAC [2]…….....	6
Gambar 2.2	Contoh jenis LTCCC (a) dan AAC (b) [1]…..	8
Gambar 2.3	Skema fabrikasi AAC……..	9
Gambar 2.4	Micropore pada macropore [8]…….....	10
Gambar 2.5	Variasi fasa pada sistem CaO-Al2O3-SiO2-H2O dalam rentang suhu 50 – 1000 oC [10]..	11
Gambar 2.6	Perbandingan struktur kristal bata ringan Non AAC (a) dan bata ringan AAC (b) [11]……...	12
Gambar 3. 1	Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir…….	15
Gambar 3. 2	Bahan baku penyusun bata ringan……...	17
Gambar 3. 3	Silika yang didapat dari ekstraksi Lumpur Lapindo……	18
Gambar 3. 4	Proses Pembuatan Bata Ringan AAC [7]……	19
Gambar 3. 5	Pengukuran densitas bata ringan…….	21
Gambar 3. 6	Perhitungan massa jenuh pada bata ringan….	22
Gambar 3. 7	Set Up Alat dan Sampel Uji Konduktivitas Termal…….	23
Gambar 3. 8	Uji Konduktivitas Bata Ringan……...	23
Gambar 4. 1	Hasil XRD SiO_2 dari lumpur Lapindo……..	25
Gambar 4. 2	Bata Ringan komposisi Al tanpa silika lumpur Lapindo……	26
Gambar 4. 3	Bata Ringan komposisi Al ditambah silika lumpur Lapindo……...	26
Gambar 4. 4	Bata Ringan komposisi Ca tanpa silika lumpur Lapindo……	27
Gambar 4. 5	Bata Ringan komposisi Ca ditambah silika lumpur Lapindo……...	27
Gambar 4. 6	Densitas Bata Ringan dengan Variasi Aluminium……..	28
Gambar 4. 7	Densitas Bata Ringan dengan Variasi Kalsium……...	29

Gambar 4. 8 Grafik Porositas Bata Ringan dengan Variasi Aluminium…….. 30
Gambar 4. 9 Grafik Porositas Bata Ringan dengan Variasi Kalsium……... 31
Gambar 4. 10 Sirkuit Konduktivitas Termal Uji Bata Ringan 32
Gambar 4. 11 Suhu Saat Pengujian Konduktivitas Termal Bata Ringan……. 33
Gambar 4. 12 Sirkuit Konduktivitas Termal Uji Bata Ringan Dengan Resistansi……... 33
Gambar 4. 13 Konduktivitas Termal Bata Ringan dengan Variasi Aluminium…….. 34
Gambar 4.14 Konduktivitas Termal Bata Ringan dengan Variasi Kalsium……..... 35
Gambar 4.15 Perbandingan Simulasi Dengan Hasil Bata Ringan Variasi Aluminium…….. 36
Gambar 4.16 Perbandingan Simulasi Dengan Hasil Bata Ringan Variasi Kalsium……..... 37

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persyaratan Fisik Bata Beton Menurut SNI 03-0349-1989……..... 7
Tabel 2.2 Komposisi lumpur lapindo setelah diekstraksi [16]……..... 13
Tabel 3.1 Matriks data komposisi bahan bata ringan dengan variasi aluminium powder……..... 20
Tabel 3.2 Matriks data komposisi bahan bata ringan dengan variasi semen dan kapur……..... 20
Tabel 3.3 Matriks pengukuran massa jenis bata ringan……... 21
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Massa Jenis Bata Ringan ……... 28
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Porositas Bata Ringan……. 30
Tabel 4.3 Konduktivitas Termal Bata Ringan Dengan Tambahan Silika…….. 31
Tabel 4.4 Konduktivitas Termal Bata Ringan Tanpa Tambahan Silika…….. 32
Tabel 4.5 Hasil Karakterisasi Bata Ringan Tanpa Tambahan Silika……... 38
Tabel 4.6 Hasil Karakterisasi Bata Ringan Dengan Tambahan Silika…….. 39

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur di Indonesia semakin berkembang dan cepat. Laju pertumbuhan ekonomi harus diiringi dengan laju pembangunan infrastruktur, masyarakat lebih produktif ketika sarana dan prasananya terpenuhi seperti jalan yang bagus, fasilitas umum yang nyaman roda ekonomi pun akan berjalan. Semakin tinggi laju pertumbuhan pembangunan maka semakin tinggi kebutuhan akan bahan bakunya. Namun, bahan baku yang digunakan merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui sehingga penggunaannya harus dibatasi. Pembangunan yang tidak seimbang dengan alam terbuka hijau akan mengganggu ekosistem dari lingkungan tersebut.

Perkembangan bidang teknologi konstruksi bangunan turut mendorong perkembangan pada bidang fisika material untuk menemukan material baru yang berbasis bahan alam dalam kontribusi bahan bangunan. Selain kemajuan pada bidang bahan baku material, karakteristik dan sifat dari bahan tersebut harus diperhatikan. Salah satunya konsumsi energi pada suatu bangunan yang dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti kemampuan insulasi termal material [1]. Penggunaan material dengan kemampuan insulasi termal yang baik dapat mengurangi konsumsi energi listrik untuk kebutuhan pendinginan dalam ruangan suatu bangunan.

Salah satu kemajuan teknologi pada bidang konstruksi dan memiliki nilai kemampuan insulasi termal yang baik adalah bata ringan [2]. Berbeda dengan bata konvensional, bata ringan atau *cellular concrete* berbahan dasar semen, pasir, air serta bahan tambahan kimia (*admixture)*. Bata ringan memiliki berat yang lebih kecil dibandingkan dengan bata konvensional, hal ini membuat bangunan tersebut memiliki beban yang efisien, ukuran lebih presisi pada bata ringan membuat instalasi menjadi lebih mudah. Sifat insulasi termal bata ringan jenis AAC menjadikan energi pada bangunan lebih efisien, penelitian yang dilakukan di

Uni Emirat Arab membuktikan bata ringan AAC mengurangi konsumsi energi pada masyarakatnya sekitar 7% [3]

Namun, bahan baku pembuatan bata ringan seperti pasir adalah bahan yang habis pakai atau tidak dapat diperbaharui, semakin maraknya pembangunan mengakibatkan pasir cepat habis. Penelitian yang dilakukan oleh Arista (2011) mengatakan ekstraksi dari Lumpur Lapindo mengandung 55% silika. Lumpur Lapindo adalah semburan lumpur yang keluar dari perut bumi di Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Semburan lumpur ini dimulai sejak Mei 2006 dan belum berhenti sampai sekarang. Lumpur Lapindo sudah dilakukan banyak uji coba sebagai bahan bangunan di antaranya adalah pembuatan *pavling block*, bahan batu bata merah dan genting, bahan pengganti semen [4]. Pada penelitian Wiryawan (2016) dilakukan simulasi konduktivitas termal bata ringan menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) pada *software* Matlab. Didapatkan komposisi penyusun bata ringan dengan konduktivitas termal paling baik yaitu kandungan Ca berada pada rentang 20,32% - 30,35% dan kandungan minimal aluminium sebesar 2,10%.

Penelitian ini adalah lanjutan penelitian Wiryawan (2016) [1], akan dibuat bata ringan berdasarkan simulasi sebelumnya dan akan ditambahkan ekstraksi silika (SiO_2) dari lumpur Lapindo sebagai bahan tambahan pasir pada bata ringan.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

a. Bagaimana membuat bata ringan dengan tambahan ekstraksi silika dari Lumpur Lapindo?
b. Bagaimana pengaruh variasi komposisi Al dan Ca dengan campuran ekstraksi silika dari lumpur lapindo terhadap massa jenis dan porositas pada bata ringan?
c. Bagaimana pengaruh massa jenis dan porositas pada konduktivitas termal bata ringan?

1.3. Tujuan

Adapun tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Membuat bata ringan dengan ditambahkan ekstraksi silika dari Lumpur Lapindo
b. Mengetahui pengaruh variasi komposisi Al dan Ca dengan campuran ekstraksi silika dari lumpur lapindo terhadap massa jenis dan porositas pada bata ringan.
c. Mengetahui pengaruh massa jenis dan porositas pada konduktivitas termal bata ringan.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang ada pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bata yang akan dibuat adalah jenis *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) dalam standar laboratorium.
2. Sumber data komposisi bata ringan berasal dari penelitian yang dilakukan oleh Wiryawan (2016)

Halaman ini sengaja dikosongkan

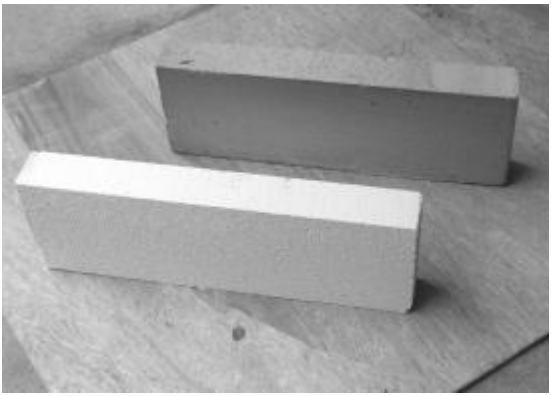
BAB II
DASAR TEORI

2.1. Batu Bata

Bahan dasar pembuat konstruksi bangunan adalah batu bata. Batu bata konvensional atau batu bata merah adalah suatu unsur bangunan yang dipergunakan dalam pembuatan konstruksi bangunan dan dibuat dari tanah dengan atau tanpa campuran bahan lain, dibakar cukup tinggi, hingga tidak bisa hancur ketika direndam dalam air [5].

Seiring perkembangan teknologi pada bidang konstruksi, batu bata pun mengalami kemajuan dalam hal pembuatannya. Saat ini, batu bata yang sudah banyak digunakan adalah bata ringan. Bahan dasar dan cara pembuatan bata ringan berbeda dengan bata konvensional. Bata ringan terbuat dari semen, air, kapur dan pasir sebagai *filler* maka dari itu bata ringan termasuk ke dalam material komposit. Secara kasat mata, tampilan bata ringan dengan beton tidak jauh berbeda karena beton terbuat dari campuran semen, air, agregat halus dan agregat kasar.

Tampilan fisik bata ringan dan bata merah sangat berbeda jauh. Ukuran yang ada di pasaran bata merah berkisar 24×12×6 cm sedangkan bata ringan 60×75×40 cm seperti pada gambar 2.1, ukurannya yang presisi membuat pemasangan dinding menjadi lebih cepat. Secara estetika, bata konvensional lebih unggul karena pada masyarakat suku Jawa biasanya bata konvensional tidak ditambahkan bahan pelapis seperti cat agar terlihat lebih tradisional. Berat jenis bata ringan berada di antara 500-1600 kg/m^3 [6] sedangkan bata merah sekitar 2000 kg/m^3. Yang sangat membedakan antara bata ringan dan bata merah adalah bata ringan memiliki rongga-rongga kecil membuat densitasnya lebih rendah. Rongga tersebut berasal dari reaksi kapur dengan zat aditif. Reaksi kimia antara air dan mineral menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH), kalsium silikat hidrat merupakan komponen utama komponen paling dominan pada fasa matriks beton berpori.



