

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI CaCO_3 TERAKTIVASI DAN
BATUBARA TERHADAP PEMBENTUKAN *FOAM GLASS CERAMIC*
BERBASIS BASALT *SCORIA* MENGGUNAKAN METODE *SINTERING*
DAN *QUENCHING* PADA SUHU 900 °C DAN 1000 °C**

(Skripsi)

Oleh

**SALWA NABILA SAUSAN
NPM 1817041026**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI KOMPOSISI CaCO_3 TERAKTIVASI DAN BATUBARA TERHADAP PEMBENTUKAN *FOAM GLASS CERAMIC* BERBASIS BASALT *SCORIA* MENGGUNAKAN METODE *SINTERING* DAN *QUENCHING* PADA SUHU 900 °C DAN 1000 °C

Oleh

SALWA NABILA SAUSAN

Penelitian pengaruh variasi komposisi CaCO_3 dan batubara terhadap pembentukan *foam glass ceramic* berbasis basalt *scoria* menggunakan metode *sintering* dan *quenching* pada suhu 900 °C dan 1000 °C. Variasi komposisi yang digunakan sebanyak (95:5), (90:10) dan (85:15). Hasil uji fisis sampel menghasilkan nilai densitas dan porositas terbaik yaitu sebanyak 0,84 g/cm³ dan 20,29%. Hasil ini didukung oleh hasil karakterisasi sampel menggunakan X-RF, X-RD dan SEM. Persentase penyusun SiO_2 sebanyak 34,258%, Fe_2O_3 sebanyak 23,507% dan CaO sebanyak 22,398%, kristal yang terbentuk *quartz*, *olivine* dan *anorthite*, persentase ukuran pori berkisar antara $0 < x \leq 1$ mm sebanyak 91,48%.

Kata Kunci: basalt *scoria*, batubara, CaCO_3 , densitas, *foam glass ceramic*, porositas, *quenching*, *sintering*, SEM, X-RD, X-RF.

ABSTRACT

EFFECT OF VARIATIONS OF ACTIVATED CaCO_3 AND COAL COMPOSITION ON THE FORMATION OF FOAM GLASS CERAMIC BASED ON BASALT SCORIA USING SINTERING AND QUENCHING METHODS AT 900 °C AND 1000 °C

By

SALWA NABILA SAUSAN

Research on the effect of variations in the composition of CaCO_3 and coal on the formation of foam glass ceramics based on basalt scoria using sintering and quenching methods at temperatures of 900 °C and 1000 °C. Variations of the composition used are (95:5), (90:10), and (85:15). The results of the physical test of the sample produced the best density and porosity values, which were 0.84 g/cm³ and 20.29%, respectively. This result is supported by the sample characterization results using X-RF, X-RD, and SEM. The composition percentages of SiO_2 are 34.258%, Fe_2O_3 is 23.507%, and CaO is 22.398%. The crystals formed are quartz, olivine, and anorthite, and the percentage of pore size ranges between $0 < x \leq 1$ mm and as much as 91.48%.

Keywords: basalt scoria, coal, CaCO_3 , density, foam glass ceramic, porosity, quenching, sintering, SEM, X-RD, X-RF.

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI CaCO_3 TERAKTIVASI DAN
BATUBARA TERHADAP PEMBENTUKAN *FOAM GLASS CERAMIC*
BERBASIS BASALT *SCORIA* MENGGUNAKAN METODE *SINTERING*
DAN *QUENCHING* PADA SUHU 900 °C DAN 1000 °C**

Oleh

SALWA NABILA SAUSAN

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi : **PENGARUH VARIASI KOMPOSISI CaCO₃ TERAKTIVASI DAN BATUBARA TERHADAP PEMBENTUKAN FOAM GLASS CERAMIC BERBASIS BASALT SCORIA MENGGUNAKAN METODE SINTERING DAN QUENCHING PADA SUHU 900 °C DAN 1000 °C**

Nama Mahasiswa : **Salwa Nabila Sausan**

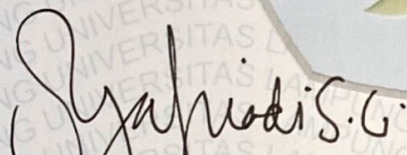
Nomor Pokok Mahasiswa : **1817041026**

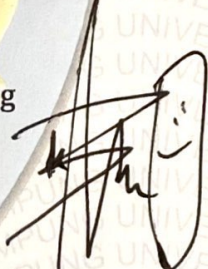
Jurusan : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

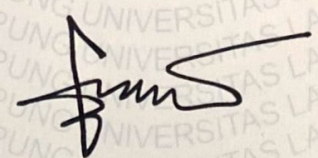


1. Komisi Pembimbing


Drs. Syafriadi, M.Si.
NIP 19610821 199203 1 002


Yusup Hendronursito S.T., M.T.
NIP 19850314 201401 1 001

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

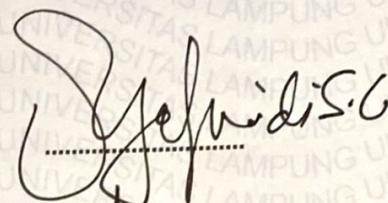

Gurum Ahmad Fauzi, S.Si., M.T.
NIP 19801010 200501 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji


Ketua

: Drs. Syafriadi, M.Si.



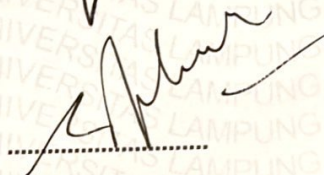
Sekretaris

: Yusup Hendronursito S.T., M.T.



Penguji

Bukan Pembimbing : Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Satripto Dwi Yuwono, M.T.
NIP 19740705 200003 1 001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 01 November 2022

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam skripsi ini tidak terdapat karya orang lain dan tidak terdapat pendapat atau karya yang ditulis oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 01 November 2022

Penulis,



Salwa Nabila Sausan
NPM. 1817041026

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Salwa Nabila Sausan, dilahirkan di Kota Metro, Provinsi Lampung pada tanggal 30 September 2000. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Baroto Seno Adji, S.E. dan Ibu Lely Handayani. Penulis menyelesaikan pendidikan di TK Dewi Sartika Metro pada tahun 2006, SDN 1 Metro Pusat pada tahun 2012, SMPN 3 Metro pada tahun 2015, dan SMAN 4 Metro pada tahun 2018. Penulis diterima di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2018 melalui jalur penerimaan SNMPTN. Selama menempuh pendidikan, penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Pertamina (Persero) Sales Area Lampung-Bengkulu, dengan judul “*Monitoring Database Persediaan Stok Pertamina Secara Digital di PT. Pertamina (Persero) Sales Area Lampung-Bengkulu*”. Penulis juga melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung tahun 2021 di Kecamatan Metro Pusat, Kelurahan Metro, Metro. Dalam bidang organisasi penulis sebagai Anggota Kaderisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) FMIPA Universitas Lampung periode 2018-2020.

MOTTO

Boleh jadi kamu tidak menyenangi sesuatu, padahal itu baik bagimu, dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu, padahal itu tidak baik bagimu. Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui

-QS: Al-Baqarah : 216-

Kamu tidak akan pernah tahu apa hasil dari tindakanmu, tetapi jika tidak melakukan apa pun, tentu tidak akan ada hasilnya

-Mahatma Gandhi-

Saat yang aku inginkan tidak sesuai dengan harapan, harapan itu akan ada bersama harapan baru.

-Salwa Nabila Sausan-

PERSEMBAHAN

**Dengan Penuh Rasa Syukur Kepada Allah Subhanahu Wa
Ta'ala, karya ini dipersembahkan kepada:**

Kedua Orangtua ku

*Ayahanda
Baroto Seno Adji, S.E.*

dan

*Ibunda
Lely Handayani*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan kepada Allah SWT, yang telah memberikan kesehatan dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Komposisi CaCO_3 Teraktivasi dan Batubara Terhadap Pembentukan *Foam Glass Ceramic* Berbasis Basalt *Scoria* Menggunakan Metode *Sintering* dan *Quenching* pada Suhu $900\text{ }^\circ\text{C}$ dan $1000\text{ }^\circ\text{C}$ ”** yang merupakan syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains (S.Si) pada bidang Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyajian skripsi ini masih terdapat kekurangan secara isi maupun cara penyajian. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran guna perbaikan di masa mendatang. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca umumnya. Aamiin ya Rabbal Alamin.

Bandar Lampung, 01 November 2022

Salwa Nabila Sausan

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberi hikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Komposisi CaCO₃ Teraktivasi Dan Batubara Terhadap Pembentukan *Foam Glass Ceramic* Berbasis Basalt *Scoria* Menggunakan Metode *Sintering* dan *Quenching* Pada Suhu 900 °C dan 1000 °C”**. Pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang turut membantu. Penulisan skripsi ini tidak dapat terwujud tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak, baik berupa tenaga maupun pemikiran. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis haturkan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si. sebagai pembimbing akademik dan pembimbing utama yang telah memberi arahan, masukan, mengajari, membimbing, dan memberi pemahaman terhadap penulis;
2. Bapak David Candra Birawidha S.T., M.Si. sebagai pembimbing kedua yang telah membantu, membimbing, memberi pemahaman dan dukungan terhadap penulis;
3. Bapak Yusup Hendronursito S.T., M.T. sebagai pembimbing kedua yang telah membantu, membimbing, dan memberi dukungan terhadap penulis;

4. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si. sebagai dosen penguji yang telah mengoreksi kekurangan, memberikan saran dan masukan dalam penyelesaian skripsi ini;
5. Bapak Gurum Ahmad Fauzi, S.Si., M.T. sebagai Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung;
6. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si. sebagai Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung;
7. Kepala Pusat Riset Teknologi Pertambangan – BRIN – Lampung Selatan yang telah memfasilitasi penulis selama proses penelitian berlangsung;
8. Ibu Ulin, Bapak Untung, Bapak Solimin, Kakak Yuli, Kakak Aul yang telah membantu penulis selama penelitian di BRIN – Lampung Selatan;
9. Bapak Badriyadi, Bapak Edi dan Tete Amna yang telah membantu penulis selama proses administrasi dan keberlangsungan seminar serta sidang skripsi;
10. Al Ghifary Gymnastiar Muhammad, Clarissa August Taviko, Syendy Nabila, Yola Dinda Ayu Pratama, Novia Rahmadiana Putri, Yugo Chambioso dan M Irfan Pratama yang telah menjadi rekan diskusi selama proses pengerjaan skripsi ini.

Bandar Lampung, 01 November 2022

Salwa Nabila Sausan

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
MENGESAHKAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6

2.1	Basalt <i>Scoria</i>	6
2.2	Mineral Basalt	8
2.3	CaCO ₃	9
2.4	Batubara	11
2.5	<i>Boric Acid</i>	13
2.6	Larutan <i>Hydrofluoric Acid</i>	14
2.7	Material Ringan	15
2.8	<i>Foam Structure</i>	17
2.9	<i>Foam Glass</i>	19
2.10	<i>Foam Glass Ceramic</i>	20
2.11	Metode <i>Sintering</i>	21
2.12	Metode <i>Quenching</i>	22
2.13	Uji Fisis beserta Alat Uji	23
	2.13.1 Analisis Proksimat	23
	2.13.2 Densitas	25
	2.13.3 Porositas	27
2.14	Karakterisasi	28
	2.14.1 Sinar-X	28
	2.14.2 <i>X-ray Diffraction (XRD)</i>	31
	2.14.3 <i>X-ray Fluorescence (XRF)</i>	33
	2.14.4 <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	34
III.	METODE PENELITIAN	36
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	36
3.2	Alat dan Bahan	36
	3.2.1 Alat	36
	3.2.2 Bahan	37
3.3	Variasi Komposisi Sampel	37
3.4	Prosedur Penelitian	37
	3.4.1 Preparasi Sampel	38
	3.4.2 Pembuatan Sampel <i>Foam Glass Ceramic</i> Basalt <i>Scoria</i> dan CaCO ₃ Teraktivasi	38
	3.4.3 Pembuatan Sampel <i>Foam Glass Ceramic</i> Basalt <i>Scoria</i> dan Batubara	39
	3.4.4 Pengujian Fisis <i>Foam Glass Ceramic</i>	40
	3.4.5 Karakterisasi <i>FoamGlass Ceramic</i>	41
3.5	Diagram Alir	42
	3.5.1 Diagram Alir Preparasi Sampel	42
	3.5.2 Diagram Alir Pembuatan Sampel <i>Foam Glass Ceramic</i> Basalt <i>Scoria</i> dan CaCO ₃ Teraktivasi	43
	3.5.3 Diagram Alir Pembuatan Sampel <i>Foam Glass Ceramic</i> Basalt <i>Scoria</i> dan Batubara	44
	3.5.4 Diagram Alir Pengujian Fisis <i>Foam Glass Ceramic</i>	45
	3.5.5 Diagram Alir Karakterisasi <i>Foam Glass Ceramic</i>	46
	3.5.6 Diagram Alir Penelitian <i>Foam Glass Ceramic</i>	47

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1 Pengaruh Variasi Komposisi CaCO ₃ Teraktivasi dan Batubara Berbasis Basalt <i>Scoria</i> pada Suhu 900 °C dan 1000 °C Terhadap Sifat Fisis (Densitas dan Porositas) <i>Foam Glass Ceramic</i>	48
4.1.1 Hasil Pengujian Densitas <i>Foam Glass Ceramic</i>	48
4.1.2 Hasil Pengujian Porositas <i>Foam Glass Ceramic</i>	52
4.2 Pengaruh Variasi Komposisi CaCO ₃ Teraktivasi dan Batubara Berbasis Basalt <i>Scoria</i> Terhadap Struktur Mikro <i>Foam Glass</i> <i>Ceramic</i>	55
4.2.1 Hasil Karakterisasi Bahan <i>Foam Glass Ceramic</i> menggunakan <i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i>	55
4.2.2 Hasil Karakterisasi Sampel <i>Foam Glass Ceramic</i> menggunakan <i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i>	57
4.2.3 Hasil Karakterisasi Sampel <i>Foam Glass Ceramic</i> menggunakan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	59
4.2.4 Hasil Karakterisasi Sampel <i>Foam Glass Ceramic</i> menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	62
V. KESIMPULAN DAN SARAN	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	66

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Variasi Komposisi Basalt <i>Scoria</i> dengan CaCO ₃ Teraktivasi	37
3.2 Variasi Komposisi Basalt <i>Scoria</i> dengan Batubara	37
4.1 Hasil Karakterisasi Bahan Basalt <i>Scoria</i> dan CaCO ₃ Teraktivasi Menggunakan XRF	56
4.2 Hasil Karakterisasi Sampel <i>Foam Glass Ceramic</i> pada Suhu 900 °C Menggunakan XRF	57
4.3 Hasil Karakterisasi Sampel <i>Foam Glass Ceramic</i> pada Suhu 1000 °C Menggunakan XRF	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Batu basalt	7
2.2 Serbuk CaCO ₃	10
2.3 Batubara	11
2.4 <i>Boric acid</i>	14
2.5 Perlit: (a) batu dan (b) pecahan perlit	16
2.6 <i>Foam structure</i>	18
2.7 <i>Foam glass</i>	20
2.8 Alat: (a) oven dan (b) <i>furnace</i>	23
2.9 Alat uji densitas	25
2.10 Porositas pada batuan: (a) porositas primer dan (b) porositas sekunder	27
2.11 Alat uji porositas	28
2.12 Spektrum sinar-x sebagai fungsi dari tegangan yang diberikan	30
2.13 Kerja alat <i>X-ray diffraction</i>	31
2.14 Difraksi sinar-X oleh sebuah kristal	32
2.15 Kerja alat <i>X-ray fluorescence</i>	33
2.16 Pembentukan sinar-X karakteristik	33
2.17 Kerja alat SEM	35
3.1 Diagram alir preparasi sampel	42
3.2 Diagram alir pembuatan sampel <i>foam glass ceramic</i> basalt <i>scoria</i> dan CaCO ₃ teraktivasi	43
3.3 Diagram alir pembuatan sampel <i>foam glass ceramic</i> basalt <i>scoria</i> dan batubara	44
3.4 Diagram alir pengujian fisis <i>foam glass ceramic</i>	45
3.5 Diagram alir karakterisasi <i>foam glass ceramic</i>	46
3.6 Diagram alir pengaruh variasi komposisi CaCO ₃ teraktivasi dan	

batubara terhadap pembentukan <i>foam glass ceramic</i> berbasis basalt <i>scoria</i> menggunakan metode <i>sintering</i> dan <i>quenching</i> pada suhu 900 °C dan 1000 °C	47
4.1 Pengaruh komposisi CaCO ₃ teraktivasi pada basalt <i>scoria</i> dan suhu <i>sintering</i> terhadap densitas <i>foam glass ceramic</i>	48
4.2 Pengaruh komposisi basalt <i>scoria</i> pada CaCO ₃ teraktivasi dan suhu <i>sintering</i> terhadap densitas <i>foam glass ceramic</i>	49
4.3 Pengaruh komposisi batubara pada basalt <i>scoria</i> dan suhu <i>sintering</i> terhadap densitas <i>foam glass ceramic</i>	50
4.4 Pengaruh komposisi basalt <i>scoria</i> pada batubara dan suhu <i>sintering</i> terhadap densitas <i>foam glass ceramic</i>	51
4.5 Pengaruh komposisi CaCO ₃ teraktivasi pada basalt <i>scoria</i> dan suhu <i>sintering</i> terhadap porositas <i>foam glass ceramic</i>	52
4.6 Pengaruh komposisi basalt <i>scoria</i> pada CaCO ₃ teraktivasi dan suhu <i>sintering</i> terhadap porositas <i>foam glass ceramic</i>	53
4.7 Pengaruh komposisi batubara pada basalt <i>scoria</i> dan suhu <i>sintering</i> terhadap porositas <i>foam glass ceramic</i>	54
4.8 Pengaruh komposisi basalt <i>scoria</i> pada batubara dan suhu <i>sintering</i> terhadap porositas <i>foam glass ceramic</i>	55
4.9 Difraktogram <i>foam glass ceramic</i> komposisi basalt <i>scoria</i> dan CaCO ₃ teraktivasi: (a) suhu 900 °C dan (b) suhu 1000 °C	59
4.10 Difraktogram <i>foam glass ceramic</i> komposisi basalt <i>scoria</i> dan batubara: (a) suhu 900 °C dan (b) suhu 1000 °C	61
4.11 Morfologi sampel perbesaran 100x secara SE (suhu 900 °C): (a) kode 900 A, (b) kode 900 B dan (c) kode 900 C	62
4.12 Morfologi sampel perbesaran 100x secara SE (suhu 900 °C): (a) kode 900 D, (b) kode 900 E dan (c) kode 900 F	63
4.13 Morfologi sampel perbesaran 100x secara SE (suhu 1000 °C): (a) kode 900 A, (b) kode 900 B dan (c) kode 900 C	64
4.14 Morfologi sampel perbesaran 100x secara SE (suhu 1000 °C): (a) kode 900 A, (b) kode 900 B dan (c) kode 900 C	65