Gambar 2. 1 Contoh standar ukuran bata ringan AAC *[3]*

2.2. Bata ringan

Bata ringan adalah salah satu jenis *foamed concrete* atau beton yang diberi zat aditif sehingga menimbulkan gelembung pada campurannya. *Foamed concrete* sudah digunakan sejak awal 1920an, namun baru-benar benar diteliti tahun 1970an. Negara Swedia pertama kali mencoba memasukan zat aditif ke dalam campuran pada tahun 1914, campuran semen, kapur, air dan pasir ketika ditambahkan bubuk aluminium akan mengembang karena menghasilkan gas hidrogen. *Foamed concrete* memiliki berat yang ringan, kemampuan alir yang tinggi, konsumsi agregat yang rendah, kekuatan yang dapat dikontrol dan sifat insulasi termal yang baik [7].

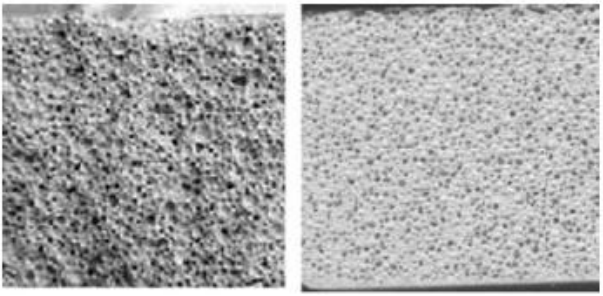
Semakin berkembang zaman, masyarakat mulai beralih ke bata ringan karena pemasangannya mudah. Untuk digunakan sebagai pasangan dinding karakteristik kuat tekan dan nilai serapan air bata beton sesuai dengan SNI 03 0349 1989 tentang bata beton untuk pasangan dinding. Pada tabel 2.1 ini adalah syarat fisis yang harus dipenuhi untuk bata beton sebagai pasangan dinding:

Tabel 2. 1 Persyaratan Fisik Bata Beton Menurut SNI 03-0349-1989

Syarat Fisis	Tingkat mutu bata beton pejal			
	I	II	III	IV
Kuat Tekan bruto rata-rata minimum (kg/cm^2)	100	70	40	25
Kuat tekan bruto masing-masing benda uji (kg/cm^2)	90	65	35	21
Penyerapan air rata-rata maksimum (%)	25	35		

Batu bata ringan atau *cellular lightweight concrete* berbahan dasar dari Semen Portland [1]. Walaupun bata ringan hampir mirip dengan beton, namun bahan baku pembuatnya berbeda. Bata ringan hanya menggunakan agregat halus dan tambahan *foam agent* untuk menambah volume sedangkan beton memerlukan agregat kasar sebagai bahan pembuatnya.

Beton berpori dibagi menjadi dua jika digolongkan menurut metode pengeringannya (*curing*), yaitu: *Low Temperature Cured Cellular Concrete* (LTCCC) atau bisa juga disebut *non* AAC dan *Autoclaved Aerated Concrete (*AAC). Untuk mengeringkan jenis AAC dibutuhkan alat *autoclave* karena membutuhkan suhu di atas 100°C dan tekanan tinggi, sedangkan LTCCC mengering sendiri pada suhu lingkungan. Gelembung udara ketika dalam pembuatan bata ringan disebabkan oleh reaksi kimia dari zat aditif. Adapun zat aditif yang biasa digunakan untuk pembentukan pori-pori pada bata ringan adalah Aluminium, Zn dan Hidrogen Peroksida (H_2O_2). Gambar 2.2 menunjukkan pori pada bata ringan jenis AAC lebih teratur dibandingkan dengan bata ringan jenis LTCCC.



a b

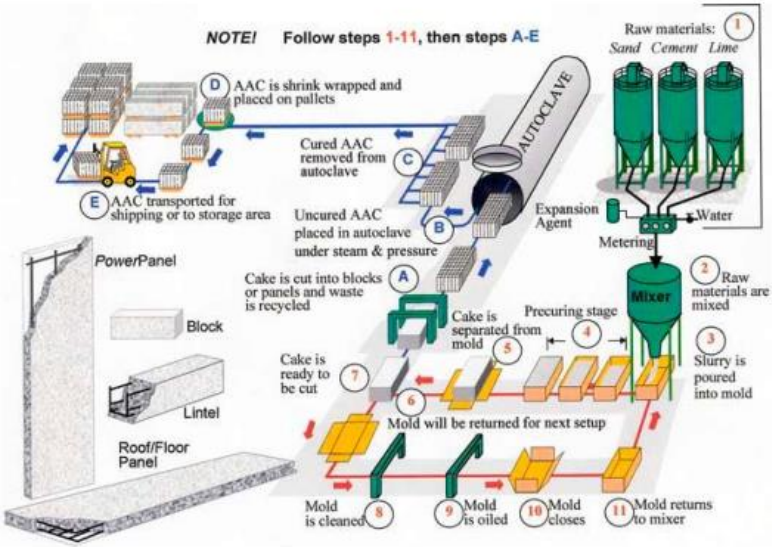
Gambar 2. 2 Jenis Bata Ringan (a) LTCCC (b) AAC *[1]*

2.3. Autoclaved Aerated Concrete

Bata ringan yang beredar di pasaran pada umumnya berjenis *Autoclaved Aerated Concrete* atau AAC. Selain bentuknya lebih presisi kekuatan mekanik AAC lebih baik dari pada LTCCC. Bahan mentah yang biasa digunakan untuk membuat AAC adalah silika atau pasir kuarsa, kapur, semen dan bubuk aluminium. Untuk membuat bata ringan AAC pengeringannya tidak bisa menggunakan suhu ruang harus menggunakan alat *autoclave*, alat ini berfungsi mirip dengan *oven* hanya saja pada *autoclave* selain suhu, tekanan di dalamnya dapat diatur. Pada proses *autoclaving*, silika dan mineral hasil reaksi hidrasi antara air dan semen akan bereaksi sehingga muncul senyawa kristalin *tobermorite*. [1]. Karena kristal *tobermorite* ini lah yang membuat bata ringan AAC lebih kuat dari pada bata ringan *non*-AAC

Karena struktur AAC yang berpori diakibatkan *foam agent*, AAC dapat mengurangi getaran sehingga memiliki kemampuan insulasi suara yang baik. Adapun standar ukuran bata ringan AAC adalah tebal 50-375 mm, tinggi 200 mm, dan panjang 610 mm [3]. Dibandingkan dengan bata konvensional, AAC memiliki sifat massa jenis dan konduktivitas termal lebih rendah, penyusutan yang rendah, lebih tahan terhadap api dan mudah digunakan pada konstruksi [8]

2.4. Pembuatan Bata Ringan



Gambar 2. 3 Skema fabrikasi AAC
(sumber: www.aeroblock.com/history.html)

Bata ringan AAC secara umum terbuat dari pasir, kapur, air, semen dan serbuk aluminium. Selain itu, abu terbang, ampas bijih atau sisa tambang bisa dijadikan bahan tambahan untuk silika [7]. Untuk membuat bata ringan tipe AAC urutan bahan yang masuk dan lama pengadukan berpengaruh terhadap hasil akhir. Seperti pada gambar 2.3, bahan penyusun pertama dicampurkan terlebih dahulu setelah itu dimasukkan ke dalam cetakan. Pertama, pasir silika dengan air dilarutkan sampai homogen lalu semen ditambahkan dan diaduk sampai homogen. Campuran silika dan semen ditambahkan batu kapur yang sudah dihaluskan, pada tahap ini lama pengadukan tidak boleh terlalu lama. Setelah campuran tersebut homogen dicampur dengan serbuk aluminium. Sama seperti sebelumnya, pengadukan pada tahap ini tidak boleh terlalu lama karena bisa meyebabkan reaksi terjadi sebelum dimasukkan ke dalam cetakan. Ketika air ditambahkan, proses hidrasi

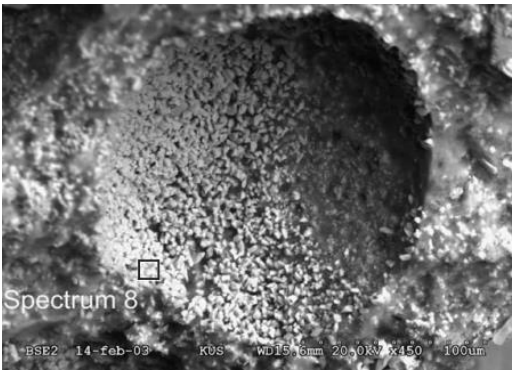
berlangsung antara trikalsium silikat pada semen dengan air (H_2O) dan akan membentuk kalsium silikat hidrat (CSH) dan $Ca(OH)_2$. Persamaan reaksinya adalah:

$$2Ca_3.SiO_5 + H_2O \rightarrow C - S - H + 3Ca(OH)_2 \quad (2.1)$$

Setelah bahan-bahan tersebut dicampurkan dalam satu wadah barulah ditambahkan serbuk aluminium. $Ca(OH)_2$ yang terbentuk dari campuran agregat halus dengan air akan bereaksi dengan serbuk aluminium dan menghasilkan gas hidrogen. Persamaan reaksinya sebagai berikut:

$$2Al + 3Ca(OH)_2 + 6H_2O \rightarrow 6CaO.\ Al_2O_3.\ 6H_2O + H_2 \quad (2.2)$$

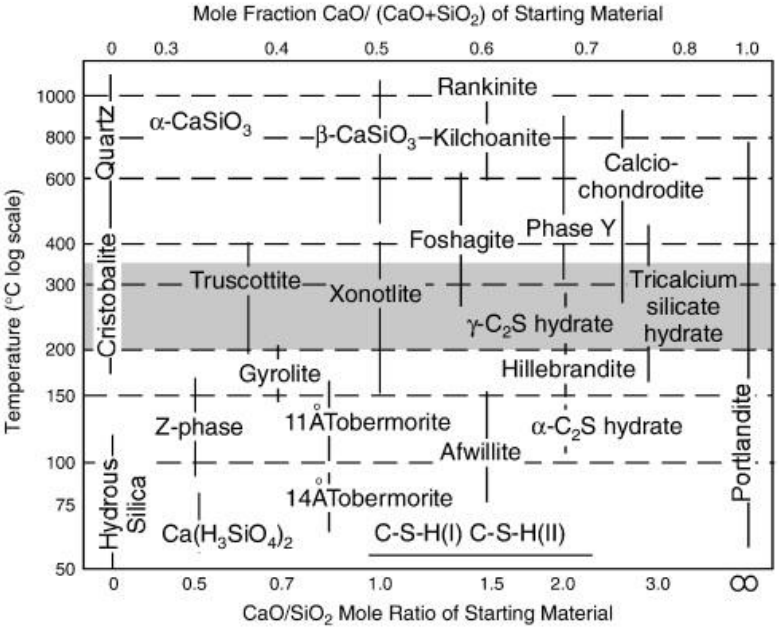
Gas hidrogen membuat campuran mengembang atau membuat pori pada struktur bata ringan [8], sehingga volume bata ringan bertambah dengan sendirinya. Gas hidrogen akan hilang seiring berjalan waktu dan digantikan oleh udara, karena massa jenis udara lebih berat dari massa jenis gas hidrogen. Seiring semakin bertambahnya serbuk aluminium yang ditambahkan maka reaksi akan semakin cepat dan volume bata ringan akan semakin bertambah. Namun, volume yang bertambah dengan cepat akan menyebabkan bata ringan rapuh karena terlalu banyak pori. Maka dari itu, hal ini akan berpengaruh terhadap sifat fisik, mekanik dan juga termal bata ringan.