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran

1. Alat dan Bahan
2. Data Perhitungan
3. Hasil Perhitungan
4. Hasil Analisa SEM
5. Hasil Analisa Image J

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi modern telah menghadirkan beberapa inovasi dalam material baru yang lebih berkualitas dengan berbagai keunggulan (Holand dan George, 2012). Salah satunya adalah *foam glass ceramic* yang didefinisikan sebagai bahan berpori yang terbentuk dengan mengkombinasikan zat karbon dengan kaca. *Foam glass ceramic* memiliki keunggulan yaitu ringan dengan kekuatan tekan yang baik (Hisham dkk., 2021).

Foam glass ceramic terbentuk oleh pembusaan karena adanya pelepasan senyawa CO, CO₂ atau gas SO₃ yang diperoleh dari dekomposisi atau oksidasi zat aditif. Reaksi dekomposisi terjadi karena terdapat karbonat atau sulfat, sedangkan reaksi oksidasi terjadi karena terdapat korelasi antara karbon dengan oksigen. *Foam glass ceramic* dapat terbentuk dengan penambahan CaCO₃ dengan basalt *scoria* melalui proses *sintering* pada suhu 1050 °C dan 1100 °C (Marangoni dkk., 2014).

Foam glass ceramic berbasis basalt yang mengandung unsur-unsur silika yang apabila mengalami proses *sintering* akan terjadi pelelehan dan memperkecil pori-pori akibat adanya unsur belerang dan gas oksigen sehingga terjadi perubahan struktur mikro seperti jarum-jarum kecil berbentuk *foam* (Amin dan Suharto, 2017

Basalt yang mengalami proses *sintering* dengan metode pendinginan berupa pendinginan lambat (*annealing*) dan cepat (*quenching*) menunjukkan hasil dengan perbedaan yang signifikan. Hasilnya menunjukkan bahwa metode *annealing* dapat membuat karakteristik basalt menjadi lebih keras dibandingkan basalt aslinya, sedangkan metode *quenching* dapat membuat karakteristik basalt menjadi berupa *glass* (Birawidha dkk., 2019).

Beberapa penelitian terkait *foam glass ceramic* yang sedang dikembangkan, diantaranya yaitu melakukan penelitian mengenai preparasi *ceramic foams* berbasis nepheline dari basalt tailing dan *black cotton soil* menggunakan metode pembusaan langsung dengan penambahan NaOH sebanyak 15% wt sebagai *fluxing* dan CaCO₃ sebanyak 0%-0,7% wt sebagai *foaming agent*. Hasilnya menunjukkan bahwa kandungan basalt tailing rendah, penambahan NaOH yang dilarutkan dalam gelas air (Na₂SiO₃) dengan jumlah CaCO₃ yang tepat pada suhu sintering sebanyak 950 °C memperoleh tingkat pori-pori yang dibalur sebagian dengan dinding garis kristal (Sun dkk., 2020).

Peneliti lainnya melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan *blowing agent* CaCO₃ terhadap porositas aluminium *foam* dengan metode *melt route process* dan menghasilkan bahwa semakin besar presentase fraksi massa CaCO₃ yang ditambahkan pada penambahan 0%, 3%, 5%, 8% dan 10% diperoleh meningkatnya porositas sebanyak 4,07%; 31,48%; 36,66%; 38,88% dan 52,22% dan menurunnya densitas sebanyak 2,59 g/cm³; 1,85 g/cm³; 1,71 g/cm³; 1,65 g/cm³ dan 1,26 g/cm³. Hasilnya menunjukkan bahwa peningkatan jumlah pori pada struktur aluminium *foam* seiring dengan meningkatnya presentasi fraksi massa

CaCO₃ yang digunakan (Nugroho dkk., 2016).

Peneliti lainnya juga melakukan penelitian mengenai pengaruh jenis dan rasio agen pembusa pada kemampuan berbusa dan reaksioner kaca terak berbusa. Dalam penelitian ini menggunakan bahan *foaming* yaitu CaCO₃, grafit, batubara dan gliserol. Hasilnya menunjukkan bahwa pada sampel limbah terak dengan campuran batubara terjadi pembentukan pori yang lebih baik sebanyak 700-800 kg/m³ dibandingkan grafit sebanyak 1200-1300 kg/m³ sehingga menurunkan sifat insulasi dan meningkatkan kepadatan sampel (Yatsenko dkk., 2015).

Berdasarkan penelitian-penelitian diatas, maka dilakukan inovasi dengan variasi komposisi CaCO₃ teraktivasi dan batubara berbasis basalt *scoria*. Metode yang digunakan yaitu metode *sintering* dan *quenching* pada suhu 900 °C dan 1000 °C. Pengujian yang dilakukan yaitu uji fisis (densitas dan porositas). Karakterisasi yang digunakan yaitu *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *X-ray Diffraction* (XRD) dan *X-ray Fluorescence* (XRF).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi CaCO₃ teraktivasi dan batubara berbasis basalt *scoria* pada suhu 900 °C dan 1000 °C terhadap sifat fisis (densitas dan porositas) *foam glass ceramic* ?
2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi CaCO₃ teraktivasi dan batubara berbasis basalt *scoria* terhadap struktur mikro *foam glass ceramic* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi komposisi CaCO_3 teraktivasi dan batubara berbasis basalt *scoria* pada suhu $900\text{ }^\circ\text{C}$ dan $1000\text{ }^\circ\text{C}$ terhadap sifat fisis (densitas dan porositas) *foam glass ceramic*.
2. Mengetahui pengaruh variasi komposisi CaCO_3 teraktivasi dan batubara berbasis basalt *scoria* terhadap struktur mikro *foam glass ceramic*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Batu basalt *scoria* dari Kecamatan Jabung, Lampung Timur.
2. CaCO_3 yang digunakan adalah CaCO_3 teraktivasi dari PT. Dwi Selo Giri Mas, Sidoarjo.
3. Batubara dari Kecamatan Selagai Lingga, Lampung Tengah.
4. *Boric acid analysis* dari Darmstadt, Germany.
5. Larutan *etching* yang digunakan adalah *hydrofluoric acid* 5% dari PT. Smart Lab Indonesia, Tangerang.
6. CaCO_3 , batubara dan basalt *scoria* lolos ayakan ukuran 100 mesh.
7. Variasi komposisi basalt yang digunakan adalah 95%, 90% dan 85%.
8. Variasi komposisi CaCO_3 dan batubara yang digunakan adalah 15%, 10% dan 5%.
9. Suhu *sintering* yang digunakan adalah $900\text{ }^\circ\text{C}$ dan $1000\text{ }^\circ\text{C}$.
10. Analisis bahan batubara menggunakan referensi SNI 13-3479-1994.
11. Uji fisis (densitas) sampel menggunakan metode Archimedes dan uji fisis (porositas) sampel menggunakan referensi SNI 03-6433-2000 atau ASTM C 642-97.

12. Sampel dikarakterisasi menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD), *X-ray Flourescence* (XRF) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai bahan acuan dalam studi pengaruh variasi komposisi CaCO_3 teraktivasi dan batubara terhadap pembentukan *foam glass ceramic* berbasis basalt *Scoria* sebagai material ringan.
2. Sebagai tambahan referensi di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Basalt *Scoria*

Batuan beku juga disebut dengan *igneous rocks* merupakan batuan yang terdiri dari satu atau lebih mineral dan terbentuk karena pembekuan dari magma. Batuan beku dapat dibedakan berdasarkan teksturnya menjadi batuan beku plutonik dan vulkanik. Keduanya berbeda yang dapat dilihat dari segi mineral batuan penyusunnya. Batuan beku plutonik biasanya terbentuk akibat pembekuan magma yang lebih lambat maka mineral penyusunnya besar. Jika batuan beku vulkanik biasanya terbentuk akibat pembekuan magma yang sangat cepat maka mineral penyusunnya lebih kecil seperti basalt. Terdapat tiga komposisi mineral pada batuan beku ini yaitu *essential minerals*, *accessory minerals* dan *secondary minerals* (Lolong dan Wibowo, 2016).

Pertama, *essential minerals* merupakan mineral yang terbentuk langsung dari pembekuan magma dengan jumlah yang banyak. Kedua, *accessory minerals* merupakan mineral yang terbentuk sewaktu pembentukan magma dengan jumlah yang sangat sedikit. Ketiga, *secondary minerals* merupakan mineral sekunder yang tidak terbentuk dari pembekuan magma. Batuan beku juga dapat dibedakan berdasarkan tempat pembekuannya menjadi dua yaitu batuan beku ekstrusif dan intrusif sehingga mengakibatkan perbedaan dalam tekstur dari masing-masing batuan tersebut (Lolong dan Wibowo, 2016). Tekstur batuan beku dapat

mengilustrasikan proses dari pembekuan magma berdasarkan tempat pembekuannya dan pencerminan dari mineralogi dari batuan tersebut (Tantowi dkk., 2018). Sebagian tekstur batuan beku berdasarkan analisis petrografi yakni tekstur *zoning*, poikilitik, *sieve* dan *clots* (Pranata dkk., 2018). Batu basalt adalah jenis batuan beku yang dibentuk dari pembentukan magma yang terjadi dipermukaan bumi dan bersifat basa. Agar mengetahui komposisi kimia batuan, unsur, jenis batuan basaltnya ataupun fasa pembentuknya dapat dilakukan dengan mengkarakterisasi batuan basalt yang dapat mengetahui proses analisa karakteristik menggunakan alat XRD maupun XRF. Batu basalt memiliki presentase mineral *felspar* dalam bentuk plagioklas sebanyak 65 %, kandungan kuarsa tidak lebih dari 20 % dan kadar *feldspatiod* kurang dari 10 % (Rumiyanti dkk., 2019).

Basalt terdiri dari mineral gelas vulkanik, piroksin, amfibol, plagioklas dan mineral hitam. Batuan ini bersifat keras dan masif serta bertekstur afanitik. Disamping itu, ukuran butir batuan basalt yang sangat halus dapat membuat mineral-mineral menjadi tidak terlihat (Tarmizi dkk., 2018). Bentuk batuan basalt ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Basalt *Scoria*

Salah satu basalt yang memiliki potensi sumber daya mineral adalah basalt Scoria

terutama di provinsi Lampung yang memiliki bentuk berpori. Batuan ini mineralnya berbutir halus dan berwarna abu-abu atau hitam (Rajiman dan Listari, 2019). Batuan ini mempunyai ukuran cukup besar sehingga butuh proses penggalian secara mekanis dan proses pemecahan dengan alat *stone crusher* yang berfungsi untuk mencapai ukuran yang sesuai (Faisal, 2014). Batu *Scoria* merupakan batuan yang dihasilkan akibat kegiatan vulkanik gunung berapi dan dapat ditemukan di aliran-aliran lahar. *Scoria* merupakan jenis batuan tekstur. Keberadaannya yang berlimpah membuat batu basalt *Scoria* merupakan salah satu batuan yang sering digunakan sebagai bahan agregat ringan (Suseno, 2013). Batu basalt *Scoria* terbentuk saat lava mencapai permukaan bumi sehingga suhu lava sekitar antara 1100 hingga 1250°C. Pada saat lava tersebut ke permukaan bumi maka lava akan mendingin dengan cepat hanya beberapa hari atau minggu sehingga membentuk batuan padat dan untuk menjadi padat memerlukan waktu bertahun-tahun (Widjoko dkk., 2011). Batuan ini sebagian besar terdapat struktur rongga-rongga yang tidak beraturan. Struktur tersebut diakibatkan oleh lava yang mengandung gas-gas saat lava membeku (Lolong dan Wibowo, 2016). Sebagian besar rongga pada komponen *scoria* terdiri dari klorit, zeolit dan kalsit (Hartini dkk., 2020).

2.2 Mineral Basalt

Dua mineral penting dalam basalt yaitu plagioklas dan pyroxene, 80% basalt dibentuk dengan mineral tersebut. Mineral plagioklas memiliki anggota yang terdiri dari anorthite, bytownite, labradorit, andesin, oligoklas dan albit. Mineral pyroxene memiliki anggota yang terdiri dari deret augit yang umumnya lebih cenderung mengandung magnesian dibandingkan besi. Mineral pyroxene dengan kandungan Ca yang sedikit, menandakan basalt tholeiitic sehingga dapat digantikan oleh

mineral olivin. Mineral kuarsa (SiO_2) juga merupakan salah satu mineral yang terdapat pada batuan beku, sedimen dan malihan dengan kandungan SiO_2 yang tinggi (Morse, 1931).

2.2.1 Quartz (SiO_2)

Quartz merupakan mineral yang umum ditemui pada kerak bumi. Mineral ini tersusun dari silika dioksida, berwarna putih.

2.2.2 Olivine ($\text{Mg,Fe}_2\text{SiO}_4$)

olivine merupakan kelompok mineral silikat yang tersusun dari unsur besi (Fe) dan magnesium (Mg). Mineral ini terbentuk pada suhu yang tinggi. Mineral ini biasanya ditemui pada batuan basalt dan ultramafic.

2.2.3 Anorthite ($\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$)

Anorthite merupakan kelompok pertama yang terbentuk pada suhu tinggi dan berada pada batuan beku basa.

2.2.4 Pyroxene ($\text{XY}(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$)

Pyroxene merupakan kelompok mineral inosilikat yang dapat ditemui pada batuan beku dan batuan (Morse, 1931).

2.3 CaCO_3

CaCO_3 atau kalsium karbonat merupakan mineral anorganik yang diketahui memiliki harga yang murah secara komersial karena ketersediannya (Noviyanti dan Eko, 2015). CaCO_3 terdiri dari komposisi 56% CaO dan 44% CO_2 dengan berat molekul sebanyak 100,09 g/mol. CaCO_3 memiliki tingkat kelarutan yang rendah sebanyak 0,0012 pada suhu 20 °C. CaCO_3 yaitu berupa serbuk berwarna putih, tidak berbau dan stabil apabila dilarutkan dalam air (Hariyanto dkk., 2020). CaCO_3 memiliki titik lebur sebesar 820 °C. Fasa pada mineral CaCO_3 yakni aragonit, kalsit

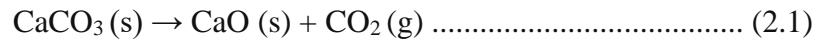
dan vaterit. Aragonit dan vaterit adalah fasa metastabil yang bisa beralih ke fasa stabil (kalsit), kalsit itu sendiri merupakan fasa yang stabil pada suhu ruang. Dalam CaCO_3 terdapat dua jenis kristal yaitu aragonit dan kalsit. Aragonit mempunyai struktur kristal orthorombik, sedangkan kalsit mempunyai struktur kristal heksagonal (Delvita dkk., 2015).

Pada beberapa batuan ada yang mengandung senyawa karbonat seperti batu kapur, batu kapur magnesia dan batu kapur kerang. Molekul pada batu kapur itu sendiri mengandung oksigen dan atom-atom kalsium karbonat. Apabila batu kapur ini dipanaskan maka akan berubah menjadi serbuk yang lunak sehingga disebut kalsium oksida karena tiap molekul kalsium karbonat yang semula menjadi pecah terbagi dua molekul kecil. Molekul yang dimaksud disini adalah atom kalsium (Ca) yang bercampur dengan satu atom oksigen (O) dan menghasilkan CaO. Selain itu, terdapat molekul lainnya yaitu atom karbon yang bercampur dengan dua atom oksigen sehingga menghasilkan gas karbon dioksida yang terlepas ke udara. Kalsium itu sendiri adalah unsur logam alkali tanah yang reaktif, mudah dibentuk dan berwarna putih perak. Di alam, kalsium didapati dalam wujud senyawa-senyawa seperti kalsium karbonat (CaCO_3). Serbuk CaCO_3 ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Serbuk CaCO_3 (Rusdi dkk., 2013).

Kalsium akan bereaksi lambat dengan oksigen diudara pada suhu ruang namun terbakar jika dalam proses pemanasan (Rusdi dkk., 2013). Melalui proses pemanasan tersebut, CaCO_3 dapat berubah menjadi CaO dengan pelepasan senyawa karbon dengan persamaan reaksi (2.1):



$$\Delta G^\circ = +130,522 \text{ kJ/mol}$$

(Sunarya, 2013).

2.4 Batubara

Batubara adalah mineral bahan bakar yang bermula dari sisa tumbuhan yang sudah terkubur di dalam tanah dengan jangka waktu yang lama bahkan mencapai hingga ratusan tahun. Hal ini tentu membuat batubara sudah mengalami proses fisika dan kimia akibat perubahan suhu, waktu, tekanan dan adanya bakteri pembusuk (Fachry dkk., 2010). Batubara juga merupakan batuan sedimen yang terbuat dari endapan organik dan dapat terbakar. Bentuk batubara ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Batubara

Batubara memiliki unsur utama yaitu karbon, hidrogen dan oksigen. Selain itu, batubara memiliki nilai jual yang tinggi karena merupakan salah satu sumber energi

yang banyak diinginkan oleh investor dalam negeri maupun investor asing. Namun, untuk memastikan apakah batubara tersebut memiliki nilai jual yang tinggi, maka perlu diketahui dari hasil klasifikasi jenis batubara tersebut (Haryati dkk., 2016). Biasanya, dalam mengetahui kualitas dan karakteristik batubara yang akan digunakan adalah dengan analisis proksimat dan analisis ultimat. Dilakukannya analisis proksimat bertujuan untuk menentukan jumlah air (*moisture*), zat terbang (*volatile matter*), kadar abu (*ash*) dan karbon padat (*fixed karbon*). Sedangkan dilakukannya analisis ultimat bertujuan untuk menentukan jumlah unsur yang terdapat pada batubara tersebut seperti unsur Karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N) dan Sulfur (*Sulphur* atau S). Disamping itu, batubara dapat diklasifikasikan berdasarkan pemanfaatannya. Klasifikasi batubara berdasarkan kalori terdiri dari *Lignite*, *Sub-bituminous*, *Bituminous* dan *Anthracite* (Wahyudi dkk., 2019).

Batubara memiliki kadar air total yang disebabkan karena adanya kadar air bawaan (*inherent moisture*) dan kadar air permukaan (*surface moisture*) karena proses penambangan dan pencucian batubara. Jika pada saat batubara dilakukan proses pencairan mengalami kegagalan berarti batubara tersebut memiliki kadar air yang tinggi dan dapat diatasi dengan proses pengeringan pada suhu 100-110 °C selama 60 menit (Talla dan Taba, 2017).

Secara spesifik, pengolahan pada batubara dilakukan dengan melewati berbagai tahap yaitu preparasi, merupakan aktivitas persiapan yang dikerjakan guna mereduksi ukuran butir dengan maksud memenuhi ukuran yang sesuai terhadap penggunaannya. Konsentrasi merupakan aktivitas pemisahan antara batubara

dengan pengotornya, dan *dewatering* merupakan aktivitas pemisahan antara cairan dengan padatan yang dilakukan setelah melakukan tahap konsentrasi. Sifat yang dimiliki batubara memiliki dampak terhadap salah satunya sistem pembakaran. Sifat-sifat yang dimaksud yaitu:

1. Nilai Kalor, sifat ini menunjukkan energi yang dihasilkan dari pembakaran batubara dan menentukan bobot batubara itu sendiri.
2. Abu Batubara, abu merupakan endapan yang tersisa setelah proses pembakaran secara sempurna dengan komposisi terdiri atas Al_2O_3 berkisar 15-21%, SiO_2 berkisar 25-40%, FeO_3 berkisar 20-45% dan CaO berkisar 1-5%.
3. *Volatile Matter*, saat terjadi proses pembakaran batubara *pulverized*, langkah awal sifat ini akan bereaksi dengan udara.
4. Kadar air, sifat ini berpengaruh terhadap kapasitas sistem pengeringan bukan hanya berpengaruh terhadap *grindability*.
5. *Hardgrove Grindability Index* (HGI), sifat ini menunjukkan kinerja penggurusan yang baik.
6. Kadar Sulfur dan logam-logam alkali, sulfur bereaksi dengan logam-logam alkali dan oksigen dalam zona pembakaran yang pembakaran yang memperoleh alkali-sulfat dalam fasa fas (Nursanto dkk., 2015).

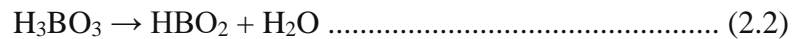
2.5 Boric Acid

Boric acid adalah senyawa kimia yang memiliki tampilan serbuk berwarna putih yang dapat larut di dalam air dan berbentuk padatan kristal yang tidak berwarna. Secara fisik *boric acid* ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. *Boric Acid* (Dwynda dan Zainul, 2018).

Boric acid dapat larut dalam air yang mendidih. Pada saat senyawa ini di *sintering* pada suhu diatas 170 °C maka senyawa ini akan terdehidrasi dan membentuk HBO₂ (asam metaborat). *Boric acid* memiliki rumus kimia yaitu H₃(BO₃) yang terdiri dari atom penyusun H, B dan O. *Boric acid* akan terhidrasi seperti ditunjukkan pada persamaan reaksi (2.2):



$$\Delta G^\circ = -122,462 \text{ kJ/Kmol}$$

(Dwynda dan Zainul, 2018).

2.6 Larutan *Hydrofluoric Acid*

Hydrofluoric Acid dibuat melalui reaksi kalsium fluorida (CaF₂) dan reaksi asam sulfat dalam tungku pada suhu 200 °C yang kemudian didinginkan dan disimpan sebagai cairan tidak berwarna. *Hydrofluoric Acid* mudah menguap saat dikondensasi dan dimurnikan dengan distilasi. *Hydrofluoric Acid* bisa diperoleh dengan proses peleburan alumunium, pupuk fosfat dan produksi keramik. Pada saat garam fluorida diasamkan dengan larutan asam maka akan terbentuk larutan *hydrofluoric acid*. Larutan ini termasuk asam lemah sehingga hidrogen fluorida dalam air tidak dapat seutuhnya terionisasi. Awal mula *hydrofluoric acid* yaitu

larutan berair. *Hydrofluoric acid* digunakan untuk produk dengan konsentrasi yang lebih rendah. Akan tetapi, pengaplikasian utama *hydrofluoric acid* yaitu sebagai *etching* dan pemolesan kaca keramik, menghilangkan pasir dari coran logam dan sebagai metode pembersihan lantai serta dinding (Ozcan dkk., 2012).

Dalam pengaplikasiannya *hydrofluoric acid* digunakan sebagai *etching*. Proses *etching* merupakan metode yang penting dalam pembentukan pori-pori untuk meningkatkan daya lekat lapisan dan memperoleh permukaan yang bersifat tidak konduktif menjadi konduktif yang disebut sebagai tahapan metalisasi. Reaksi kesetimbangan pembentukan *hydrofluoric acid* ditunjukkan pada persamaan reaksi (2.3):



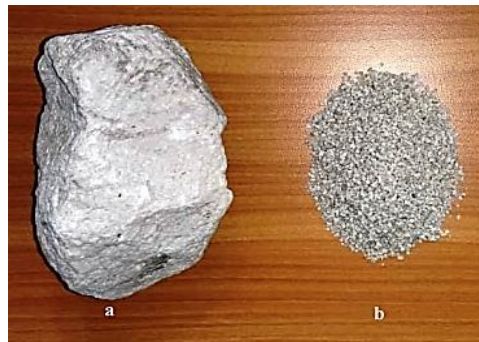
$$\Delta G^\circ = -271,6 \text{ kJ/mol}$$

(Rahman dkk., 2020).

2.7 Material Ringan

Penggunaan material ringan akan mempengaruhi suatu hasil untuk mendapatkan material yang berkualitas (Karimah, 2017). Material yang dipilih termasuk mineral non logam yang merupakan bahan yang mudah ditemukan, tidak memerlukan biaya yang besar, menggunakan teknologi sederhana dan efisiensi waktu yang lebih singkat dan mineral logam seperti batubara (Rieshapsari, 2020). Contoh dari mineral non logam yaitu perlit (*perlite*) dapat digunakan karena sifat fisiknya yang ringan, tahan api dan bersifat insulator. Secara umum perlit memiliki sifat yang sama bila diperoleh dari sumber yang sama namun karakteristiknya tidak sama untuk setiap wilayah. Ketidaksamaan ini dilihat dari jumlah kandungan air terikatnya. Perlit mengandung sekitar 70 % SiO₂ dan warna perlit bermacam-

macam dari hitam hingga putih (Ismayanto, 2017). Perlit ini bersifat asam dan memiliki kandungan air yang banyak karena saat batuan perlit membeku berada di lingkungan yang basah sehingga berkilap seperti mutiara (Nusa, 2016). Secara fisik perlit ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Perlit: (a) batu dan (b) pecahan perlit (Darmawan dkk., 2021).

Mempermudah dalam pemilihan material yang ringan penting untuk memastikan ketersediaan yang berlimpah dan dari segi harga yang terjangkau agar mudah ditemukan. Hal ini terdapat pada grafit. Grafit merupakan bentuk alotrop dari bahan dasar karbon yang berbentuk seperti sarang lebah dengan panjang ikatan karbonnya sebesar $1,42 \text{ \AA}$. Elektron dalam grafit memiliki keunggulan layaknya sifat mekanis logam, ringan, dan sifat yang baik. Pada temperatur $700 \text{ }^\circ\text{C}$ grafit dapat teroksidasi oleh oksigen dan membentuk CO_2 (Kurniawan dan Pujiarti, 2017). Selain grafit, komposit berpenguat seperti serat alam juga mudah didapatkan dan bernilai ekonomis dengan keunggulan yaitu sifatnya yang kuat dan ringan (Widiarta dkk., 2018). Material penguat biasanya adalah serat yang terbuat dari bahan yang kuat. Contoh matriks yang sering dipakai pada penelitian yakni matriks polimer dengan berbagai jenis seperti polyester, epoxy, reopoly dan bisphenol. Material komposit dengan penguat seperti serat gelas telah banyak digunakan di dalam dunia industri

karena memiliki kekuatan dan kekakuan yang jauh lebih tinggi daripada bahan lainnya maka dari itu bisa dikreasikan sesuai dengan kebutuhan (Kurniawan dkk., 2019).

2.8 Foam Structure

Foam atau busa merupakan terdispersinya gas di dalam satu fasa liquid yang memiliki fleksibilitas yang baik dan elastisitas tinggi. Secara termodinamika, kinetika dekomposisi harus terjadi dengan cepat agar memperoleh ukuran rongga yang diharapkan sebelum *foam* keluar dari lelehan (Kusharjanto dkk., 2013). *Foam* yang terbentuk berupa gelembung gas dengan ukuran gelembung yang bervariasi dan tidak teratur yang dibungkus oleh cairan (Wahyuni dan Dhora, 2019). Reaksi yang terjadi pada pembentukan *foam* berupa reaksi yang menghasilkan gelembung udara. Gelembung tersebut terperangkap di dalam campuran yang reaktif. Timbulnya gelembung udara tersebut didapatkan dari zat pembentuk *foam*. Zat tersebut terdiri atas dua jenis yakni zat pembentuk *foam* secara fisika dan kimia. Pembentukan zat secara fisika diperoleh dari proses penguapan pada saat struktur seluler tertaut dengan panas. Contoh zat nya adalah klorofluorokarbon (CFC) dan hidroklorofluorokarbon (HCFC). Akan tetapi penggunaan CFC telah berkurang karena mempengaruhi penipisan ozon di atmosfer. Sedangkan contoh zat pembentuk busa secara kimia yaitu air (Neswati dkk., 2019).

Secara struktur selnya, *foam* terbagi atas 2 jenis yakni sel terbuka (*opened cell*) yang mengandung pori-pori yang saling terkoneksi satu sama lain sehingga jenis *foam* ini mempunyai kerapatan yang cenderung lebih rendah yaitu berupa *spons* dan sel tertutup (*closed cell*) merupakan struktur jenis *foam* yang mempunyai kuat tekan dan stabilitas dimensi lebih tinggi serta serapan air yang rendah daripada dengan

sel terbuka (Szycher, 2013). *Foam structure* ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. *Foam Structure* (Sun dkk., 2020).

Bahan yang umumnya digunakan sebagai pembentuk *foam* adalah sodium hidrokarbonat dengan kalsium karbonat (CaCO_3) sebagai bahan pengisinya yang dapat meningkatkan sambung silang yang berpengaruh terhadap densitas dan modulus bahan (Nasruddin dan Bondan, 2018). Terjadinya pembusaan diakibatkan pelepasan CO , CO_2 atau SO_3 gas yang dihasilkan dari dekomposisi atau oksidasi aditif. Reaksi dekomposisi tersebut umumnya berasal dari keberadaan karbonat atau sulfat, namun jika pada reaksi oksidasi dihubungkan dengan interaksi spesies yang mengandung karbon (C , SiC) dengan oksigen (Marangoni, 2014). Penggunaan CaCO_3 ini dinilai lebih terjangkau dari segi harga dan dapat diperolehnya pori yang halus serta *foam structure* yang seragam. Namun batubara juga dapat digunakan sebagai pembentuk *foam* karena kandungan karbonnya yang aktif sebagai bahan berpori yang terdapat karbon dengan luas permukaan dan pori-pori yang baik karena adanya aktivator. Aktivasi karbon bisa dilakukan secara fisika dengan agen pengoksidasi berupa CO_2 (Anisyah dkk., 2021).

Untuk menstabilkan *foam structure* dengan gelembung-gelembung yang terbentuk

maka digunakannya surfaktan sebagai *foam stabilizier*. Surfaktan berfungsi untuk menurunkan tegangan permukaan antara liquid-liquid atau liquid-solid, menggabungkan komponen-komponen yang tidak saling larut dan mengatur tampilan struktur sel. Selain itu surfaktan dapat menstabilisasi ekspansi *foam* saat mengembang dan memperoleh jenis struktur berdasarkan pada struktur pori-pori yang sesuai dengan keinginan berupa sel terbuka atau tertutup (Neswati dkk., 2019). Meskipun terdapat penambahan surfaktan, drainase cairan dari jaringan pori-pori tetap dapat terjadi dan akan menyebabkan runtuhnya *foam*. Namun untuk menjaga *foam structure* tersebut, dapat dilakukan dengan pemanasan (sistem selulosa) atau pendinginan (sistem agarosa) ataupun dipolimerisasi dengan penambahan inisiator (sistem akrilamida). Disamping itu, penting juga untuk meningkatkan keseragaman dan reproduktifitas struktur busa guna untuk mencapai ukuran pori yang seragam dan kerapatan diseluruh komponen dan *foam structure* dari bagian ke bagian (Kennedy, 2012).

2.9 Foam Glass

Foam glass merupakan bahan isolasi panas dan kedap suara berpori dengan porositas yang tinggi. Secara fisik, *foam glass* adalah sistem heterofase yang terdiri atas fasa padat yang merupakan kaca membentuk dinding tipis sel tunggal setebal beberapa mikrometer dan fasa gas yang mengisi sel sel tersebut. *Foam glass* ini memiliki pori-pori yang saling terhubung. *Foam glass* yang berpori tertutup (porositas terbuka < 10%) berfungsi untuk bahan bangunan dan memiliki kemampuan yang unggul dibandingkan bahan isolasi termas tradisional. *foam glass* berpori terbuka (porositas terbuka > 50%) memperlihatkan insulasi udara dan kinerja penyerapan air yang baik. Bahan utama pada *foam glass* yaitu limbah jenis

limbah kaca, *fly ash* dan terak (Chen dkk., 2012). Berikut bentuk *foam glass* ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. *Foam Glass* (Olivia dkk., 2015).