Gambar 2. 4 *Micropore* pada *macropore [9]*

Pada pori tersebut terbentuk *macropore*. Pada permukaan *macroprore* akan terbentuk pori lagi yang disebut *micropore* seperti yang ditunjukan gambar 2.4. *Macropore* berdiameter 0,1-1,0 mm yang terbentuk oleh gas hidrogen, *micropore* berdiameter kurang dari 1 µm terbentuk dari air yang ada pada bahan pembuat bata ringan dan akan hilang berganti menjadi ikatan kalsium silika ketika proses *autoclaving* [10].

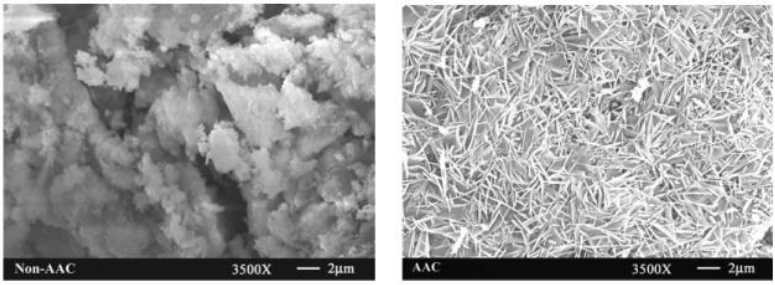
Campuran yang sudah dimasukkan ke dalam cetakan ditunggu sampai sedikit keras agar bisa dilepas. Setelah itu, campuran yang masih mengandung air dipotong sesuai dengan ukuran yang diinginkan. Sebelum dimasukkan ke dalam *autoclave*, biasanya ditunggu selama enam jam agar campuran tersebut mengeras. Suhu yang digunakan pada *autoclave* biasanya 170°C – 200°C dengan tekanan 4 – 16 MPa selama 8-16 jam.



Gambar 2. 5 Variasi fasa pada sistem CaO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O dalam rentang suhu 50 – 1000 °C *[11]*

Ketika keluar dari *autoclave*, warna bata ringan yang semula berwarna seperti semen berubah menjadi putih. Hal ini disebabkan pasir silika yang bereaksi pada suhu *autoclave*. Pasir bereaksi dengan C-S-H dan $Ca(OH)_2$ membentuk struktur kristal tobermorite. Gambar 2.5 menunjukkan fasa ketika terbentuk kristal tobermorit pada bata ringan.

Sistem C-A-S-H pada rentang suhu 50 – 100 ^oC dan rasio CaO/SiO^2 = 0,8 – 1,5 akan terbentuk fasa *tobermorite*. Fase ini membuat bata ringan AAC lebih kuat dibandingkan LTCCC karena bentuknya yang menyerupai bilah sehingga dapat saling mengunci satu sama lain seperti pada gambar 2.6 (b). Gambar 2.6 (a) yaitu bata ringan non AAC terlihat kristal berbentuk *amorf* atau tidak beraturan.



(a) (b)

Gambar 2. 6 Perbandingan struktur kristal bata ringan (a) Non AAC dan (b) bata ringan AAC *[12]*

2.5. Lumpur Lapindo Sidoarjo

Lumpur panas Lapindo Sidoarjo merupakan bahan mineral yang dikeluarkan dari dalam bumi akibat kegagalan teknis dalam pengeboran (eksplorasi) migas. Material tersebut dalam istilah geologi dapat dikategorikan sebagai produk erupsi mud volcano yang bisa terjadi di suatu kegiatan pengeboran khususnya di wilayah yang mempunyai tatanan geologi yang kompleks. Bahan ini berbentuk butiran halus, berwarna abu-abu kehitaman, sangat plastis dan memiliki nilai susut kering yang tinggi [13]

Adapun kandungan yang terdapat di dalam lumpur panas Lapindo di antaranya SiO_2, Al_2O_3 dan Fe_2O_3. Kandungan silika (SiO_2) pada lumpur Lapindo mencapai 55% dengan kemurnian 96,9% - 98,5% [14]. Pada pembuatan bata ringan, abu terbang pada sisa pembakaran PLTU dapat ditambahkan ke dalam campuran silika [15], maka dari itu pada penelitian ini ditambahkan silika yang berasal dari ekstraksi lumpur Lapindo.

Kandungan yang terdapat di dalam lumpur panas Lapindo setelah diekstraksi ada pada tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Komposisi lumpur lapindo setelah diekstraksi *[16]*

Elemen	Weight %	Atomic %
C	13,95	20,47
O	53,74	59,24
Na	3,82	2,70
Al	5,21	3,14
Si	15,17	8,78

2.6. Konduktivitas Termal

Perpindahan kalor terjadi bila pada suatu sistem terdapat gradien temperatur atau bila ada dua sistem bersinggungan yang temperaturnya berbeda. Proses dimana sesuatu yang dipindahkan di antara sebuah sistem dan sekelilingnya akibat perbedaan temperatur ini disebut kalor [17].

Perpindahan kalor pada umumnya terjadi dengan tiga cara yaitu konduksi, konveksi serta radiasi. Pada proses konduktivitas termal perpindahan kalor yang terjadi secara konduksi. Konduksi adalah perpindahan kalor dari suatu bagian benda padat ke bagian lain dari benda padat yang lain karena terjadi persinggungan fisik atau menempel tanpa terjadinya perpindahan molekul-molekul dari benda padat itu sendiri.

Konduktivitas panas suatu bahan adalah ukuran kemampuan bahan untuk menghantarkan panas (termal). Berlaku untuk sebuah bahan berbentuk balok dengan penampang lintang A, E adalah energi yang dipindahkan persatuan waktu antara dua permukaan berjarak l, maka persamaannya adalah:

$$\frac{E}{t} = \frac{\lambda A(T_2 - T_1)}{l} \tag{2.3}$$

Dengan λ adalah konduktivitas termal, t adalah waktu dan T_2 dan T_1 adalah temperatur permukaan.

2.7. Konduktivitas Termal Bata Ringan

Jika dilihat dari kuat tekan, bata ringan yang terbuat dari lumpur Lapindo layak dijadikan material utama pembentuknya [18]. Namun saat ini penelitian mengenai konduktivitas termal bata ringan yang terbuat dari Lumpur Lapindo belum ada. Padahal, salah satu keunggulan bata ringan AAC adalah konduktivitas termal yang rendah, sehingga menyebabkan temperatur di dalam ruangan stabil. Koefisien konduktivitas termal (k_c atau λ) menyatakan besarnya laju perpindahan panas, tegak lurus terhadap permukaan material yang dihadapi. Semakin kecil nilainya, maka semakin baik insulasi termal material tersebut. Faktor yang mempengaruhi konduktivitas termal bata ringan yaitu massa jenis, kandungan uap air dan komposisi mineral penyusunnya [8]. Persamaan yang menghubungi antara massa jenis bata ringan dan konduktivitas termalnya yang diusulkan oleh Valore (1980) dalam laporannya di *American Concrete Institute ACI* 122-OR [19] adalah:

$$k_c = 0{,}072e^{0{,}00125d} \tag{2.4}$$

Dimana: k_c = konduktivitas termal (W/mK)
d = massa jenis kering (kg/m^3)

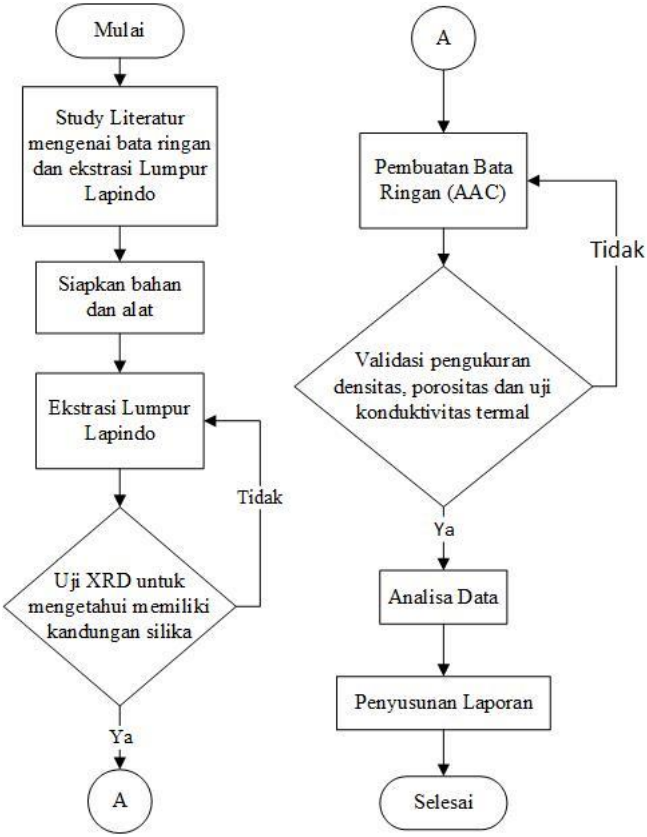
Pada kondisi normal, tidak mungkin untuk mempertahankan bata ringan dalam kondisi kering karena adanya pengaruh uap air sehingga persamaan konduktivitas diatas perlu dikoreksi menjadi

$$k_c = 0{,}0865e^{0{,}00125d} \tag{2.5}$$

Konduktivitas termal akan meningkat dengan bertambahnya massa jenis bata ringan secara eksponensial.

BAB III
METODOLOGI

Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan berdasarkan langkah-langkah yang sistematis seperti ditunjukkan pada diagram alir di bawah ini:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

Langkah-langkah penelitian yang ditunjukkan oleh diagram alir di atas akan dijabarkan pada masing-masing sub bab berikut:

3.1. Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

a. *Magnetic stirrer*
b. Oven
c. Timbangan Analitik
d. pH meter digital
e. Gelas *Beaker*
f. Pipet
g. *Crusible*
h. Spatula
i. Mortar
j. Kertas saring
k. Gunting
l. Kamera digital
m. Cetakan
n. Autoclave

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

a. 1500 mL larutan HCl (Hidrogen Clorida) 37%
b. 500 gram NaOH
c. 1 L akuades
d. Lumpur Lapindo
e. Pasir silika
f. Semen
g. Batu kapur
h. Aluminium pasta

(a.) aluminium pasta

(b.) semen

(c.) batu kapur yang dihaluskan

(d.) pasir silika

Gambar 3. 2 Bahan baku penyusun bata ringan

Bahan baku untuk membuat bata ringan seperti pada gambar 3.2 didapatkan di toko bangunan kecuali serbuk aluminium didapatkan di toko kimia. Bahan baku penyusun ketika sedang tidak digunakan harus berada di tempat yang tertutup agar tidak terkontaminasi lingkungan luar.

3.2. Ekstraksi Lumpur Lapindo

Untuk mendapatkan silika dari Lumpur Lapindo diperlukan proses ekstraksi. Proses ektrasi tersebut adalah sebagai berikut:

a. Lumpur dicuci dengan akuades lalu dikeringkan dengan suhu ruang (untuk menghilangkan airnya).
b. Lumpur yang sudah kering digerus dengan menggunakan mortar.
c. 10 gram lumpur yang sudah kering digerus lalu dicuci menggunakan HCl selama 4 jam.
d. Lalu lumpur direaksikan dengan NaOH, diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam pada suhu 80°C.

e. Lumpur ditambahkan akuades sebanyak 250 ml lalu disaring menggunakan kertas saring.
f. Larutan hasil saringan tersebut dititrasi dengan HCl dengan diputar menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 40°C hingga pH mendekati 7 dan terbentuk endapan putih silika.
g. Endapan silika dicuci menggunakan akuades untuk menghilangkan pengotor berupa garam NaCl.
h. Endapan tersebut disaring menggunakan kertas saring lalu dikeringkan pada suhu 80°C selama kurang lebih 12 jam.

3.3. Uji XRD

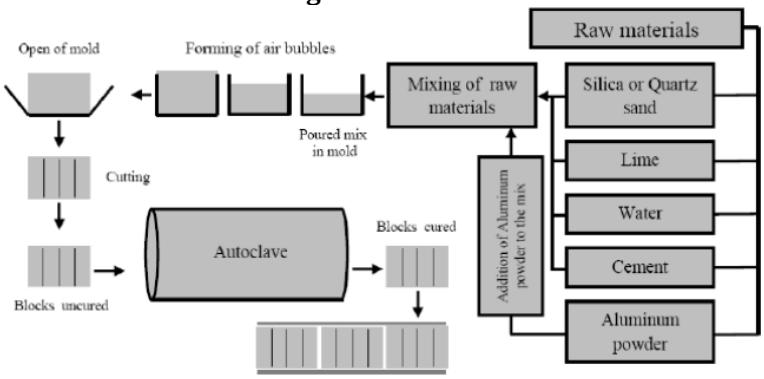
Uji XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS. Uji XRD dilakukan untuk mengetahui apakah kandungan yang terdapat pada ekstraksi Lumpur Lapindo. Prinsip dasar XRD adalah mendifraksi cahaya melalui celah kristal, radiasi yang digunakan biasanya menggunakan radiasi sinar-X, electron dan neutron. Adapun sampel yang diuji adalah hasil ekstraksi lumpur Lapindo seperti pada gambar 3.3

Gambar 3. 3 Silika yang didapat dari ekstraksi Lumpur Lapindo

XRD memberikan data-data difraksi dan kuantisasi intensitas difraksi pada sudut-sudut dari suatu bahan. Data yang diperoleh dari XRD berupa intensitas difraksi sinar-X yang terdifraksi dan sudut-sudut 2θ. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudia

dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material, standar ini disebut JCPDS (Joint Committee on Power Diffraction Standards). Nomor kartu standar JCPDS untuk silika adalah 5-0490.

3.4. Pembuatan Bata Ringan



Gambar 3. 4 Proses Pembuatan Bata Ringan AAC *[7]*

Bahan mentah utama yang dibutuhkan untuk membuat bata ringan AAC adalah silika atau pasir kuarsa,batu kapur, semen dan serbuk aluminium.Proses pembuatan bata ringan jenis AAC secara singkat dijelaskan pada gambar 3.4 Semua agregat halus (silika atau pasir kuarsa dan batu kapur) dicampur dengan semen, lalu campuran tersebut ditambahkan dengan air. Setelah bahan tersebut tercampur, ditambahkan serbuk aluminium sehingga volumenya bertambah menjadi 2 sampai 5 kali dari pada ukuran normal. Penambahan volume ini disebabkan oleh reaksi antara air dengan semen dan serbuk aluminium. Gelembung yang berisi hidrogen digantikan oleh udara, inilah yang nantinya menjadi gelembung gelembung kecil yang biasa terlihat pada bata ringan. Setelah itu, campuran tersebut dimasukkan ke dalam *autoclave*. *Autoclave* adalah alat pemanas tertutup dengan bertekanan dan bersuhu tinggi. Pada proses ini, bata ringan diberikan tekanan yang tinggi dan suhu yang tinggi selama kurang lebih 8-16 jam. Setelah dimasukkan ke dalam *autoclave*, bata ringan tersebut mengalami

penyusutan air yang signifikan dan membuat bata ringan tersebut sesuai dengan standar yang berlaku.

Data komposisi membuat bata ringan berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan Wiryawan (2016) menggunakan simulasi Jaringan Syaraf Tiruan dengan menggunakan perangkat lunak *Matlab* untuk mengetahui sifat termal paling optimal. Tabel 3. 1 dan tabel 3. 2 menunjukkan komposisi bata ringan yang akan difabrikasi di PT Corin Mulia Gemilang, Balung Bendo, Krian, Kabupaten Sidoarjo. Adapun variabel bebas pada penelitian ini adalah kandungan Al 0,5%; 1%; 2% dan Kandungn Ca 15%, 25% 33%. Selain itu, masing-masing sampel akan dicampurkan dengan silika dari hasil ekstraksi Lumpur Lapindo sebanyak 2 gram.

Tabel 3. 1 Matriks data komposisi bahan bata ringan dengan variasi aluminium *powder*

Aluminium *Powder* (gram)	Semen (gram)	Kapur (gram)	Pasir (gram)	Air (gram)
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 Matriks data komposisi bahan bata ringan dengan variasi semen dan kapur

Aluminium *Powder* (gram)	Semen (gram)	Kapur (gram)	Pasir (gram)	Air (gram)
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

Pada penelitian ini, variabel bebas terdapat pada sumber aluminium (Al) yaitu aluminium *powder* dan kalsium (Ca) yaitu semen dan kapur dengan perbandingan 2:1. Karena bahan tersebut mewakili unsur dengan kandungan paling tinggi.

3.5. Pengukuran Densitas Bata Ringan

Untuk mendapatkan densitas atau massa jenis dari bata ringan didapatkan melalui persamaan:

$$\rho_{sampel} = \frac{m_{sampel}}{V_{sampel}} \tag{3.1}$$

Berat dari bata ringan ditimbang menggunakan timbangan digital dan volume bata ringan dipotong menyesuaikan dengan kebutuhan sampel untuk pengujian lalu diukur menggunakan penggaris seperti pada gambar 3.5. Pengukuran massa jenis bata ringan dilakukan di Laboratorium Rekayasa Bahan Teknik Fisika ITS.

Gambar 3. 5 Pengukuran densitas bata ringan

Tabel 3. 3 Matriks pengukuran massa jenis bata ringan

Sampel	Massa Jenis (kg/m^3)
Al 0,5%	
Al 1%	
Al 2%	
Ca 15%	
Ca 25%	
Ca 33%	

3.6. Uji Porositas

Porositas merupakan perbandingan pori-pori atau ruang kosong dalam beton terhadap volume benda. Prosedur pengujian

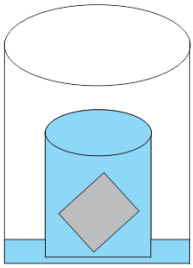
porositas menurut ASTM C 642-90 [20], *Standard Test Method for Specific Grafity, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*.

Untuk mengukur berat kering, semua sampel dioven selama 24 jam pada suhu 105°C. Setelah itu sampel dikeluarkan dan dibiarkan hingga suhunya mencapai 21-25°C kemudian sampel ditimbang (W_{kering})

Sedangkan untuk mengukur berat basah semua sampel yang telah diukur berat keringnya direndam di dalam air selama 24 jam pada suhu kamar. Setelah itu sampel dikeluarkan dan didiamkan sampai air tidak menetes lagi dari sampel. Selanjunya sampel ditimbang (W_{basah}). Kemudian sampel tersebut direndam lagi di dalam air mendidih (110 °C) dengan volume 600 ml selama 14 jam. Lalu *hot plate* dimatikan dan sampel dibiarkan di dalam bejana selama 5 jam. Kemudian sampel tersebut diangkat dan ditunggu ± 30 menit untuk dicari berat basahnya (W_f) dengan persamaan:

$$W_f = W - F_a \tag{3.2}$$

F_a adalah gaya apung (Archimedes) didapatkan dengan cara memasukkan bejana 300 ml air dan sampel di dalamnya ke bejana yang lebih besar seperti pada gambar 3.6, air tumpah ditampung pada bejana yang lebih besar kemudian air tersebut ditimbang.



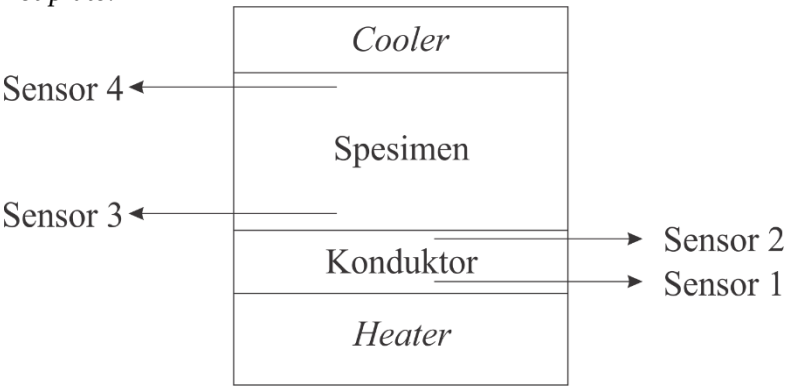
Gambar 3. 6 Perhitungan massa jenuh pada bata ringan

Berat semu di atas digunakan untuk mengetahui porositas melalui persamaan:

$$\%\text{Porositas} = \frac{(W_{kering} - W_{basah})}{(W_{kering} - W_f)} \times 100 \tag{3.3}$$

3.7. Uji Konduktivitas Bata Ringan

Uji konduktivitas termal dilakukan dengan acuan standar ASTM C 202-93 dan dikerjakan di Labolatorium Vibrasi dan Akustik Teknik Fisika ITS, Surabaya. Pada pengukuruan digunakan sensor *thermocouple* yang tersambung dengan termometer digital APPA 51. Bahan yang digunakan sebagai *cooler* dan konduktor adalah kaca dengan nilai konduktivitas temal 0,8 W/m.K. Sedangkan alat yang digunakan sebagai *heater* adalah *hot plate*.