2.10 *Foam Glass Ceramic*

Foam glass ceramic merupakan bentuk bahan yang memerlukan pembusakan dan kristalisasi di saat yang bersamaan dengan proses fabrikasi tertentu. Hal ini dimaksudkan dalam pembentukan kaca anorganik disertai pembentukan pori-pori kecil, meluas dan kristal didalamnya. Berdasarkan hal itu, *foam glass ceramic* mempunyai kelebihan diantaranya yaitu konduktivitas termal yang kecil, kinerja termal yang stabil, kekuatan mekanik yang tinggi, masa penggunaan yang lama dan ketahanan korosi yang kuat (Niu dkk., 2020). *Foam glass ceramic* terdiri atas fase padat dan fase gas yang diklasifikasikan dalam sistem heterofase. Beberapa fase padat terjadi saat dinding sel tunggal berdiameter sebanyak beberapa mikrometer terbentuk dari kaca, namun fase gas terjadi saat sel diisi melalui tekanan gas. *Foam glass ceramic* yang sebagai bahan berpori yang memiliki sifat isolasi termal dan akustik ringan sehingga nilai porositas mencapai 90% (Saparuddin dkk., 2020).

Foam glass ceramic pada umumnya dibuat melalui sintering bubuk konvensional. Proses ini yaitu mencampurkan bubuk tambahan dengan sintering campuran bubuk kaca dan *foaming agent* pada *porous foam material*. Pada saat campuran tersebut

mengalami pemanasan di atas titik pelunakan maka padatan kaca bertransformasi menjadi cairan yang kental. Kemudian, oksidasi atau dekomposisi *foaming agent* tersebut menuju terjadinya pembentukan gelembung yang akan terperangkap di dalam lelehan sehingga membentuk produk berpori yang khusus. Seiring dengan mengembangnya gelembung gas tersebut maka tingkat volume dari sampel itu sendiri menjadi meningkat. Umumnya, perolehan produk *foam glass ceramic* dipengaruhi oleh komposisi *foaming agent*, distribusi ukuran bahan baku, suhu pembakaran, waktu dan kecepatan. Selain itu, saat pembentukan *foam glass ceramic* membutuhkan suhu optimum yang akan berhubungan dengan pemuaian, viskositas lelehan kaca dan laju dekomposisi *foaming agent* karena terjadinya pelepasan gas (Saparuddin dkk., 2020).

Foaming agent berdasarkan jenis dekomposisi dan reaksi redoks, bahan yang sering digunakan untuk melepaskan gas CO₂ untuk memiliki konduktivitas termal yang lebih rendah yaitu bahan karbon hitam. Selain itu, dalam pengaplikasiannya kuat tekan juga perlu diperhatikan. Kekuatan kuat tekan tersebut berkaitan dengan struktur porinya dan terdapat faktor yang mempengaruhinya yaitu suhu pembusaan dari berbagai macam *foaming agent* dan viskositas lelehan saat tahap pembusaan berlangsung sehingga resistansi yang diperoleh pada perkembangan pori juga berbeda. Disamping itu, ukuran partikel memiliki pengaruh terhadap keseragaman bahan pembusa tersebut (Yang dkk., 2021).

2.11 Metode Sintering

Sintering adalah suatu proses pemadatan material serbuk melalui pembentukan ikatan batas butir antar serbuk penyusunnya. Terjadinya ikatan antar butir

diakibatkan pemanasan dengan penekanan ataupun tidak dengan suhu *sintering* yang digunakan di bawah titik leleh dari partikel penyusunnya. Prosedur *sintering* diawali dengan kontak antar butir yang kemudian terjadi pelebaran titik kontak karena proses difusi atom-atom. Apabila terjadi difusi yang tinggi maka akan mengakibatkan penyusutan volume pori pada saat proses *sintering* berlangsung (Raharjo dkk., 2015).

Metode *sintering* adalah metode yang dapat menentukan sifat dan karakteristik produk keramik. Adapun parameter dalam proses ini yang memiliki andil terhadap perubahan sifat-sifat produk keramik yaitu tingkat halus bahan berdasarkan ukurannya, titik lebur bahan, suhu pembakaran dan waktu tahan. Hal tersebut sangat mempengaruhi tingkatan kepadatan atau tingkat densifikasi suatu produk tersebut. Nilai densifikasi adalah perbandingan antara densitas teori dengan densitas yang diperoleh (Suprapedi, 2020).

2.12 Metode *Quenching*

Metode *quenching* merupakan metode yang dilakukan dengan menggunakan media air, udara, oli, sumur, maupun larutan garam. Kapasitas suatu jenis media dalam mendinginkan sampel dapat berbeda-beda, perbedaan tersebut diakibatkan karena suhu, kekentalan, kadar larutan dan bahan dasar media pendingin tersebut. Jika pada logam, semakin cepat logam didinginkan maka akan semakin keras sifat dari logam itu. Karbon yang diperoleh lebih banyak jika dilakukan pendinginan cepat dibandingkan dengan pendinginan lambat karena atom karbon belum sempat berdifusi keluar dan terjebak dalam struktur kristal dan membentuk struktur tetragonal dengan ruang kosong antar atomnya kecil, maka kekerasan dari sampel

tersebut meningkat. Media pendingin menggunakan air dalam proses perlakuan panas akan membuat daya pendinginan yang cepat. Air mempunyai karakteristik yang istimewa yang tidak dipunyai oleh senyawa kimia lain. Perubahan suhu air yang lambat membuat air mempunyai sifat sebagai penyimpan panas yang lebih baik. Sifat ini bisa jadi air tidak menjadi dingin atau panas dalam beberapa saat. Air memerlukan panas yang tinggi saat proses penguapan (Handoyono, 2015).

2.13 Uji Fisis beserta Alat Uji

2.13.1 Analisis Proksimat

Analisis proksimat merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui karakteristik dan kualitas batubara yang berkaitan dengan penggunaan batubara itu sendiri. Analisis ini dilakukan untuk menentukan kadar air (*moisture*), kadar zat terbang (*volatile matter*), kadar abu (*ash content*) dan kadar karbon tertambat (*fixed carbon*) (Wahyudi dkk., 2019). Alat analisis proksimat dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Alat: (a) oven dan (b) *furnace*

Dalam menentukan kandungan yang terdapat pada batubara dapat diketahui dengan Persamaan (2.2) sesuai dengan SNI 13-3479-1994:

Kandungan kadar air (*Moisture*)

$$M_{ar} / M_c (\%) = \frac{(m_1 - m_4) - (m_3 - m_2)}{(m_1 - m_4)} \times 100 \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan M_{ar} adalah moisture kadar air (%), M_c adalah *moisture content* (%), m_1 adalah massa cawan dan batubara (g), m_2 adalah massa cawan (g), m_3 adalah massa cawan dan batubara setelah dioven (g) dan m_4 adalah massa cawan setelah dioven (g).

Kandungan zat terbang (*Volatile Matter*)

$$V (\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times (100 - M\bar{c}) \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan V adalah *volatile matter* (%), $M\bar{c}$ adalah rata-rata *moisture content* (%), m_1 adalah massa cawan dan tutup (g), m_2 adalah massa cawan, tutup dan batubara sebelum di *furnace* (g) dan m_3 adalah massa cawan, tutup dan batubara setelah di *furnace* (g).

Kandungan kadar abu (*Ash Content*)

$$AC (\%) = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100 \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan AC adalah *ash content* (%), m_1 adalah massa cawan (g), m_2 adalah massa cawan, tutup dan batubara (g) dan m_3 adalah massa cawan, tutup dan abu batubara (g).

Kandungan Karbon Tertambat (*Fixed Carbon*)

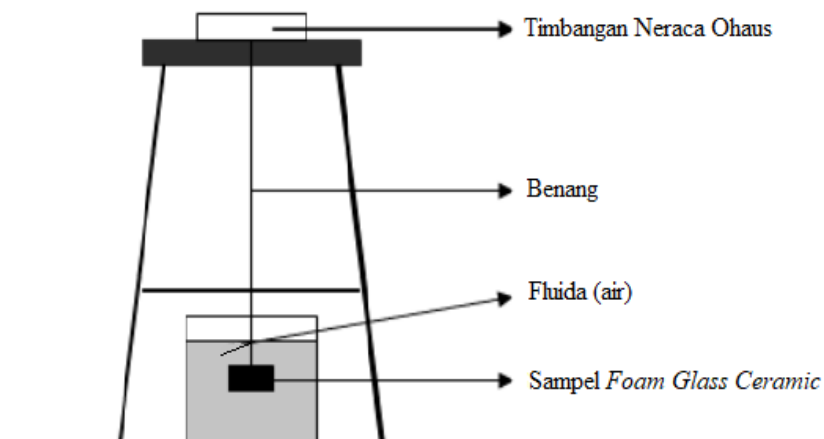
$$FC (\%) = 100 - (M\bar{c} (\%) + AC (\%) + V (\%)) \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan FC adalah *fixed carbon* (%), $M\bar{c}$ adalah rata-rata *moisture content* (%), V adalah *volatile matter* (%) dan AC adalah *ash content* (%).

Terdapat juga kandungan kadar air total yang dihasilkan karena adanya kadar air bawaan (*inherent moisture*) dan kadar air permukaan (*surface moisture*) karena proses penambangan dan pencucian batubara (Talla dan Herman, 2017).

2.13.2 Densitas

Densitas adalah salah satu sifat dasar fluida yang diartikan sebagai massa per satuan volume. Pengujian densitas dilakukan agar mengetahui kerapatan antar molekul dalam sintesis *foaming agent* yang dihasilkan (Wahyuni dan Dhora, 2019). Densitas adalah sifat fisis yang mengilustrasikan kerapatan ikatan material-material penyusunan batuan. Jenis, jumlah mineral dan presentasinya, porositas batuan dan fluida pengisi rongga merupakan hal yang mempengaruhi tingkat densitas suatu batuan. Densitas batuan terdiri dari densitas asli (*natural density*) merupakan densitas batuan dengan keadaan aslinya, densitas kering (*dry density*) merupakan densitas batuan dengan situasi susut sesudah memanaskan batuan, dan densitas jenuh (*saturated density*) merupakan densitas batuan dengan situasi keadaan jenuh sesudah batuan dijenuhkan dalam suatu fluida. Alat uji densitas dapat dilihat pada skema Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Alat uji densitas (Sulardjaka dkk., 2013).

Untuk menentukan besar densitas dapat menggunakan metode archimedes dengan

Persamaan sebagai berikut.

Massa sampel jenuh dalam air

$$m_s \text{ (g)} = m_a - m_b \text{ (2.8)}$$

Volume sampel tanpa pori

$$V_p \text{ (cm}^3\text{)} = \frac{m_o - m_s}{\rho_{ar}} \text{ (2.9)}$$

Volume sampel total

$$V_b \text{ (cm}^3\text{)} = \frac{m_w - m_s}{\rho_{ar}} \text{ (2.10)}$$

Densitas asli (*natural density*)

$$\gamma_n \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{m_n}{V_b} \text{ (2.11)}$$

Densitas kering (*dry density*)

$$\gamma_d \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{m_o}{V_b} \text{ (2.12)}$$

Densitas jenuh (*saturated density*)

$$\gamma_s \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{m_w}{V_b} \text{ (2.13)}$$

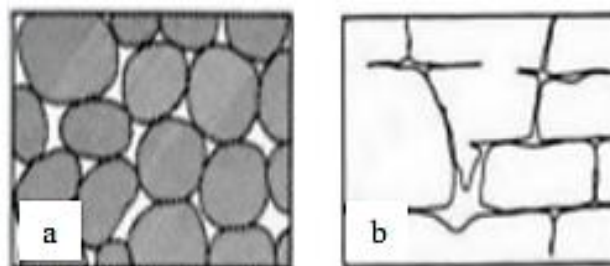
Kadar air jenuh

$$w \text{ (%) } = \frac{m_w - m_o}{m_o} \times 100 \text{ (2.14)}$$

Dengan m_a adalah massa sampel tenggelam (g), m_b adalah massa sampel tergantung di air (g), m_n adalah massa sampel asli (g), m_s adalah massa sampel jenuh dalam air (g), m_o adalah massa sampel kering (g), m_w adalah massa sampel jenuh (g), V_b adalah volume sampel total (g), V_p adalah volume sampel tanpa pori (g), ρ_{ar} adalah massa jenis air (cm³), γ_d adalah massa densitas kering (g/cm³), γ_n adalah massa densitas asli (g/cm³), γ_s adalah massa densitas jenuh (g/cm³) dan w adalah kadar air jenuh (%) (Ridha dan Darminto, 2016).

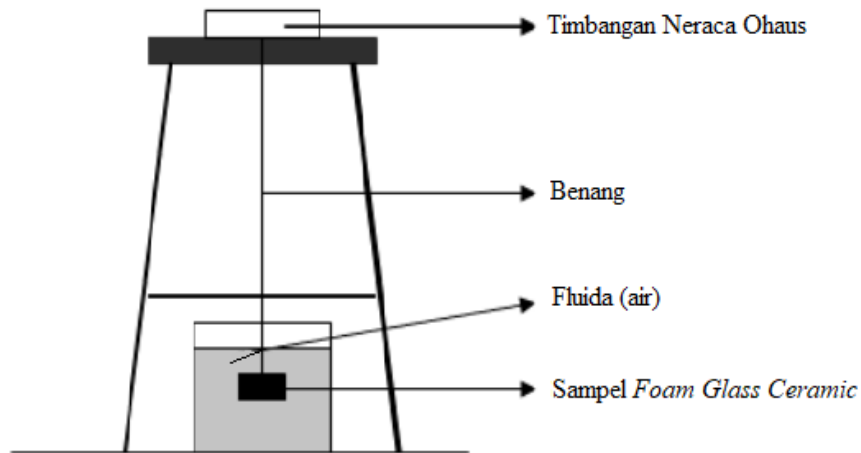
2.13.3 Porositas

Porositas merupakan perbandingan antara volume ruang yang ada diantara serbuk yang terdiri pori-pori terhadap volume serbuk secara keseluruhan. Pori-pori yang dimaksud adalah ruang diantara serbuk yang selalu terisi oleh fluida seperti udara, minyak atau gas bumi. Porositas batuan adalah rasio volume rongga-rongga pori terhadap volume keseluruhan batuan yang diakui dalam persen. Porositas dipengaruhi oleh ukuran bahan, jenis batuan, komposisi, distribusi pori, sementasi, dan riwayat diagenetik. Sebuah batuan dianggap mempunyai porositas yang baik jika bagian rongga-rongga pada batuan saling berhubungan dan umumnya lebih kecil dari rongga-rongga pori (Ridha dan Darminto, 2016). Terdapat dua jenis porositas yaitu porositas absolut dan porositas efektif. Porositas absolut adalah perbandingan suatu rongga pori terhadap volume total seluruh batuan. Sedangkan porositas efektif adalah perbandingan suatu rongga pori yang saling terhubung terhadap volume total seluruh batuan. Berdasarkan cara terjadinya porositas dibagi menjadi 2 (dua) yaitu porositas primer atau antar-butir merupakan porositas yang dibuat saat batuan diendapkan maka tergantung sedimentasinya dan porositas sekunder merupakan porositas yang dibuat dari beberapa gejala dari luar seperti gejala pelarutan dan tektonik. Porositas batuan ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Porositas pada batuan: (a) porositas primer dan (b) porositas sekunder (Wiloso dan Ratmy, 2018).

Alat uji porositas dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Alat uji porositas (Sulardjaka dkk., 2013).

Untuk menentukan besar porositas yang dihasilkan dapat menggunakan Persamaan (2.13) yang sesuai dengan ASTM C 642-97:

$$\varphi (\%) = \frac{m_w - m_o}{m_w - m_s} \times 100 \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan φ adalah porositas sampel (%), m_o adalah massa sampel kering (g), m_s adalah massa sampel jenuh dalam air (g) dan m_w adalah massa sampel jenuh (g) (Mardiah dkk., 2018).