Gambar 3. 7 *Set Up* Alat dan Sampel Uji Konduktivitas Termal

Setelah alat dan sampel di set up seperti pada gambar 3.7 lalu dilakukan pengujian. Konduktivitas termal bahan (λ) dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\frac{k_1 A \Delta T_1}{l_1} = \frac{k_2 A \Delta T_2}{l_2} \tag{3.4}$$

Dengan:

k_1 = konduktivitas termal konduktor
k_2 = konduktivitas termal spesimen
A_1 = A_2 = diabaikan
ΔT_1 = perbedaan suhu antara sensor 1 dan sensor 2
ΔT_2 = perbedaan suhu antara sensor 3 dan sensor 4
l_1 = tebal konduktor
l_2 = tebal spesimen

Gambar 3. 8 Uji Konduktivitas Termal Bata Ringan

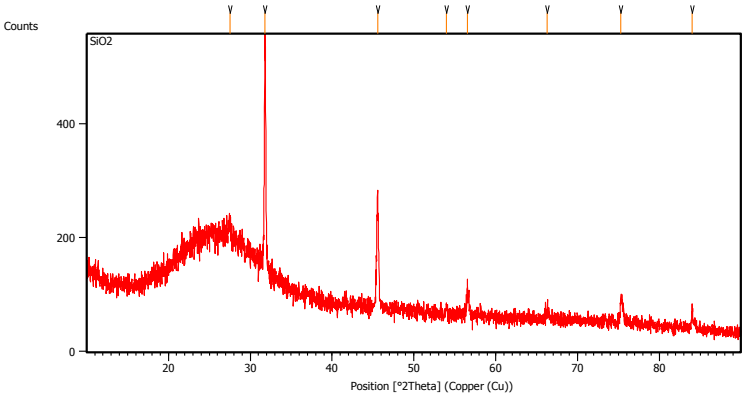
Ketika sedang pengujian seperti pada gambar 3.8, *set up* alat berada di dalam kotak kayu tertutup kecuali termometer agar suhu dari lingkungan tidak mempengaruhi hasil akhir.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, akan dijabarkan mengenai hasil karakterisasi XRD SiO_2 Lumpur Sidoarjo, pengukuran massa jenis bata ringan, pengukuran porositas dan perhitungan konduktivitas termal bata ringan yang telah dilakukan.

4.1. Karakterisasi XRD SiO_2 Lumpur Sidoarjo

Setelah melewati proses ekstraksi lumpur Sidoarjo pada suhu 80°C selama 24 jam, lumpur yang tadinya berwarna abu-abu gelap seberat 10 gram berubah menjadi ±1 gram butiran putih halus kecil. Gambar 4.1 menunjukkan hasil pola XRD untuk SiO_2 dari ekstraksi lumpur Sidoarjo. Berdasarkan hasil XRD, terdapat puncak pada $2\theta = 27{,}5110^o$ dimana puncak tersebut dimiliki oleh SiO_2. Selain itu, ada puncak lain yaitu pada $2\theta = 31{,}8084^o$ yang dimiliki oleh $NaAlSi_3O_8$ dan pada $2\theta = 45{,}5616^o$ yang dimiliki oleh γ-Al_2O_3.



Gambar 4. 1 Hasil XRD SiO_2 dari lumpur Sidoarjo

Pada pola hasil XRD terlihat puncak SiO_2 tidak runcing melainkan berbentuk seperti lembah, menunjukkan bahwa kristal berbentuk *amorf*.

4.2. Hasil Pembuatan Bata Ringan.

Bata ringan dibuat di PT Corin Mulia Gemilang yang berlokasi di Waruberon, Balong Bendo, Sidoarjo Regency, Jawa Timur. Adapun bata ringan yang berhasil dibuat adalah sebagai berikut:

(a.) Al 0,5% (b.) Al 1% (c.) Al 2%

Gambar 4. 2 Bata Ringan komposisi Al tanpa silika lumpur Lapindo

Gambar 4.2 menunjukkan bata ringan dengan penambahan aluminium membuat pori-pori bata ringan semakin mengecil, bata ringan Al 2% terlihat pori tidak merata sedangkan pada Al 0,5% pori-pori besar dan merata di seluruh bata ringan.

(a.) Al 0,5% (b.) Al 1% (c.) Al 2%

Gambar 4. 3 Bata Ringan komposisi Al ditambah silika lumpur Lapindo

Jika dibandingkan dengan gambar 4.2, persebaran pori gambar 4.3 lebih merata. Pada sampel Al 1% bahkan pori hampir tidak terlihat. Pada komposisi Al 0,5%, persebaran pori merata dan bentuknya kecil. Sedangkan pada Al 2%, ada beberapa pori besar tetapi pembentukannya tidak merata selain itu bentuk bata ringan tidak teratur.

(a.) Ca 25%

(b.) Ca 33%

Gambar 4. 4 Bata Ringan komposisi Ca tanpa silika lumpur Lapindo

Pada pembuatan bata ringan dengan variasi kalsium, terdapat bata ringan yang tidak jadi yaitu komposisi Ca 15%, bata ringan sangat rapuh ketika dikeluarkan dari cetakan sehingga tidak bisa diuji karena hanya dengan disentuh bata tersebut menjadi pasir agregat kasar. Pada gambar 4.4 jika dibandingkan di antara kedua bata ringan penambahan kalsium mempengaruhi pori pada bata ringan. Bata ringan komposisi Ca 33% terlihat ada bercak putih, bercak putih tersebut adalah kapur yang gagal bereaksi dengan bahan lainnya ketika proses pencampuran.

(a.) Ca 15%

(b.) Ca 25%

(c.) Ca 33%

Gambar 4. 5 Bata Ringan komposisi Ca ditambah silika lumpur Lapindo

Komposisi Ca 25% seperti pada gambar 4.5 terlihat lebih padat karena porinya tidak terlihat, sedangkan komposisi Ca 33% pori yang ada mendekati pori pada bata ringan yang dijual di pasaran. Jika dibandingkan dengan komposisi bata ringan yang tidak ditambahkan silika hasil ekstraksi, pori bata ringan lebih kecil dan merata.

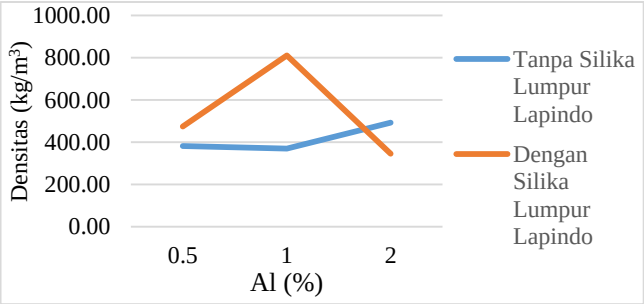
4.3. Massa Jenis Bata Ringan

Tabel 4.1 berikut menunjukkan hasil pengukuran massa jenis pada masing-masing sampel bata ringan.

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Massa Jenis Bata Ringan

Sampel	Massa Jenis (kg/m^3)	
	Dengan Silika	Tanpa Silika
Al 0,5%	476,66	381,96
Al 1%	810,16	369,97
Al 2%	345,68	492,71
Ca 15%	415,63	-
Ca 25%	810,16	369,97
Ca 33%	560,28	257,94

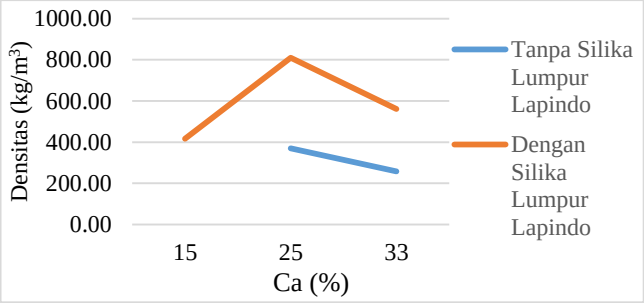
Pada pembuatan bata ringan tanpa tambahan silika dari hasil ekstraksi Lumpur Lapindo terlihat komposisi Ca 15% tidak bernilai. Hal ini karena sampel terlalu rapuh ketika dikeluarkan dari cetakan, ketika dimasukkan ke dalam *autoclave* sampel sudah hancur terlebih dahulu. Untuk melihat perbedaan massa jenis bata ringan lebih jelas yang ditambahkan dengan silika hasil ekstraksi Lumpur Lapindo dengan tidak ditampilkan pada gambar 4.6 berikut:



Gambar 4. 6 Densitas Bata Ringan dengan Variasi Aluminium

Pada bata ringan tanpa tambahan silika, tidak terlihat pengaruh komposisi Al terhadap nilai massa jenis. Namun, ketika bata ringan ditambahkan silika massa jenis akan bertambah. Pada komposisi Al 2% nilai massa jenis menunjukkan sebaliknya, hal ini bisa

disebabkan kandungan Al yang terlalu banyak sehingga gas hidrogen yang nantinya akan menjadi pori bergabung satu sama lain dan menyebabkan volume yang tadinya membesar turun lagi dan menyebabkan massa jenis ikut turun.



Gambar 4. 7 Densitas Bata Ringan dengan Variasi Kalsium

Densitas bata ringan dengan variasi Ca menunjukkan tren yang sama untuk komposisi 25% dan 33% hanya saja, bata ringan dengan tambahan silika mempunyai massa jenis lebih tinggi. Pada komposisi Ca 15% data tidak bisa dibandingkan karena bata ringan tanpa tambahan silika sangat rapuh sehingga tidak bisa diambil data. Dilihat dari gambar 4.7, kandungan Ca mempengaruhi massa jenis bata ringan.