2.14 Karakterisasi

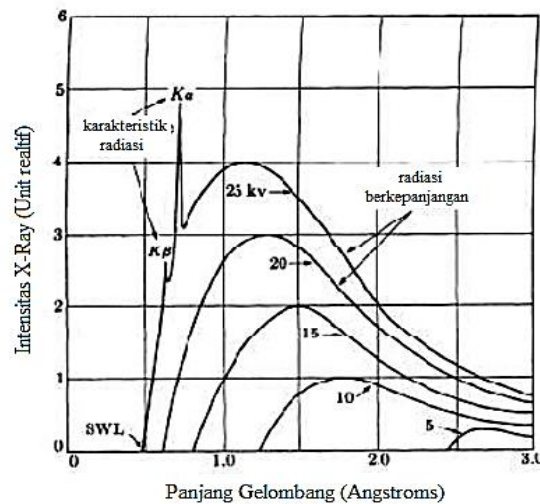
Karakterisasi yang digunakan pada penelitian ini adalah *X-ray Diffractometer* (XRD), *X-ray Fluorescence* (XRF) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

2.14.1 Sinar-X

Sinar-X menjadi salah satu penemuan penting dalam sejarah manusia. Penemuan sinar-X pertama kali oleh Wilhelm Conrad Rontgen yang merupakan seorang ilmuwan fisika berkebangsaan Jerman dengan percobaan tabung sinar katoda di tanggal 8 November 1895. Percobaan ini dilakukan dalam keadaan ruangan yang

gelap dan kemudian yang dilakukannya adalah mengalirkan arus listrik bertegangan tinggi ke dalam tabung sinar katoda dan membuat keadaan hampa udara di dalam tabung sinar katoda tersebut agar sinar yang diperoleh dari katoda tidak berbenturan dengan partikel lain dan segera mengenai objek. Ketika arus listrik teralirkan tampak adanya cahaya yang bersinar pada layar yang posisinya beberapa meter dari tabung sinar katoda dan layar tersebut terbuat dari *barium platinocyanide*. Disamping itu, unit permukaan tabung dilapisi dengan kertas hitam tebal yang berfungsi supaya unit dalam tabung tidak terdapat cahaya yang tampak. Berdasarkan pengamatan dari percobaannya, layar tersebut masih bersinar walaupun posisinya tidak didekatkan beberapa meter dari tabung sinar katoda sehingga, sejak itu Rontgen berfikir jika terdapat adanya salah satu radiasi yang tidak tampak dengan mata yang berasal dari tabung sinar katoda. Hasil penemuannya ini dinamakan “sinar-X” (Handoko dkk., 2008).

Sinar-X merupakan bagian dari radiasi elektromagnetik dengan sifat yang cenderung mirip dengan cahaya tampak. Sinar-X mempunyai panjang gelombang sebesar 1 \AA dengan rentang frekuensi sebesar 10^{16} hingga 10^{20} Hz dan energinya sebesar antara 100 eV hingga 100 keV. Tegangan yang dialirkan ke dalam tabung sinar katoda akan mempengaruhi nilai intensitas dan panjang gelombang yang dihasilkan dari sinar-X. Spektrum sinar-X sebagai fungsi dari tegangan yang diberikan ditunjukkan pada Gambar 2.12.

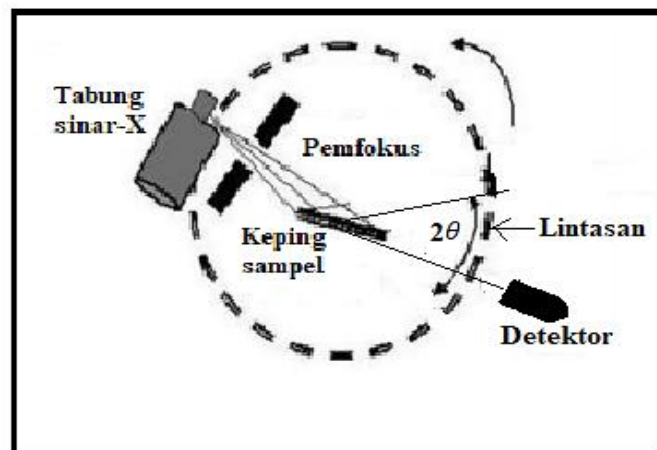


Gambar 2.12. Spektrum sinar-X sebagai fungsi dari tegangan yang diberikan (Handoko dkk., 2008).

Gambar 2.12. menunjukkan intensitas awal sinar-X untuk semua panjang gelombang bernilai 0 yang disebut dengan batas panjang gelombang rendah atau *short wavelength limit* (λ_{SWL}) lalu intensitasnya meningkat dengan cepat sampai mencapai batas maksimum dan turun hingga panjang gelombangnya bernilai tak hingga. Beberapa bagian utama dalam setiap tabung sinar-X yaitu sumber elektron, tegangan pemercepat dan sebuah logam sebagai target. Terdapat dua elektroda pada semua tabung sinar-X yakni anoda yang merupakan logam yang dijadikan target sebagai potensial dasar dan katoda yang berguna sebagai potensial negatif tinggi. Saat ini, tabung sinar-X telah dilengkapi air pendingin (*water-coolar*) guna mengantisipasi terjadinya peleburan karena saat terjadi tumbukan antara elektron dengan atom maka beberapa energy kinetik yang dimiliki elektron akan berubah menjadi panas. Namun, saat terjadi tumbukan tersebut beberapa pancarannya akan diserap karena tidak semua sinar-X dipancarkan. Hal inilah yang disebut dengan absorpsi (Handoko dkk., 2008).

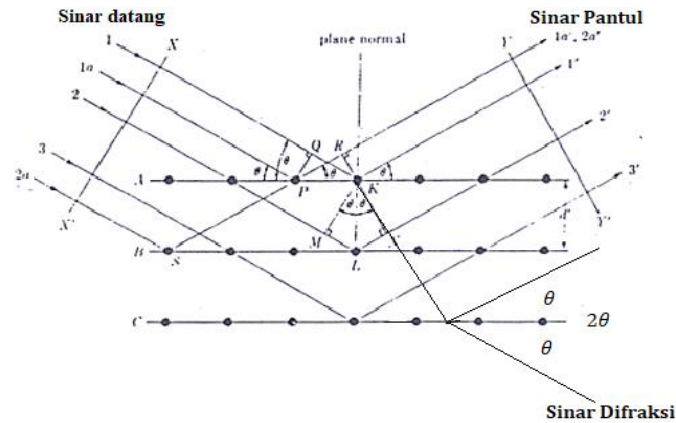
2.14.2 X-ray Diffraction (XRD)

X-ray Diffraction (XRD) merupakan metode analisa yang mampu mengidentifikasi karakteristik material kristalit yang dilihat dari struktur (kualitatif), fasa (kuantitatif), ataupun ukuran butir dari sebuah sampel dengan menggunakan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X. Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik yang dapat digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan fase material. Jika sinar-x dengan panjang λ maka gelombang diarahkan ke permukaan kristal dengan sudut datang sehingga beberapa sinar dihamburkan oleh bidang atom dalam kristal. Berkas sinar-X yang tersebar pada arah tertentu akan menghasilkan puncak difraksi dan dapat diamati dengan perangkat XRD (Cullity, 1992). Cara kerja alat *X-ray diffraction* dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Kerja alat *X-ray diffraction*

Gambar 2.13. Merupakan cara sederhana difraksi sinar-X yaitu tabung sinar-X mengeluarkan sinar-X yang difokuskan dan mengenai sampel oleh pemfokus kemudian detektor segera bergerak sepanjang lintasannya untuk merekam pola difraksi sinar-X. Difraksi adalah hasil korelasi antar dua gelombang atau lebih. Difraksi sinar-X oleh sebuah kristal ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Difraksi sinar-X oleh sebuah kristal

Gambar 2.14. Menunjukkan beberapa kristal yang atom-atomnya terdiri dari bidang paralel A, B, C, D, \dots yang terpisah sejauh d .

Atom-atom yang tersusun searah akan dianggap membentuk satu bidang cermin maka bila terdapat sinar datang pada bidang itu kemudian akan dibelokkan berdasarkan dengan prinsip optik. Setelah bidang permukaan atas, pada bagian bawah terdapat bidang yang sejajar dengan bidang pertama dan seterusnya. Jarak antar bidang tersebut diistilahkan dengan d . Oleh karena itu, difraksi sinar-X memenuhi Hukum Bragg sebagaimana persamaan (2.14):

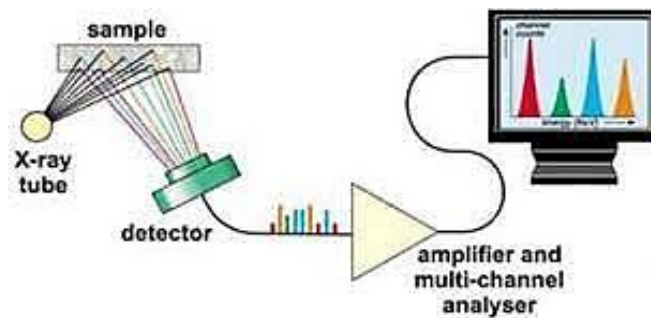
$$2d \sin \theta = \lambda \dots \dots \dots (2.16)$$

dengan $2d$ adalah jarak antar bidang dalam kristal, θ adalah sudut difraksi, n adalah orde difraksi (0,1,2,3,...) dan λ adalah panjang gelombang. Berdasarkan persamaan Bragg diatas, jika seberkas sinar-X di jatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal tersebut akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sebesar jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian disebut sebagai sebuah puncak difraksi. Semakin banyak bidang kristal yang terdapat di dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang

dihasilkannya (Cullity, 1959).

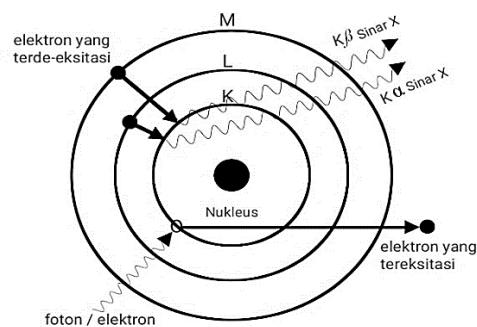
2.14.3 X-ray Fluorescence (XRF)

X-ray Fluorescence (XRF) merupakan suatu metode yang mampu menganalisa suatu unsur dalam bentuk padatan, bubuk ataupun sampel cair. Adapun cara kerja alat X-ray fluorescence ditunjukkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15. Kerja alat X-ray fluorescence (Sari, 2016).

Emisi fluoresensi yang diperoleh sampel ketika diradiasi sinar-X, X-Ray Fluorescence mengukur panjang gelombang komponen material secara individu (PANalytical, 2009). Pembentukan sinar-X yang terjadi sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.16.



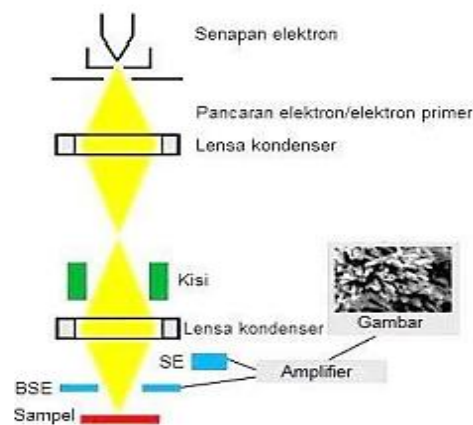
Gambar 2.16. Pembentukan sinar-X karakteristik

Gambar 2.16. menunjukkan pembentukan sinar-X yaitu setelah X-ray ditembakkan pada sampel lalu elektron akan mengalami eksitasi dari kulit K (kulit paling dalam)

dan terjadi kekosongan pada kulit K tersebut. Kekosongan pada kulit K menimbulkan ketidakstabilan pada suatu atom, sehingga diperlukan elektron dari tingkat tinggi (Kulit L dan M) yang berpindah mengisi kekosongan tersebut untuk menstabilkannya. Ketika proses perpindahan elektron, energi dibebaskan saat perpindahan elektron dari kulit yang memiliki energi yang lebih tinggi ke kulit yang lebih rendah. Setiap material mengeluarkan emisi yang mempunyai karakter khusus. Perbedaan energi ikatan antar kulit yang saling berhubungan memberikan karakteristik dari *X-ray* kemudian dihasilkanlah *X-ray fluorescence* dari proses ini. Pada intensitas yang berbeda, ketika penyinaran ke material akan menghasilkan puncak ganda karena adanya $K\alpha$ dan $K\beta$. $K\alpha$ dihasilkan dari transisi elektron dari kulit L ke kulit K dan $K\beta$ dihasilkan dari transisi elektron dari kulit M menuju kulit K (Sumantry, 2002).

2.14.4 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron dengan teknik analisis yang sudah banyak digunakan dalam membantu guna mengatasi permasalahan analisis struktur mikro dan morfologi yang dapat memberikan hasil analisis secara detail dalam berbagai material seperti keramik, polimer dan komposit. Menggunakan resolusi yang tinggi, SEM dapat memberikan informasi dalam skala atomik. SEM difasilitasi dengan sistem pencahayaan 2θ menggunakan radiasi elektron yang memiliki daya pisah dalam ukuran 1-200 Å, sehingga dapat difokuskan dalam bentuk titik yang sangat kecil atau hingga perbesaran 1.000.000 kali. SEM memiliki daya pisah dalam skala nano dengan kemampuan perbesaran sekitar 500.000 kali (Reed, 1993). Cara kerja alat SEM ditunjukkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17. Kerja alat SEM (Sharma dkk., 1999).

Berdasarkan Gambar 2.17 menunjukkan bahwa elektron yang keluar dari senapan elektron atau elektron primer dengan energi yang sangat besar secara langsung tepat menumbuk atom sampel yang telah ditargetkan karena pengaruh lensa kondenser dan kisi. Ketika terjadinya interaksi antara elektron primer dan elektron terluar dari sampel, contoh kulit K, pada saat itu juga terjadi sebuah hamburan elektron yang mengakibatkan elektron di kulit K terpental (tereksitasi) keluar karena energinya 21 lebih kecil daripada energi elektron primer. Oleh karena itu, elektron primer dapat memberikan sisa energinya pada elektron-elektron yang ada di kulit L, M, N dan seterusnya dengan cara menjatuhkan dirinya hingga menuju kulit yang terdekat dengan inti akibat gaya inti. Untuk elektron-elektron yang berada pada kulit-kulit di atasnya akan kelebihan energi sehingga secara beraturan, elektron-elektron tersebut masing-masing akan naik menuju ke kulit terluar (gaya coulomb lebih besar dari sebelumnya). Ketika elektron kelebihan energi dan pindah ke kulit yang di atasnya maka akan menimbulkan sinar-X. Dengan melihat kejadian-kejadian tersebut, mikroskop elektron menggunakan panjang gelombang sinar-X yang keluar dari sampel (Sharma dkk., 1999).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan 01 April 2022 sampai dengan 01 Juni 2022 di Laboratorium Non Logam, PRTP BRIN, Jalan Ir. Sutami Km.15, Tanjung Bintang, Sindang Sari, Lampung Selatan, 35361 yang merupakan tempat pengujian untuk mengetahui karakteristik mineral non logam. Terdapat laboratorium lainnya yaitu laboratorium Analisa Kimia yang merupakan tempat pengujian untuk mengetahui karakteristik mineral logam maupun non logam, laboratorium Hidro Elektro Metalurgi yang merupakan tempat pengolahan mineral untuk menghasilkan material lanjut dalam kebutuhan industri, laboratorium *Heat Treatment* yang merupakan tempat proses perlakuan panas mineral logam maupun non logam dan laboratorium Pirometalurgi yang merupakan tempat pengolahan mineral logam untuk menghasilkan material lanjut dalam kebutuhan industri.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang akan digunakan pada proses penelitian ini yaitu ayakan ukuran 100 mesh, ayakan ukuran 325 mesh, cawan porselen, tutup cawan, gelas beker, spatula, labu takar, mortar, alu, cawan grafit, gerinda tangan, oven, *balmill* tipe TR6-Z-A-D112.M4, *furnace* IWATA, XRD PANalytical tipe *E'xpertPro*, XRF PANalytic tipe Minipal 4 dan SEM merk *Quatro Thermo Scientific*.

3.2.2 Bahan

Bahan yang akan digunakan pada proses penelitian ini yaitu batu basalt *scoria*, CaCO_3 powder yang teraktivasi, batubara, *boric acid*, larutan *hydrofluoric acid* 5%, resin dan katalis.

3.3 Variasi Komposisi Sampel

Variasi komposisi sampel yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut.

Tabel 3.1. Variasi Komposisi Basalt *Scoria* dengan CaCO_3 Teraktivasi

Variasi Suhu		Variasi Komposisi	
900 °C	1000 °C	Basalt <i>Scoria</i> (%)	CaCO_3 Teraktivasi (%)
900 A	1000 A	95	5
900 B	1000 B	90	10
900 C	1000 C	85	15

*Semua variasi komposisi ditambah dengan *boric acid* sebanyak 30 wt%

Tabel 3.2. Variasi Komposisi Basalt *Scoria* dengan Batubara

Variasi Suhu		Variasi Komposisi	
900 °C	1000 °C	Basalt <i>Scoria</i> (%)	Batubara (%)
900 D	1000 D	95	5
900 E	1000 E	90	10
900 F	1000 F	85	15

*Semua variasi komposisi ditambah dengan *boric acid* sebanyak 30 %wt

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan pada penelitian ini meliputi preparasi sampel, pembuatan sampel *foam glass ceramic* basalt *scoria* dan CaCO_3 teraktivasi, pembuatan sampel *foam glass ceramic* basalt *scoria* dan batubara, pengujian fisis *foam glass ceramic* dan karakterisasi *foam glass ceramic*.

3.4.1 Preparasi Sampel

Tahapan preparasi sampel sebagai berikut.

1. Batu basalt *scoria* dihancurkan menggunakan ballmill selama kurang lebih 3 jam.
2. Batubara dihancurkan menggunakan ballmill selama kurang lebih 3 jam.
3. Basalt *scoria*, CaCO_3 teraktivasi dan batubara masing-masing disaring menggunakan ayakan ukuran 100 mesh.
4. Sampel siap digunakan dalam pembuatan sampel.
5. Basalt *scoria* dan CaCO_3 teraktivasi disaring menggunakan ayakan ukuran 325
6. Basalt *scoria* dan CaCO_3 teraktivasi dikarakterisasi menggunakan XRD dan XRF.
7. Serbuk batubara lolos ayakan ukuran 100 mesh ditimbang sebanyak 10 gram untuk melakukan analisis proksimat.
8. Serbuk batubara 10 gram dikeringkan menggunakan oven di suhu $110\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam dan melakukan pengulangan sebanyak 3 kali hingga memperoleh hasil yang konstan untuk analisa kadar air (*moisture*).
9. Serbuk batubara hasil pemanasan tersebut ditimbang dan disintering pada suhu $900\text{ }^\circ\text{C}$ sebanyak 1 gram untuk analisa kadar zat terbang (*volatile matter*) selama 5 menit dan sebanyak 1 gram untuk analisa kadar abu (*ash content*) selama 30 menit.
10. Data dianalisis dengan metode proksimat.

3.4.2 Pembuatan Sampel *Foam Glass Ceramic* Basalt *Scoria* dan CaCO_3

Teraktivasi

Tahapan pembuatan sampel *foam glass ceramic* basalt *scoria* dan CaCO_3

teraktivasi sebagai berikut.

1. Serbuk basalt *scoria* ditimbang dengan komposisi 95%, 90% dan 85% dari berat total (wt) sebanyak 24 gram untuk setiap variasi komposisi.
2. Serbuk CaCO_3 teraktivasi ditambahkan sebanyak 5%, 10% dan 15% dari berat total (wt) sebanyak 24 gram untuk setiap variasi komposisi.
3. *Boric Acid* ditambahkan sebanyak 30% dari berat total (wt) serbuk basalt *scoria* untuk setiap variasi komposisi.
4. Semua bahan dicampur sesuai dengan tabel variasi komposisi.
5. Campuran tersebut dibagi menjadi 2 bagian untuk variasi suhu 900 °C dan 1000 °C sehingga dikodekan dengan 900 A, 1000 A, 900 B, 1000 B, 900 C dan 1000 C.
6. Setiap variasi komposisi tersebut dicetak dalam masing-masing cawan grafit.
7. Setiap variasi komposisi tersebut di *sintering* menggunakan *furnace* pada suhu 900 °C untuk kode sampel 900 dan 1000 °C untuk kode sampel 1000.
8. Sampel ditahan selama 5 menit saat sudah mencapai disuhu yang dituju.
9. Sampel di *quenching* diluar *furnace* menggunakan media pendingin air.
10. Sampel diperoleh dengan kode 900 A, 1000 A, 900 B, 1000 B, 900 C dan 1000 C.

3.4.3 Pembuatan Sampel *Foam Glass Ceramic Basalt Scoria* dan Batubara

Tahapan pembuatan sampel *foam glass ceramic basalt scoria* dan Batubara sebagai berikut.

1. Serbuk basalt *scoria* ditimbang dengan komposisi 95%, 90% dan 85% dari berat total (wt) sebanyak 24 gram untuk setiap variasi komposisi.
2. Serbuk batubara ditambahkan sebanyak 5%, 10% dan 15% dari berat total (wt)

sebanyak 24 gram untuk setiap variasi komposisi.

3. *Boric Acid* ditambahkan sebanyak 30% dari berat total (wt) serbuk basalt *scoria* untuk setiap variasi komposisi.
4. Semua bahan dicampur sesuai dengan tabel variasi komposisi.
5. Campuran tersebut dibagi menjadi 2 bagian untuk variasi suhu 900 °C dan 1000 °C sehingga dikodekan dengan 900 D, 1000 D, 900 E, 1000 E, 900 F dan 1000 F.
6. Setiap variasi komposisi tersebut dicetak dalam masing-masing cawan grafit.
7. Setiap variasi komposisi tersebut di *sintering* menggunakan *furnace* pada suhu 900 °C untuk kode sampel 900 dan 1000 °C untuk kode sampel 1000.
8. Sampel ditahan selama 5 menit saat sudah mencapai disuhu yang dituju.
9. Sampel di *quenching* diluar *furnace* menggunakan media pendingin air.
10. Sampel diperoleh dengan kode 900 D, 1000 D, 900 E, 1000 E, 900 F dan 1000 F.

3.4.4 Pengujian fisis *foam glass ceramic*

Tahapan pengujian fisis (densitas dan porositas) *foam glass ceramic* sebagai berikut.

1. Sampel *foam glass ceramic* basalt *scoria* dan CaCO_3 terdiri dari kode 900 A, 1000 A, 900 B, 1000 B, 900 C dan 1000 C dan *foam glass ceramic* basalt *scoria* dan batubara terdiri dari kode 900 D, 1000 D, 900 E, 1000 E, 900 F dan 1000 F ditimbang massa asli (m_n).
2. Semua sampel direndam dalam air selama ± 48 jam.
3. Setiap sampel ditimbang massa jenuh (m_w), massa tenggelam (m_a) dan massa tergantung di air (m_b).

4. Semua sampel dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110 °C selama 2 jam.
5. Setiap sampel ditimbang massa kering (m_o).
6. Data dihitung besar densitas dan porisitasnya.

3.4.5 Karakterisasi *Foam Glass Ceramic*

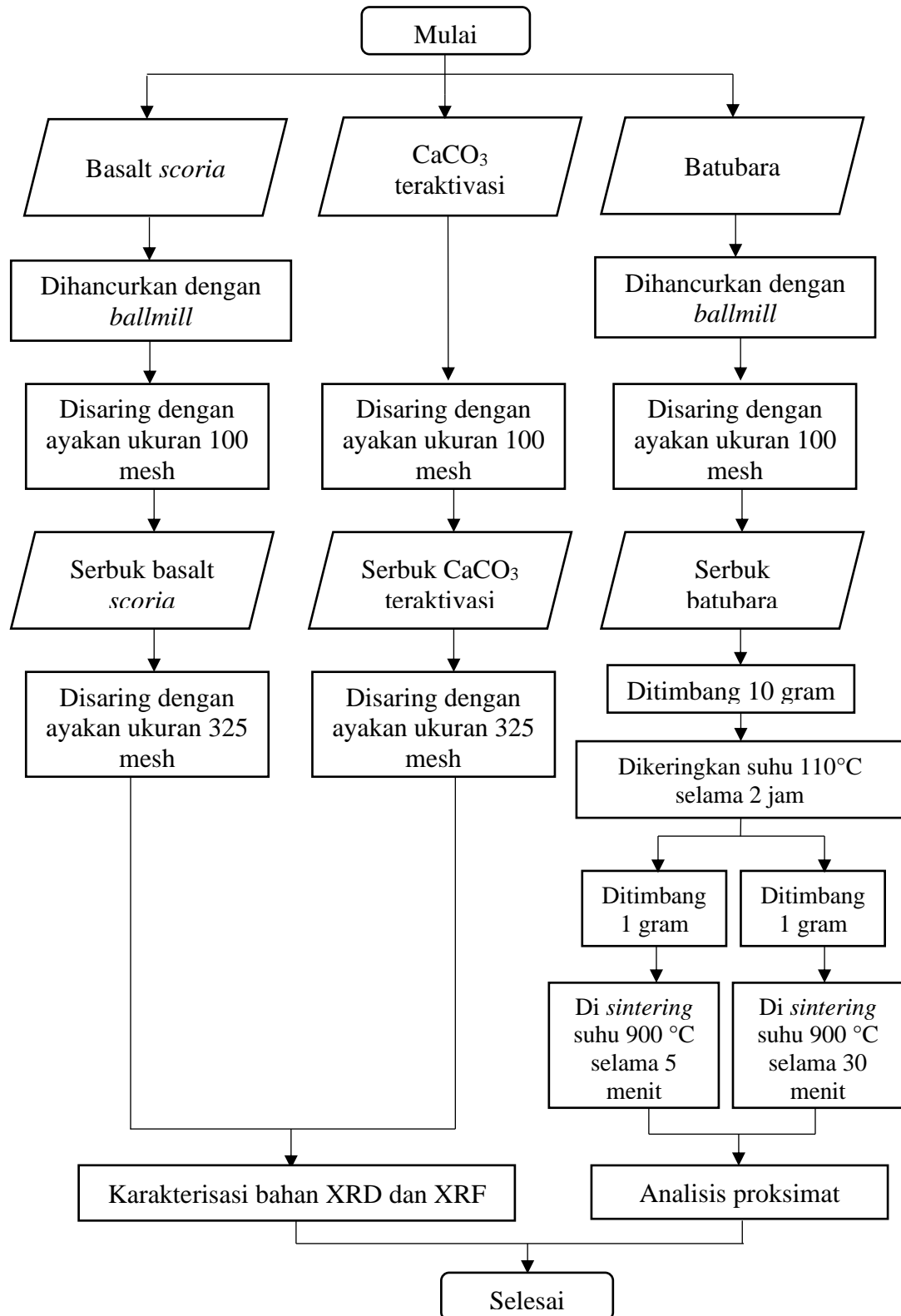
Karakterisasi *foam glass ceramic* menggunakan SEM, XRD dan XRF. Tahapan karakterisasi *foam glass ceramic* sebagai berikut.

1. Setiap sampel dipotong menjadi 3 bagian.
2. Setiap satu bagian sampel di *mounting* menggunakan bahan resin dan katalis.
3. Setelah *mounting* sampel di *polishing* menggunakan mesin polish dari grid 600, 800, 1000, 1200 hingga 2000 untuk memperoleh permukaan *foam glass ceramic* yang mengkilap.
4. Setiap sampel yang telah mengkilap di *etching* menggunakan larutan *hydrofluoric acid* 5% untuk memperjelas bentuk dan morfologi permukaan dari sampel.
5. Semua sampel dikarakterisasi menggunakan SEM.
6. Setiap 2 bagian sampel dihaluskan menggunakan mortar.
7. Setiap sampel yang telah halus disaring menggunakan ayakan ukuran 325 mesh.
8. Setiap sampel ditimbang sebanyak 3 gram.
9. Semua sampel dikarakterisasi menggunakan XRD dan XRF.

3.5 Diagram Alir

3.5.1 Diagram Alir Preparasi Sampel

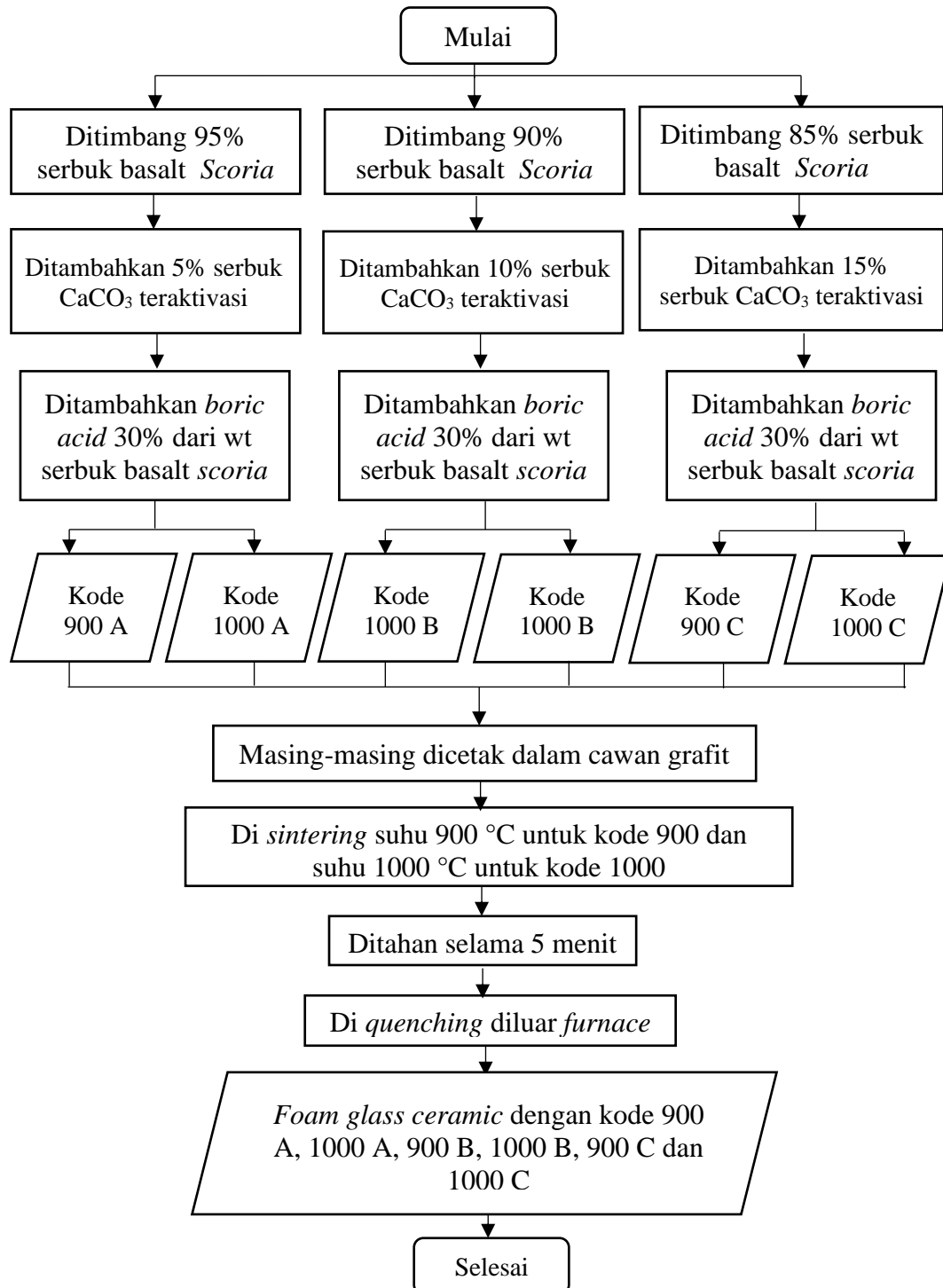
Diagram alir preparasi sampel ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram alir preparasi sampel