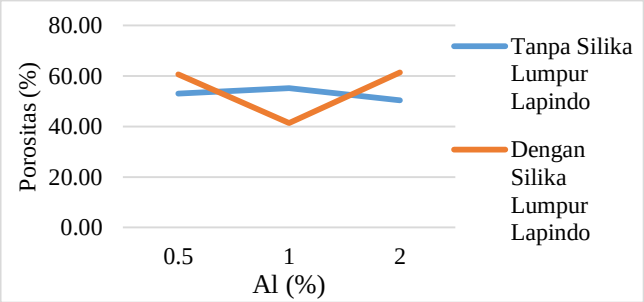
4.4. Porositas Bata Ringan

Berdasarkan pengukuran yang sudah dilakukan dengan mengacu pada ASTM C-642 dan persamaan (3.2). Setelah dilakukan percobaan untuk perhitungan porositas dengan standar ASTM C-642 didapatkan bahwa porositas paling besar dimiliki oleh bata ringan dengan Al sebesar 2% dengan nilai 61,395%, sedangkan pada sampel yang tidak ditambahkan silika hasil ekstraksi Lumpur Lapindo porositas paling besar dimiliki oleh Ca 33% dengan nilai 67,60%. nilai porositas untuk masing-masing bata ringan disajikan pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran Porositas Bata Ringan

Sampel	Porositas (%)	
	Dengan Silika	Tanpa Silika
Al 0,5%	60,604	53,01
Al 1%	41,342	55,21
Al 2%	61,395	50,34
Ca 15%	49,813	-
Ca 25%	41,342	55,21
Ca 33%	57,569	67,60

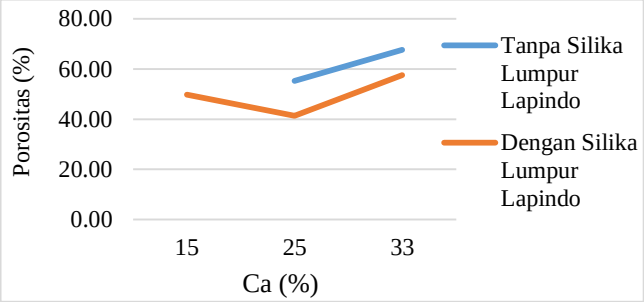
Nilai porositas paling rendah dan paling tinggi dimiliki oleh bata ringan dengan tambahan silika hasil ekstraksi lumpur Lapindo. Pada variasi Al ditemukan bahwa massa jenis yang lebih besar tidak berarti porositasnya lebih kceil. Meskipun nilainya tidak berbeda jauh, tren pada grafik menunjukkan nilai porositas berbanding terbalik dengan nilai massa jenis. Sama seperti massa jenis, aluminium tidak mempengaruhi nilai porositas terlalu banyak. Agar lebih mudah dipahami dan dibandingkan, nilai porositas bata ringan akan ditampilkan pada gambar 4.8 berikut ini:



Gambar 4. 8 Porositas Bata Ringan dengan Variasi Aluminium

Gambar 4.9 menunjukkan bata ringan tanpa tambahan silika nilai porositasnya selalu berada di atas bata ringan dengan tambahan silika. Selain itu, massa jenis berbanding terbalik dengan porositas. Ketika massa jenis lebih besar porositas akan lebih kecil. Porositas paling tinggi di antara semua sampel bata ringan adalah

komposisi Ca 33% dengan tambahan silika lumpur Lapindo sebesar 67,60%



Gambar 4. 9 Porositas Bata Ringan dengan Variasi Kalsium

4.5. Konduktivitas Termal Bata Ringan

Setelah didapatkan nilai densitas dari masing-masing sampel bata ringan lalu dilakukan perhitungan menggunakan persamaan (2.2) dan dilakukan pengujian dengan mengacu ASTM C 202-93 hasil konduktivitas termal bata ringan dapat dilihat pada tabel 4.3 dan tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4. 3 Konduktivitas Termal Bata Ringan Dengan Tambahan Silika

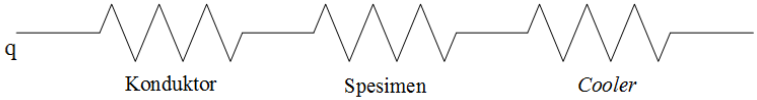
Sampel	Konduktivitas Termal (W/m.K)	
	Pengujian	Perhitungan
Al 0,5%	1,31	0,1565
Al 1%	4,4	0,2381
Al 2%	1,4	0,1332
Ca 15%	4,17	0,1454
Ca 25%	4,4	0,2381
Ca 33%	2,52	0,1743

Hasil pengujian berbeda dengan hasil perhitungan. Terlihat nilai paling jauh pada sampel Ca 25% dan paling kecil pada sampel Al 0,5%. Hasil bata ringan tanpa tambahan silika memiliki trend yang sama, yaitu nilai pengujian dengan nilai perhitungan selisihnya cukup banyak

Tabel 4. 4 Konduktivitas Termal Bata Ringan Tanpa Tambahan Silika

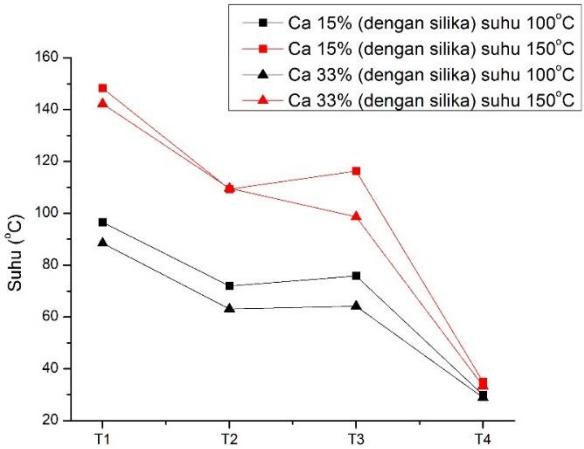
Sampel	Konduktivitas Termal (W/m.K)	
	Pengujian	Perhitungan
Al 0,5%	2,59	0,1394
Al 1%	3,36	0,1373
Al 2%	3,7	0,1601
Ca 15%	-	-
Ca 25%	3,36	0,1373
Ca 33%	3,54	0,1194

Berdasarkan perhitungan dan pengujian terlihat perbedaan antara nilai konduktivitas termal di antara keduanya yang cukup jauh. Hal ini disebabkan karena resistansi termal pada saat pengujian. Dilihat pada gambar 3.7, sirkuit akan ekuivalensi dengan gambar 4.10.



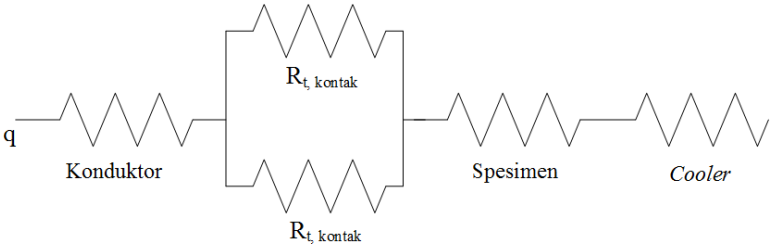
Gambar 4. 10 Sirkuit Konduktivitas Termal Uji Bata Ringan

Perbedaan suhu antara T_2 dan T_3 menyebabkan resistansi. Gambar 4.11 adalah grafik pengukuran bata ringan komposisi Ca 15% dengan tambahan silika dan Ca 33% dengan tambahan silika, pada saat suhu 100ºC dan 150ºC. Terlihat pada kedua suhu grafiknya memiliki nilai yang tidak jauh berbeda. Nilai T_3 lebih tinggi dari nilai T_2, kecuali pada komposisi Ca 33% T_3 lebih kecil. Dari dua sampel yang diambil sebagai contoh semuanya memiliki selisih antara T_2 dan T_3.



Gambar 4. 11 Suhu Saat Pengujian Konduktivitas Termal Bata Ringan

Perbedaan hasil tersebut membuat laju perpindahan panas pada bata ringan berubah. Adapun sirkuit yang ekuivalen dengan laju perpindahan panas menjadi seperti gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Sirkuit Konduktivitas Termal Uji Bata Ringan Dengan Resistansi Ideal

Resistansi termal yang terjadi pada saat pengujian bersifat konduksi dan konveksi. Resistansi kontak terjadi karena adanya celah antar bata ringan dengan konduktor yang menyebabkan udara masuk, maka pada antar muka tersebut terjadi perpindahan panas secara konveksi. Hubungan antara resistansi dengan konduktivitas termal adalah:

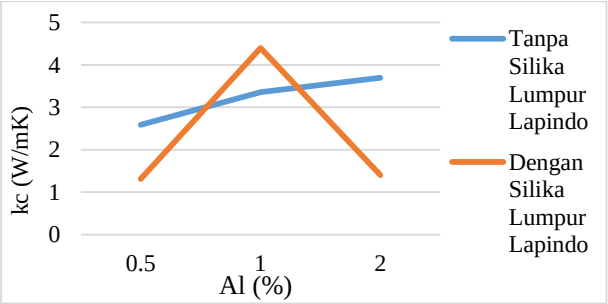
$$R = \frac{l}{kA} \tag{3.4}$$

Dimana: R : Resistansi Termal (m^2k/W)
l : panjang (m)
k : konduktivitas termal (W/mK)
A : luas penampang (m^2)

Nilai resistansi untuk udara pada SNI 03-6389-2000 adalah 0,110 m^2K/W sedangkan resistansi kontak bata ringan sebesar 0,172 m^2K/W [21]. Maka resistansi termal rangkaian T_2 dan T_3 pada pengujian bata ringan sebesar 0,067 m^2K/W. Resistansi rangkaian parallel dapat juga terjadi pada kontak antar T_1 dan T_4.

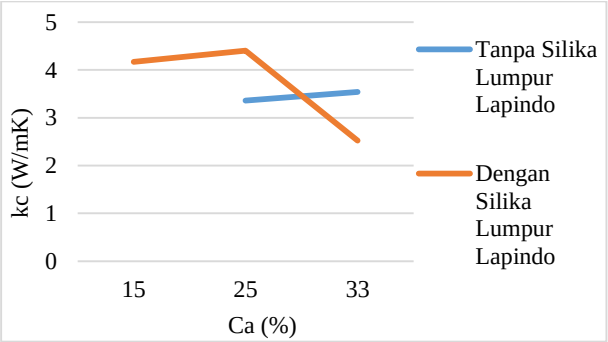
Faktor lain yang menyebabkan nilai pengujian dengan perhitungan adalah karena konduktivitas termal dipengaruhi oleh kandungan uap air. Bata ringan dengan kandungan uap air akan memiliki konduktivitas termal lebih tinggi karena uap air memiliki konduktivitas termal lebih tinggi dibanding udara. Konduktivitas termal akan meningkat sebesar 42% akibat dari kandungan uap air sebanyak 1% [1].

Nilai konduktivitas termal paling tinggi di antara bata ringan lain seperti tampak pada gambar 4.13 adalah komposisi Al 1% dengan tambahan silika. Namun untuk komposisi aluminium 0,5% dan 2% bata ringan dengan tambahan silika dari lumpur Lapindo dibandingkan dengan yang tidak nilai konduktivitas termalnya cukup jauh.



Gambar 4. 13 Konduktivitas Termal Bata Ringan dengan Variasi Aluminium

Nilai konduktivitas termal paling rendah di antara bata ringan yang lain komposisi Ca 33% dengan tambahan silika. Penambahan silika dari lumpur Lapindo dengan variasi Ca cukup mempengaruhi nilai konduktivitas termal, terbukti dengan nilai yang cukup jauh di antara sampel dengan tambahan silika dan tidak seperti ditunjukan pada gambar 4.14

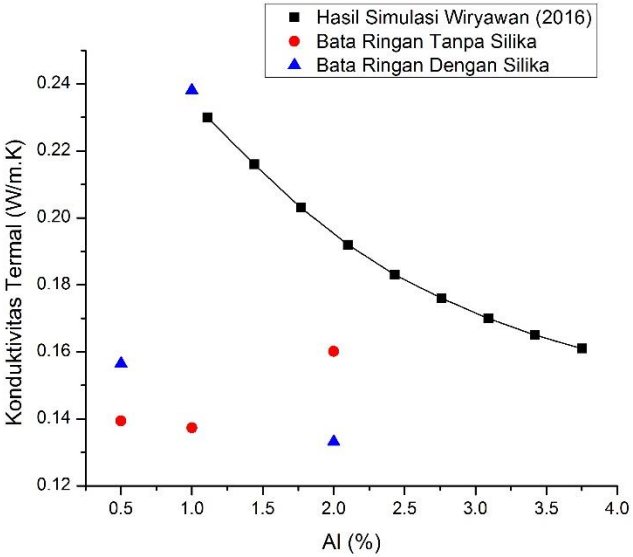


Gambar 4. 14 Konduktivitas Termal Bata Ringan dengan Variasi Kalsium

Konduktivitas termal paling tinggi adalah sampel dengan komposisi Al 1% dan Ca 15% dengan tambahan silika hasil ekstraksi lumpur Lapindo, yaitu 4,4 W/m.K. Sedangkan untuk yang paling rendah adalah bata ringan komposisi Al 0,5% dengan tambahan silika sebesar 1,31 W/m.K.

4.6. Interpretasi Hasil Analisis

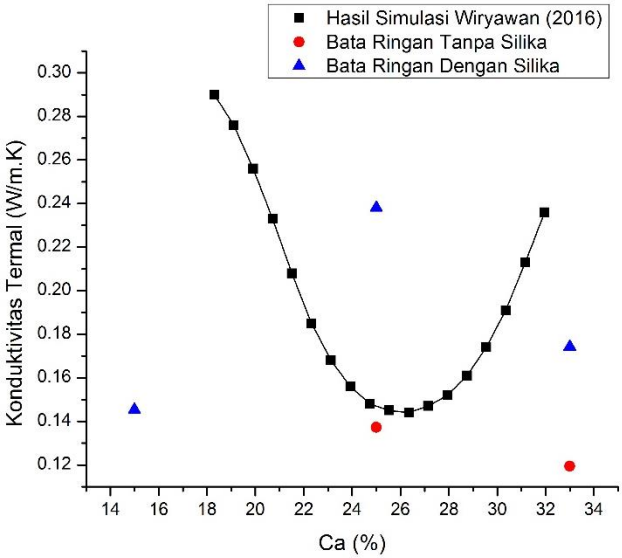
Telah dilakukan pembuatan bata ringan di PT Corin Mulia Gemilang dengan pengaruh komposisi aluminium dan kalsium, selain itu bata ringan dibuat dengan tambahan silika dari hasil ekstraksi lumpur Lapindo. Karena silika yang didapatkan sulit dan juga belum ada penelitian sebelumnya, maka banyaknya silika yang ditambahkan sebanyak 2 gram atau 0,29 wt%.



Gambar 4. 15 Perbandingan Simulasi Dengan Hasil Bata Ringan Variasi Aluminium

Dibandingkan dengan simulasi, sampel bata ringan dengan variasi aluminium nilai paling mendekati adalah komposisi Al 1% tambahan silika lumpur Lapindo. Konduktivitas termal bata ringan tersebut secara perhitungan adalah 0,2381 W/mK. Nilai konduktivitas termal paling jauh ketika komposisi Al 2% ditambah silika yaitu sebesar 0,1332 seperti yang terlihat pada gambar 4.15.

Dari hasil simulasi untuk mendapatkan konduktivitas termal yang baik komposisi aluminium minimal 2% dan maksimal 6%, diharapkan dengan penambahan aluminium terbentuk pori yang banyak. Pada prakteknya, ketika bata ringan dibuat dengan aluminium lebih dari 2% bata ringan tersebut menjadi amblas dan menyebabkan kekuatan mekanik bata ringan berkurang. Bata ringan yang amblas disebabkan oleh bergabungnya gas hidrogen sehingga volume bata ringan yang tadinya sudah besar menjadi kecil lagi. Pada industri pembuatan bata ringan biasanya komposisi aluminium berada pada rentang 0,3%-0,5%.



Gambar 4. 16 Perbandingan Simulasi Dengan Hasil Bata Ringan Variasi Kalsium

Pada bata ringan dengan variasi kalsium nilai konduktivitas termal paling mendekati adalah komposisi Ca tanpa tambahan silika seperti yang terlihat pada gambar 4.16. Komposisi 33% jika dilihat dari trend kurva yang berbentuk parabola dengan nilai minimum ketika komposisi kalsium 26,34% seharusnya berada diatas nilai konduktivitas termal ketika komposisi kalsium 30,35% sebesar 0,191 W/mK.

Komposisi kalsium dengan konduktivitas termal paling baik sebesar 22,32% sampai 30,35%. Jika dilakukan pembuatan bata ringan dengan komposisi berdasarkan simulasi, maka bata ringan dengan komposisi 33% lah yang paling baik karena secara fisik pori pada sampel lebih merata sehingga massa jenisnya tidak besar selain itu dilihat dari perbandingan antara CaO dengan SiO_2 sebesar 0,75 mendekati rasio ideal pada bata ringan untuk terbentuk kristal *tobermorite* yaitu 0,8-1,5. Pada komposisi Ca yang dianjurkan yaitu 25% besar rasionya 0,58. Sedangkan ketika

komposisi Ca 15% besar rasionya 0,36 karena itu bata ringan yang dibuat sangat rapuh sehingga tidak bisa dilakukan pengujian.

Pengaruh komposisi aluminiun dan kalsium yang ditambahkan dengan silika hasil ekstraksi lumpur Lapindo berpengaruh terhadap besar konduktivitas termal. Bata ringan dengan variasi Al memiliki nilai massa jenis paling kecil pada Al 2% dengan tambahan silika dan nilai paling tinggi Al 1% dengan tambahan silika. Nilai kedua porositas komposisi tersebut adalah 61,395% dan 41,342%. Pada variasi Al, porositas paling tinggi dimiliki oleh Al 2% dengan tambahan silika. Hal ini terlihat juga secara fisik, pori pada bata ringan banyak dan merata. Adapun untuk konduktivitas termal paling baik dimiliki oleh komposisi Al paling kecil, Al 2% tambahan silika lumpur Lapindo sebesar 1,31 W/m.K.

Konduktivitas termal bata ringan dipengaruhi oleh massa jenis, namun pada beberapa sampel ketika massa jenis kecil nilai konduktivitas termalnya besar, hal ini dikarenakan oleh kandungan uap air dan resitivitas termal yang ada pada bata ringan tersebut. Adapun hasil karakteristik dari bata ringan disajikan pada tabel 4.6 dan tabel 4.7, yang meliputi massa jenis, porositas dan konduktivitas temal.

Tabel 4. 5 Hasil Karakterisasi Bata Ringan Tanpa Tambahan Silika

		Massa Jenis (kg/m^3)	Porositas (%)	Konduktivitas Termal (W/m.K)
Al	0,5%	381,96	53,01	2,59
	1%	369,97	55,21	3,36
	2%	492,71	50,34	3,7
Ca	15%	-	-	-
	25%	369,97	55,21	3,36
	33%	257,94	67,60	3,54

Pada bata ringan tanpa tambahan silika, semakin kecil massa jenis maka porosias semakin besar. Porositas adalah kandungan pori pada suatu bahan tersebut, pori yang berisi udara ketika semakin banyak maka bata ringan tersebut akan semakin ringan.

Namun persebaran dan besar pori yang tidak merata menyebabkan perbandingan antara massa jenis dengan konduktivitas termal tidak eksponensial.

Tabel 4. 6 Hasil Karakterisasi Bata Ringan Dengan Tambahan Silika

		Massa Jenis (kg/m^3)	Porositas (%)	Konduktivitas Termal (W/m.K)
Al	0,5%	474,66	60,604	1,31
	1%	810,16	41,342	4,4
	2%	345,68	61,395	1,4
Ca	15%	415,63	49,813	4,17
	25%	810,16	41,342	4,4
	33%	560,28	57,569	2,52

Pada bata ringan variasi komposisi Ca didapatkan sampel dengan massa jenis paling rendah adalah Ca 33% tanpa tambahan silika dari lumpur Lapindo dan yang paling tinggi adalah Ca 25% dengan tambahan silika. Nilai porositas paling tinggi dimiliki oleh Ca 33% tanpa tambahan silika dengan nilai 67,60% nilai ini adalah porositas paling tinggi di antara sampel yang lainnya. Untuk nilai porositas paling rendah di antara sampel Ca adalah komposisi Ca 25% dengan tambahan silika dari lumpur Lapindo. Nilai konduktivitas termal paling baik variasi komposisi Ca adalah Ca 33% dengan tambahan silika sebesar 2,52W/m.K dan paling tinggi dimiliki oleh bata ringan dengan densitas paling tinggi yaitu Ca 25% tambahan silika bernilai 4,4 W/m.K

Namun, bata ringan terbaik bukanlah Al 2% tambahan silika dengan nilai konduktivitas termal paling kecil di antara semua sampel yaitu 1,31 W/m.K. Hal ini dikarenakan massa jenis yang dimiliki sampel terlalu kecil, bahkan ketika proses pembuatan sempat amblas karena antar pori bergabung oleh karena itu bata ringan tidak layak untuk dibuat secara massal. Dengan nilai konduktivitas termal 2,52 W/m.K dan densitas 560, 28 kg/m^3, bata ringan dengan komposisi Ca 33% tambahan silika lumpur Lapindo menjadi yang terbaik di antara semuanya. Karena massa jenis

sampel tersebut paling dekat dengan massa jenis bata ringan yang ada di pasaran yaitu antara 500-700 kg/m^3 selain itu secara visual bata ringan dengan komposisi ini paling mirip dengan bata ringan yang ada di pasaran dari segi warna dan besar pori.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

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

a. Variasi Al belum dapat dilihat pengaruhnya terhadap massa jenis dan porositas bata ringan.
b. Massa jenis maksimum dan porositas minimum diperoleh ketika komposisi Ca 25%.
c. Penambahan silika hasil ekstraksi dari lumpur Lapindo dapat digunakan sebagai bahan tambahan bata ringan untuk memperbaiki sifat termal namun harus memperhatikan komposisi bahan penyusun lainnya. Konduktivitas termal paling baik adalah bata ringan komposisi Al 0,5% dengan tambahan silika hasil ekstraksi lumpur Lapindo bernilai 1,31 W/m.K.
d. Bata ringan paling baik di antara variasi komposisi yang telah dibuat adalah Ca 33% tambahan silika hasil ekstraksi lumpur Lapindo dengan nilai konduktivitas termal 2,52 W/m.K; nilai porositas 57,569% dan massa jenis bernilai 560,28 kg/m^3.