3.5.2 Diagram Alir Pembuatan Sampel *Foam Glass Ceramic Basalt Scoria* dan CaCO_3 Teraktivasi

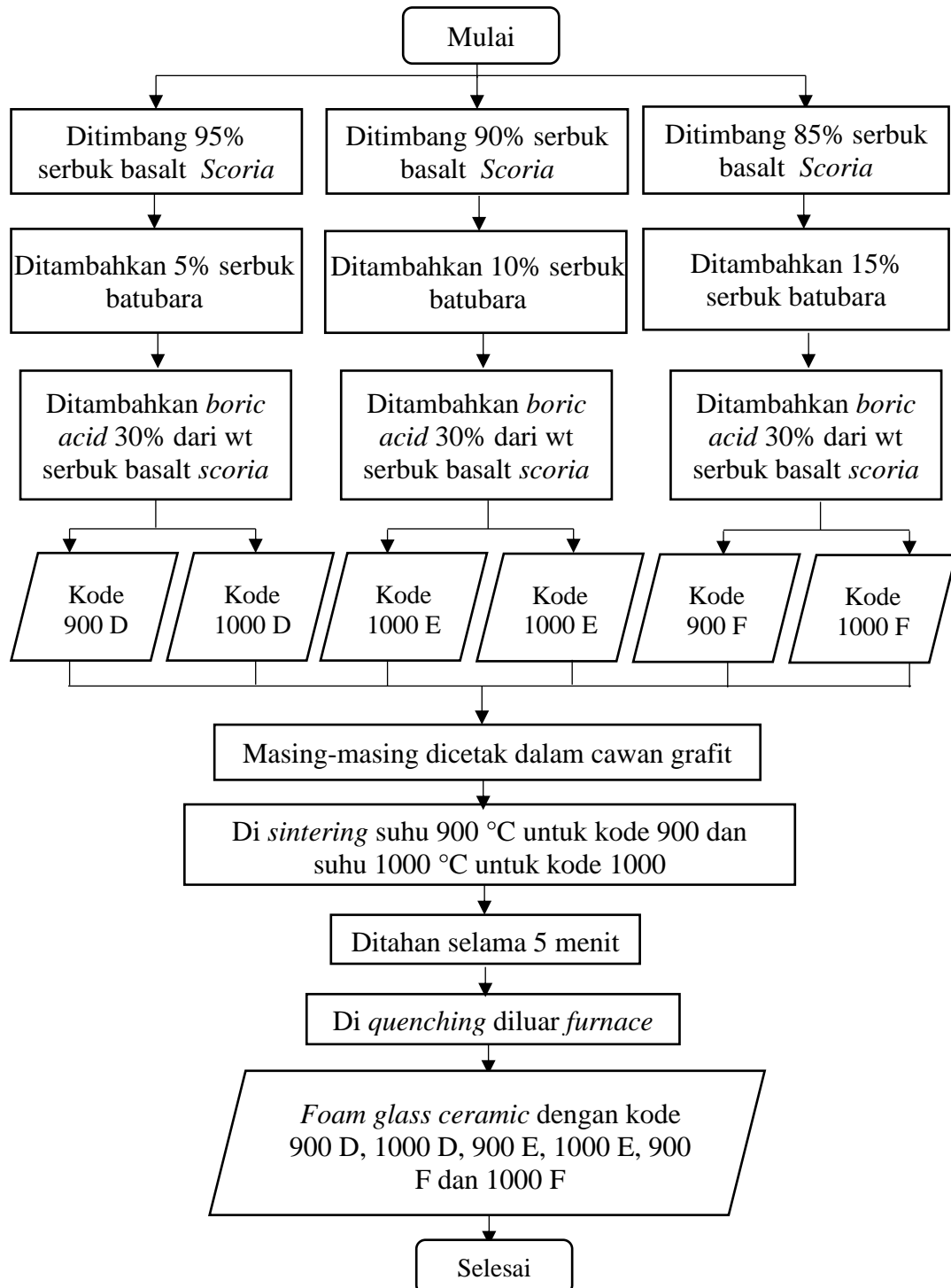
Diagram alir pembuatan sampel *foam glass ceramic* basalt *scoria* dan batubara ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram alir pembuatan sampel *foam glass ceramic* basalt *scoria* dan CaCO_3 teraktivasi

3.5.3 Diagram Alir Pembuatan Sampel *Foam Glass Ceramic Basalt Scoria* dan Batubara

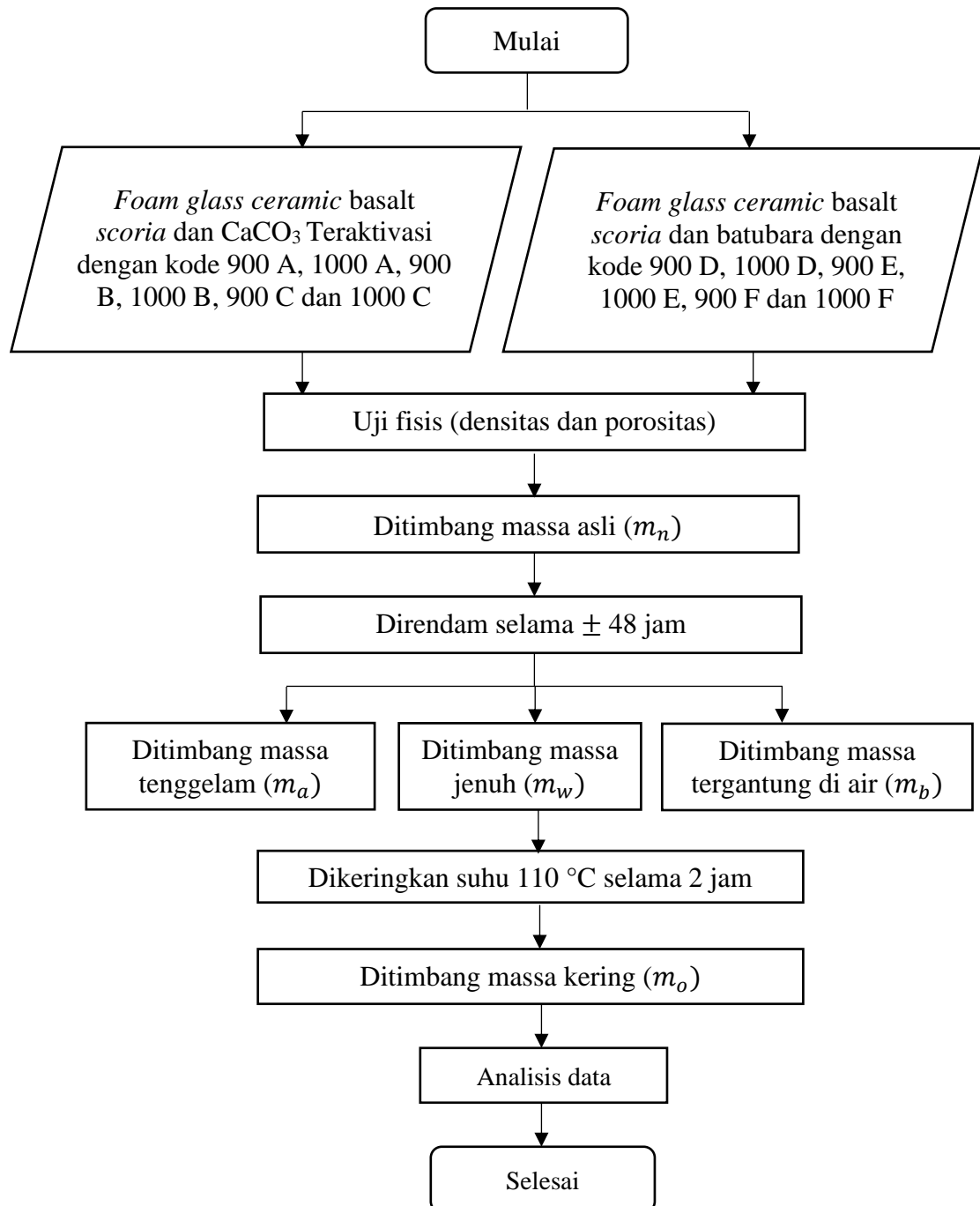
Diagram alir pembuatan sampel *foam glass ceramic* basalt *scoria* dan batubara ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Diagram alir pembuatan sampel *foam glass ceramic* basalt *scoria* dan batubara

3.5.4 Diagram Alir Pengujian Fisis *Foam Glass Ceramic*

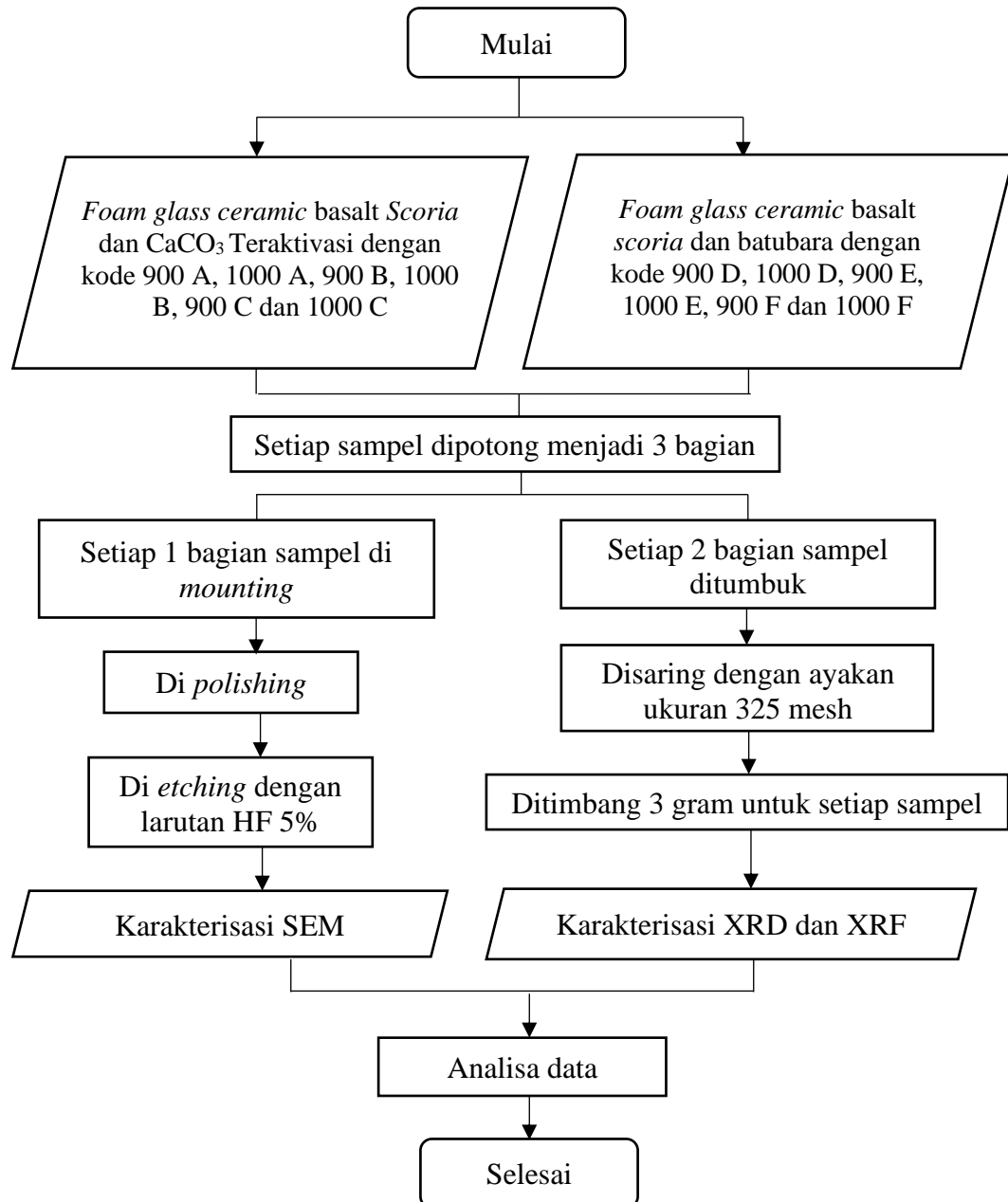
Diagram alir pengujian fisis (densitas dan porositas) *foam glass ceramic* ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Diagram alir pengujian fisis (densitas dan porositas) *foam glass ceramic*

3.5.5 Diagram Alir Karakterisasi *Foam Glass Ceramic*

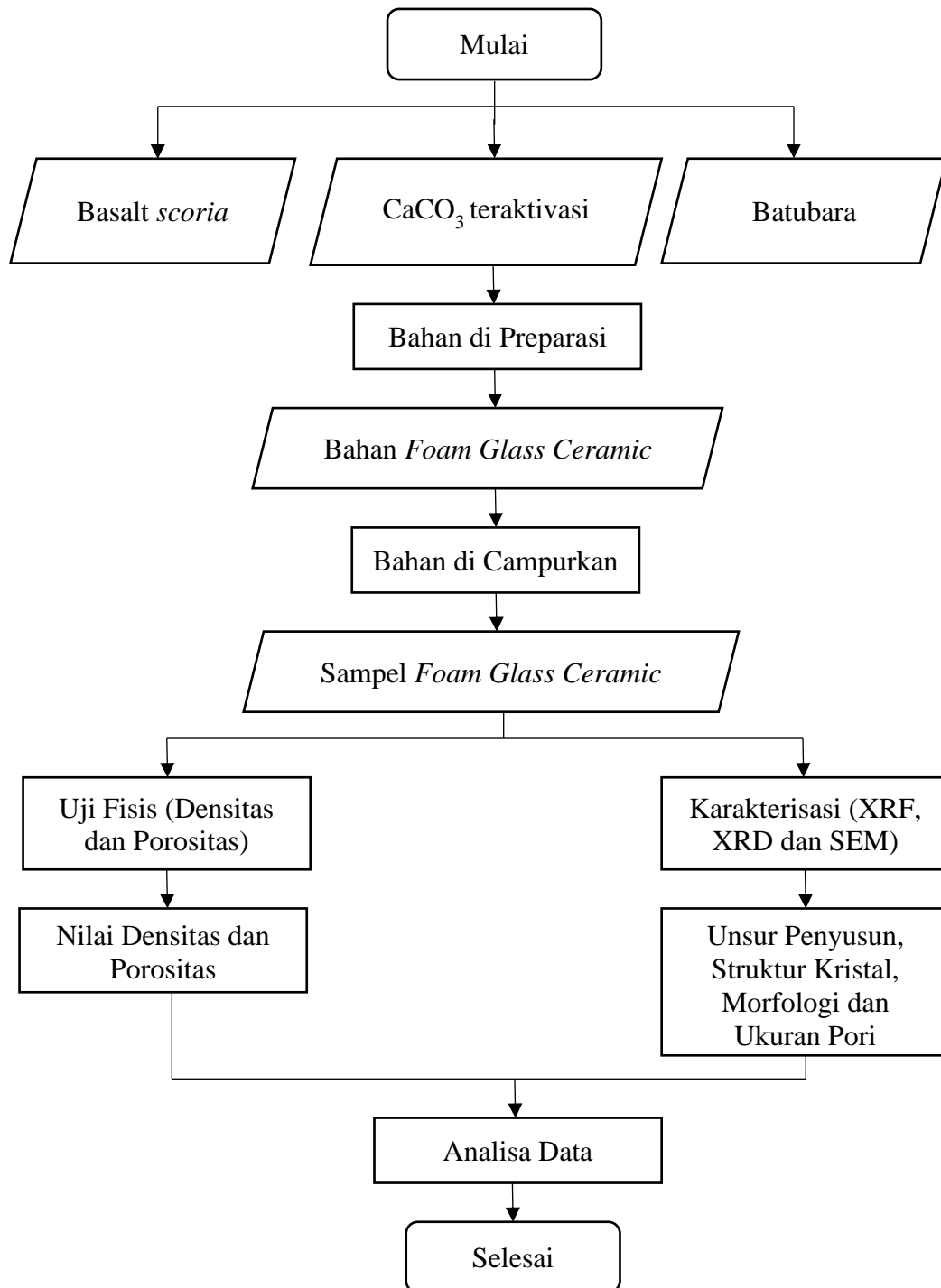
Diagram alir karakterisasi *foam glass ceramic* ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Diagram alir karakterisasi *foam glass ceramic*

3.5.6 Diagram Alir Penelitian *Foam Glass Ceramic*

Diagram alir penelitian *foam glass ceramic* ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Diagram alir pengaruh variasi komposisi CaCO_3 teraktivasi dan batubara terhadap pembentukan *foam glass ceramic* berbasis basalt *scoria* menggunakan metode *sintering* dan *quenching* pada suhu $900\text{ }^\circ\text{C}$ dan $1000\text{ }^\circ\text{C}$

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Komposisi CaCO_3 teraktivasi, batubara dan basalt *scoria* pada suhu $900\text{ }^\circ\text{C}$ dan $1000\text{ }^\circ\text{C}$ mempengaruhi sifat fisis *foam glass ceramic* dengan semakin tinggi penambahan persentase CaCO_3 teraktivasi maupun batubara yang digunakan sebagai *foaming agent* maka semakin rendah nilai densitas yang diperoleh dengan hasil terbaik sebanyak $0,84\text{ g/cm}^3$ serta semakin tinggi nilai porositas dengan hasil terbaik sebanyak $20,29\%$ pada sampel kode 900 C.
2. Komposisi CaCO_3 teraktivasi, batubara dan basalt *scoria* mempengaruhi unsur penyusun *foam glass ceramic* SiO_2 sebanyak $34,258\%$, Fe_2O_3 sebanyak $23,507\%$ dan CaO sebanyak $22,398\%$, kristal yang terbentuk *quartz*, *olivine* dan *anorthite*, persentase ukuran pori berkisar antara $0 < x \leq 1\text{ mm}$ sebanyak $91,48\%$ pada sampel kode 900 C.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran untuk penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut.

1. Memerlukan penelitian lebih lanjut mengenai variasi komposisi dan suhu agar memperoleh sifat fisis (densitas dan porositas) yang lebih sesuai.