5.2. Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya agar lebih baik adalah digunakan silika hasil ekstraksi lumpur Lapindo yang lebih banyak dan disesuaikan dengan komposisi tiap unsur agar pemanfaatan lumpur lapindo sebagai bahan tambahan bata ringan dapat diketahui karakteristiknya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Daftar Pustaka

[1] G. P. Wiryawan, "Prediksi Sifat Termal Bata Ringan Berdasarkan Variasi Komposisi Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.

[2] P. Walczak, P. Szymanski and A. Rozycka, "Autoclaved Aerated Concrete Based On Fly Ash in Density 350 kg/m3 as an Enviromentally Friendly Material For Energy - Efficient Constructions," *Science Direct,* vol. 122, pp. 39-46, 2015.

[3] A. Chaipanich and P. Chindaprasirt, "The Properties and Durability of Autoclaved Aerated Concrete Masonry Blocks," in *Eco-efficient Masonry Bricks and Blocks*, Khon Kaen, Elsevier, 2015, pp. 215-230.

[4] R. S. Mustopa and D. D. Risanti, "Karakterisasi Sifat Fisis Lumpur Panas Sidoarjo dengan Aktivasi Kimia dan Fisika," *JURNAL TEKNIK POMITS,* vol. 2, pp. 256-261, 2013.

[5] S. Handayani, "Kualitas Batu Bata Merah Dengan Penambahan Serbuk Gergaji," *Teknik Sipil dan Perencanaan,* pp. 41-50, 2010.

[6] K. Jitchaiyaphum, T. Sinsiri and P. Chindaprasirt, "Cellular Lightweight Concrete Containing Pozzolan Materials," *The Twelfth East Asia-Pasific Conference on Structural Engineering and Construction,* pp. 1157-1164, 2011.

[7] A. J. Hamad, "Materials, Production, Properties and Application of Aerated Lightweight Concrete: Review," *International Journal of Materials Science and Engineering Vol. 2,* pp. 152-157, 2004.

[8] K. Kunchariyakun, S. Asavapisit and K. Sombatsompop, "Properties of Autoclaved Aerated Concrete Incorporating Rice Husk Ash as Partial Replacement For FIne

Aggregate," *Cement & Concrete Composites*, vol. 55, pp. 11-16, 2015.

[9] H. Kus and T. Carlsson, "Microstructural Investigations Of Naturally And Artificially Weathered Autoclaved Aerated Concrete," *Cement and Concrete Research,* vol. 33, pp. 1423-1432, 2003.

[10] T. Mitsuda, K. Sasaki and H. Ishida, "Phase Evolution during Autoclaving Process of Aerated Concrete," *Am. Ceram. Soc.*, vol. 75, pp. 1858-1863, 1992.

[11] N. Meller, K. Kyritsis and C. Hall, "The mineralogy of the CaO–Al2O3–SiO2–H2O (CASH) hydroceramic system from 200 to 350 °C," *Cement and Concrete Research,* vol. 39, pp. 45-53, 2009.

[12] Y. Ungkoom, C. Sittipunt, P. Namprakai, W. Jetipattaranat, K. S. Kim and T. Charinpanitkul, "Analysis of Microstructure and Properties of Autoclaved Aerated Concrete Wall Construction Materials," *Ind. Eng. Chem.*, vol. 13, pp. 1103-1108, 2007.

[13] A. Nurrakhman, Triwulan and J. J. Ekaputri, "Serat dan Foaming Agent Pada Campuran Beton RIngan Berbahan Dasar Lumpur Sidoarjo dan Abu Sekam," *Jurnal Teknik Pomits,* pp. 1-6, 2014.

[14] R. N. Puspitasari, H. A. Budiarti, A. M. Hatta, Sekartedjo and D. D. Risanti, "Enhanced Dye-Sensitized Solar Cells Perormance Throught Novel Core-shell Structure of Gold Nanoparticles and nano-Silica Extracted from Lapindo Mud Vulcano," *Engineering Physics International Conference,* pp. 93-100, 2016.

[15] S. Somi, "Humidity Intrusion Effects on Properties of Autoclaved Aerated Concrete," Eastern Mediterranean University, Gazimaguza, 2011.

[16] N. R. Puspitasari, "Novel Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) using TiO2 - nano SiO2 Extracted from Sidoarjo Mud

Vulcano Photoanode," *The 2nd International Conference on Materials and Metallurgical Technology 2015 (ICOMMET 2015)*, vol. 2015, pp. 2989-2994, 2015.

[17] Halauddin, "Pengukuran Konduktivitas Termal Bata Merah Pejal," *Jurnal Gradien*, vol. 2, pp. 152-155, 2006.

[18] D. P. Dibiantara, M. L. Manfaluthy, J. J. Ekaputri and Triwulan, "Pemanfaatan Lumpur Sidoarjo Untuk Bata Beton Ringan Berserat Dengan Bahan Pengisi Serat Kenaf," *Seminar Nasional X - 2014 Teknik Sipil ITS Surabaya*, pp. 821-828, 2014.

[19] K. Cavanaugh, "Guide to Thermal Properties of Concrete and Masonry Systems," 1980.

[20] "C 642 - 97: Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete," ASTM International, 1997.

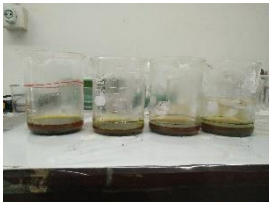
[21] F. Suhedi, "Pengukuran Resisitansi Termal Bahan Bangunan Dengan Metode Aliran Kalor Dalam Lingkungan Terkondisi," *Jurnal Permukiman*, vol. 9, pp. 169-179, 2014.

[22] Zulkifli, D. Y. Pratama, D. Sawitri and A. Musyafa, "Prediction of Effective Thermal Conductivity in Light Brick-Autoclaved Aerated Concrete With the Material Additive Composition Variations Using Artificial Neural Network Approach," *BYAENSI Publication*, vol. II, pp. 85-93, 2017.

[23] "ASTM C 202-93: Standard Method for Thermal Conductivity of Refractory Brick," ASTM, 1993.

Lampiran A
Membuat dan Hasil Ekstraksi Silika Lumpur Lapindo

Gambar A- 1. Lumpur Lapindo Kering



Gambar A- 2. Dicuci dengan HCl

Gambar A- 3. Dicampur NaOH

Gambar A- 4. Setelah disaring

Gambar A- 5. Proses Titrasi

Gambar A- 6. Silika yang mengendap

Peak List Ekstraksi Lumpur Lapindo

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
27.5110	34.97	0.2342	3.24224	8.59
31.8084	407.16	0.1506	2.81333	100.00
45.5616	198.92	0.1004	1.99102	48.85
53.9485	14.59	0.2007	1.69963	3.58
56.5783	43.56	0.3346	1.62672	10.70
66.3196	16.11	0.4015	1.40945	3.96
75.3021	43.55	0.2007	1.26207	10.70
84.0244	35.36	0.1224	1.15092	8.68

Lampiran B
Pembuatan Bata Ringan

Gambar B- 1. Bahan di Pabrik

Gambar B- 2 Autoclave

Gambar B- 3 Cetakan

Gambar B- 4 Bahan Campuran

Gambar B- 5 Dalam Cetakan

Gambar B- 6 Siap Autoclave

Lampiran C
Perhitungan Porositas dan Densitas

A. Porositas

Tanpa Silika Lumpur Lapindo

		Berat Kering (A)(N)	Berat Basah ©(N)	Berat Semu (D)(N)	Porositas (%)
al	0.5	0.187	0.373	0.022	53.01
	1	0.168	0.367	0.007	55.21
	2	0.367	0.695	0.044	50.34
Ca	15	-	-	-	-
	25	0.168	0.367	0.007	55.21
	33	0.116	0.316	0.020	67.60

Dengan Silika Lumpur Lapindo

		Berat Kering (A)(N)	Berat Basah ©(N)	Berat Semu (D)(N)	Porositas (%)
al	0.5	0.188	0.373	0.068	60.604
	1	0.191	0.322	0.006	41.342
	2	0.141	0.330	0.022	61.395
Ca	15	0.145	0.265	0.024	49.813
	25	0.191	0.322	0.006	41.342
	33	0.314	0.603	0.101	57.569

Gambar C- 1. Massa Kering

Gambar C- 2 Massa Basah

Gambar C- 3 Massa Semu

B. Densitas

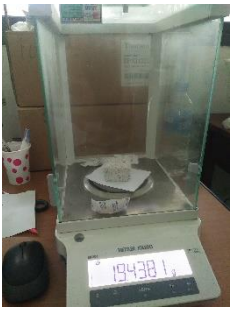
Tanpa Silika Lumpur Lapindo

		Berat (gram)	Volume (cm^3)	Densitas (gr/cm^3)
al	0.5	19.1868	50.232	0.382
	1	17.2478	46.62	0.370
	2	37.7542	76.626	0.493
Ca	15	-	-	-
	25	17.2478	46.62	0.370
	33	12.1622	47.151	0.258

Dengan Silika Lumpur Lapindo

		Berat (gram)	Volume (cm^3)	Densitas (gr/cm^3)
al	0.5	19.4375	40.95	0.475
	1	19.8717	24.528	0.810
	2	15.6553	45.288	0.346
Ca	15	14.9366	35.937	0.416
	25	19.8717	24.528	0.810
	33	33.4693	59.737	0.560

Gambar C- 4 Ukur Volume



Gambar C- 5 Ukur Massa

Gambar C- 6 Sampel

Gambar C- 7 mengamati sampel

Biodata Penulis

Penulis mempunyai nama lengkap **Dan Sulaiman**, lahir di Bogor pada tanggal 14 Januari 1995, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di SD Negeri Polisi 1 Bogor, pendidikan menengah di SMP Negeri 7 Bogor dan melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 3 Bogor yang kemudian dilanjutkan ke ITS Surabaya Departemen Teknik Fisika tahun 2013 dengan NRP 02311340000137. Hingga pada semester ganjil tahun 2017 penulis akhirnya melaksanakan Tugas Akhir sebagai syarat untuk menyelesaikan study S1 di Departemen Teknik Fisika dengan judul "**Analisis Konduktivitas Termal Bata Ringan Berdasarkan Variasi Komposisi Dengan Campuran Ekstraksi Lumpur Lapindo**". Bagi pembaca yang memiliki saran, kritik atau ingin berdiskusi lebih lanjut tentang Tugas Akhir ini, maka bisa menghubungi penulis melalui sulaiman.dan95@gmail.com