2. Diperlukan variasi tambahan dengan tekanan untuk mengetahui kekuatan mekanisnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriani, F., Mustari., dan Yuant T. 2018. Pengaruh Lama Pemanasan Terhadap Karakteristik Kristal Kalsium dari Limbah Cangkang Kerang. *Jurnal Pendidikan, Matematika dan Sains*. Vol 2 No 2.
- Amaludin, A., dan Darma A. 2014. Analisis kerusakan x-ray fluorescence (XRF). *PIN Pengelolaan Instalasi Nuklir*. Vol 9 No 10.
- Amin, M. dan Suharto. 2017. Pembuatan Semen Geopolimer Ramah Lingkungan Berbahan Baku Mineral Basal Guna Menuju Lampung Sejahtera. *Jurnal Kelitbangan*. Vol 5 No 1.
- Anisyah., Arnelli., dan Yayuk A. 2021. Pembuatan Karbon Aktif Termodifikasi Surfaktan Sodium Lauryl Sulphate (SMAC-SLS) dari Tempurung Kelapa Menggunakan Aktivator ZnCl₂ dan Gelombang Mikro sebagai Adsorben Kation Pb(II). *Journal of Environmental Chemistry*. Vol 1 No 1.
- Bachtiar., Iyas M., Sudarsono. dan Abdul. Pengaruh Fraksi Volume Pasir Terhadap Kekuatan Bending, Densitas Dan Porositas Keramik Berbahan Dasar Tanah Liat. *ENTHALPY*. Vol 4 No 3.
- Birawidha, D.C., Kusno I., Yusup H., Muhammad A., dan Muhammad A.M. 2019. The X-Ray Diffraction (Xrd) Analysis Of Basalt From Mataram Baru Via Slow And Rapid Cooling Process. *Jurnal Ilmiah*. Vol 12 No 2.
- Chen, Bo., Keqiang W., Xingjun C., dan Anxian L. 2012. Study of Foam Glass with High Content of Fly Ash Using Calcium Carbonate as Foaming Agent. *Materials Letters*.
- Csoke, B., Hoffman L., Kertesz M., dan Musci G. 2013. Physical Characteristics and Technology of Glass Foam from Waste Cathode Ray Tube Glass. *Material Science*.
- Cullity, B. D. 1992. *Elements of X-Ray Diffraction*. Jakarta. Departement of Metallurgical.
- Cullity, B. D. 1959. *Elements of X-Ray Diffraction*. Jakarta. Addison-Wesley.
- Delvita, H., Djusmaini D., dan Ramli. 2015. Pengaruh variasi temperatur kalsinasi

terhadap karakteristik kalsium karbonat (CaCO_3) dalam cangkang keong sawah (*Pila ampullacea*) yang terdapat di Kabupaten Pasaman. *Pillar of Physics*. Vol 6 No 2.

Dwynda, I., dan Zainul, R. 2018. Boric Acid ($\text{H}_3(\text{BO}_3)$). *Recognize The Molecular*.

Fachry, A.R., Tuti I.S., Arco Y.D., dan Jasril N. 2010. Mencari Suhu Optimal Proses Karbonisasi dan Pengaruh Campuran Batubara Terhadap Kualitas Briket Eceng Gondok. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol 17 No 2.

Faisal., Sofyan, Shaleh., dan Isya. 2014. Karakteristik Marshall Campuran Aspal Beton AC-BC Menggunakan Material Agregat Basalt Dengan Aspal Pen.60/70 dan Tambahan Parutan Ban Dalam Bekas Kendaraan Roda 4. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala*. Vol 3 No 3.

Hadi, Qomarul. 2018. Pengaruh Pengadukan Dengan Variasi Simple Paddle Blade Terhadap Kehomogenan dan Sifat Mekanik Komposiy Al-Fly-Ash Dengan Metode Stir Casting Tanpa Pembasahan. *Jurnal Rekayasa Mesin*. Vol 18 No 2.

Hakim, Luqman., Made D., dan Muhammad N. 2019. Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C Dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (X-RD) Di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*. Vol 1 No 1.

Handoko, E., Soegijono, B., dan Tama, F.R. 2008. *Teknik Difraksi Sinar-X Dalam Struktur Analisis Struktur Kristal*.

Handoyo, Y. 2015. Pengaruh quenching dan tempering pada baja jis grade S45C terhadap sifat mekanis dan struktur mikro crankshaft. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. Vol 3 No 2.

Hariyanto, A., Vita, K.S., dan Caecilia, P. Kinetika Reaksi Pembentukan Kalsium Fosfat dari Asam Fosfat dan Cangkang Kerang Darah. *Journal of Chemical and Process Engineering*. Vol 01 No 02.

Hartini, S., Ildrem S, Aton P., dan Dudi H. 2020. Penentuan Zona Alterasi dan Paleotemperatur Berdasarkan Kehadiran Mineral Alterasi Pada Sumur PSR-1 Pantar, NTT. *Padjadjaran Geoscience Journal*. Vol 4 No 1.

Haryati, D.F., Gunawan A., dan Asep I.H. 2016. Klasifikasi Jenis Batubara Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan dengan Algoritma Backpropagation. *SENTIKA*.

Hisham, N.A.N., Mohd H.M.Z., Sidek H.A.A., dan Farah D.M. 2021. Comparison of Foam Glass-Ceramics with Different Composition Derived from Ark Clamshell (ACS) and Soda Lime Silica (SLS) Glass Bottles Sintered at Various Temperatures. *Materials*. Vol 14 No 3.

- Holand, W., dan George H.B. 2012. *Glass-Ceramic Technology*. The American Ceramic Society.
- Huda, M. dan Erna H. 2012. Pengaruh temperatur pembakaran dan penambahan abu terhadap kualitas batu bata. *Jurnal Neutrino: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. Vol 4 No 2.
- Husin, H., Mahidin, dan Marwan. 2011. Studi Penggunaan Katalis Abu Sabut Kelapa, Abu Tandan Sawit dan K_2CO_3 Untuk Konversi Minyak Jarak Menjadi Biodiesel. *Jurnal Reaktor*. Vol. 13.
- Ismayanto, A.F. 2017. Batuan Perlit Karangnunggal sebagai Bahan Sintesa Atapulgit. *RISSET Geologi dan Pertambangan*. Vol 17 No 2.
- Jauhari, Zuraidah., Achmad, Fauzi., dan Usman Juniansyah Fauzi. 2013. Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Untuk Bahan Stabilisasi Tanah Dasar Konstruksi Jalan Yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Tekno Global*. Vol II No 1.
- Kamid, T. S., Subagia, I. A., dan Wirawan, I. K. G. 2019. Karakteristik komposit hibrida serat basalt–karbon epoksi resin pada perendaman air laut. *Jurnal METTEK*. Vol 5 No 1.
- Karimah, R., Yunan. dan Dhimas. 2017. Pengaruh Penggunaan Foam Agent Terhadap Kuat Tekan Dan Koefisien Permeabilitas Pada Beton. *Media Teknik Sipil*. Vol 15 No 1.
- Karimah, R. Dan Yusuf W. 2015. Pemakaian Abu Ampas Tebu Dengan Variasi Suhu Sebagai Substitusi Parsial Semen Dalam Campuran Beton. *Media Teknik Sipil*. Vol 13 No 2.
- Kartika, I., Andi, M.A., Adhitya, T., Franciska, P.L., dan Aprilia E. 2019. Analisis Struktur pori dan Sifat Mekanik Paduan Mg-0,5Ca-4Zn Hasil Proses Metalurgi Serbuk dengan Variasi Komposisi Foaming Agent $CaCO_3$ dan Temperatur Sintering. *TEKNIK*. Vol 40 No 3.
- Kennedy, A. 2012. Porous Metals and Metal Foams Made From Powders. Nottingham. *Manufacturing Division, University of Nottingham*.
- Krisnasiwi, I.F. 2019. Kalnisasi Kalsium Oksida (CaO) dari Batugamping Kalkarenit Formasi Batuputih (Tmpb) di Desa Tupan, Kecamatan Batu Putih, Kabupaten Timor Tengah Selatan, Nusa Tenggara Timur. *Saintek*. Vol 4 No 1.
- Krisnasiwi, I.F. 2020. Pengujian Skala Laboratorium Kandungan Kalsium Oksida Pada Batu Gamping Kalkarenit dan Batu Gamping Kristalin Sebagai Bahan Pembuatan Semen. *Chem Notes*. Vol 1 No 1.
- Kurniawan, M.A., dan Rohini P. 2017. Pengaruh Penambahan Na-alginat Dalam Proses Eksfoliasi Grafit Dengan Metode Pencampuran. *Jurnal Pijar Mipa*. Vol

12 No 1.

Kurniawan, O., Willy A.W., dan Akbar Z. 2019. Pengembangan Material Ringan Serat Gelas Pada Industri Kereta Api. *Jurnal Transportasi*. Vol 19 No 3.

Kusharjanto., Supono A.D. dan Wira A. 2013. Proses Pembuatan Alumunium Foam Berbahan Baku Skrap Paduan Al-7075 dengan Menggunakan Caco3 sebagai Foaming Agent. *Journal of Industrial Research*. Vol 7 No 2.

Liu, Y., Jianjun X., Peng H., Ying S., Yonggen. dan Xiaoqing D. 2021. Study on Factors Affecting Properties of Foam Glass Made from Waste Glass. *Journal of Renewable Materials*. Vol 9 No 2.

Lolong, S.P. dan Handoko T.W. 2016. Geologi dan Petrogenesis Batuan Andesit Desa Sumbertangkil dan Sekitarnya Kecamatan Tirtoyudo Kabupaten Malang Propinsi Jawa Timur. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*.

Marangoni, M., Secco., Parisatto., Artioli., Bernardo., Colombo., Altiasi., Binmajed., dan Binhussain. 2014. Cellular glass–ceramics from a self foaming mixture of glass and basalt scoria. *Journal of Non-Crystalline Solids*.

Mardiah, R., Alfian K., dan Monita O. 2018. Porositas Beton *Blended* Abu Terbang (*Fly Ash*) Sebagai Substitusi Semen Di Air Gambut. *Jom FTEKNIK*. Vol 5.

Morse, S. A. 1931. *Basalt and Phase Diagrams*. New York. Springer-Verlag.

Munasir., T, Zainuri., dan Darminto. 2012. Uji XRD dan XRF Pada Bahan Mineral (Batuan dan Pasir) Sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO₃ dan SiO₂). *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya*. Vol 2 No 1.

Nasruddin., dan Aprillena T.B. 2018. Efek Penambahan Epdm pada Karet Alam terhadap Sifat Mekanik Karet Busa. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*. Vol 29 No 2.

Nasrun, Mohamad, dan Sujianto, Sujianto. 2020. Pembuatan dan Pengujian Fisis dan Mekanik Keramik Alumina Sebagai Komponen Keramik. *Jurnal Sains dan Teknologi*. Vol 16 No 02.

Neswati., Novizar, Syukri A., dan Yusniwati. 2019. Synthesis, Characterization and Modification of Flexible Polyurethane Foams Using Raw Materials From Biopolyols Based on Palm Oil and Other Vegetable Oils: a Review. *Jurnal Agroindustri*. Vol 9 No 2.

Niu, Y.H., Fan, X.Y., Ren, D., Wang, W., Li, Y., Yang, Z., & Cui, L. 2020. Effect of Na₂CO₃ content on thermal properties of foam-glass ceramics prepared from smelting slag. *Materials Chemistry and Physics*.

- Noviyanti., J., dan Eko Hadi S. 2015. Karakterisasi Kalsium Karbonat (CaCO_3) Dari Batu Kapur Kelurahan Tellu Limpoe Kecamatan Suppa. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*.
- Nugroho, Dhani S.P., Aris W.N., dan Budi N.R., 2016. Pengaruh Penambahan Blowing Agent CaCO_3 Terhadap Porositas dan Kekuatan Tekan Aluminium Foam dengan Cara Melt Route Process. *Teknik Mesin UMY*.
- Nursanto, Edi., Sudaryanto. dan Untung S. 2015. Pengolahan Batubara dan Pemanfaatannya Untuk Energi. *Program Studi Teknik Kimia*.
- Octaria, L., Ahmad F., dan Bahruddin. 2016. Pengaruh Suhu dan Waktu Sintering Terhadap Pembuatan *Foam Glass* Menggunakan Limbah Pecahan Kaca dan Abu Terbang (*Fly Ash*) dari Pabrik Sawit. *Jom FTEKNIK*. Vol 3 No 1.
- Özcan, M., Allahbeickaraghi, A., dan Dündar, M. 2012. Possible hazardous effects of hydrofluoric acid and recommendations for treatment approach: a review. *Clinical oral investigation*. Vol 16 No 1.
- PANalytical, B.V. 2009, *X-Ray Fluorescence Spectrometry*.
- Pranata, Mohammad B., Jenian M. dan Yoga A. 2018. Petrogenesis Batuan Beku dan Karakteristik Kekar Tiang di Bukit Pajangan Desa Sidomulyo, Kecamatan Purworejo, Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah. *Jurnal Geosains dan Teknologi*. Vol 1 No 2.
- Raharjo, J., Rahayu, S., dan Mustika, T. 2015. Pengaruh tingkat kemurnian bahan baku alumina terhadap temperatur sintering dan karakteristik keramik alumina. *Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*.
- Rahman, M. B. N., Riyanta, B., dan Agusman, D. 2020. Pengaruh Temperatur dan Arus Listrik Proses Pelapisan Krom Pada Plastik ABS Dengan Metode Elektroplating. *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*. Vol 4 No 1.
- Rajiman. dan Vita L. 2020. Analisis Variasi Suhu Pemanasan Serbuk Batu Basalt Sebagai Bahan Pengisi Ordinary Portland Cement Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*. Vol 7 No 4.
- Reed, S. J. B. 1993. *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*. Florida: Cambridge University Press.
- Ridha, M. dan Darminto. 2016. Analisis Densitas, Porositas, dan Struktur Mikro Batu Apung Lombok dengan Variasi Lokasi menggunakan Metode Archimedes dan Software Image-J. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. Vol 12 No 3.
- Rieshapsari, Adella M., Muhammad Z.M., Noor M.R., Salsabila N.A., Tiya A.P., Welly S., dan Muzani J. 2020. Potensi Sumber Daya Mineral Logam Dan Non

Logam Di Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Georafflesia*. Vol 5 No 1.

- Rumiyanti, L., Sari Y. dan Amin M. 2019. Pengaruh Temperatur terhadap Karakterisasi Klinker Semen dengan Substitusi 20% Batu Basalt terhadap Massa Batu Kapur dan 20% Batubara terhadap Massa Total sebagai Reduktor. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol 7 No 1.
- Rusdi., Metalia M. dan Zulharmitta. 2017. Pembuatan Kalsium Karbonat Dari Batu Kapur Bukit Tui Kota Padang Panjang. *Jurnal Farmasi Higea*.
- Sharma, H. S. S., McCall, D., dan Kernaghan, K. 1999. *Scanning Electron Microscopy, X-ray Microanalysis, and Thermogravimetric Assessment of Linen Fabrics Treated with Crease-Resisting Compound*.
- Sousa, D.E., dan Rambo, C.R. 2008. Microstructure and Properties of LZSA Glass Ceramic Foams. *Material Science and Engineering A*.
- Sumantry, Teddy. 2002. *Teknik analisis X-ray Fruoresence*.
- Sun, Y., Jianzhou S., Fujie Z., Xiaoling T., Wenqing L., Yang W., Ran Z., Shaonan X., Peiping Z., Cundi W., dan Shiding M. 2020. Preparation of Nepheline-Based Ceramic Foams from Basalt Tailing and Black Cotton Soil. *Waste and Biomass Valorization*.
- Sunarya, Y. 2013. *Kimia Dasar 2 Berdasarkan Prinsip-Prinsip Kimia Terkini*. Bandung. Yrama Widya.
- Suprapedi, S. 2020. Pengaruh Waktu Milling dan Suhu Sintering terhadap Densitas dan Kekerasan Keramik Alumina. *Journal of Technical Engineering*. Vol 3 No 2.
- Suseno, H. 2013. Penggunaan Batuan Skoria Dari Gunung Kelud Blitar Sebagai Agregat Kasar Pada Beton Ringan Struktural. *Rekayasa Sipil*. Vol 7 No 2.
- Sutarno, S.S., Akhmad A.K., dan Tatacipta D. 2015. Pengaruh Kalsia Alumina ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) Pada Busa Alumunium AL-7000 Dengan Agen Pembusa Kalsium Karbonat (CaCO_3). Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains. Bandung.
- Talla, H., dan Herman T.T. 2017. Pengaruh Kadar Air Terhadap Proses Pencairan dan Produk Minyak Batubara. *Journal of Chemical Process Engineering*. Vol 2 No 1.
- Tantowi, A.A., Bambang H. dan Andri S.S. 2018. Identifikasi Tekstur Untuk Klasifikasi Batuan Beku Dengan Metode Discrete Wavelet Transform (DWT) dan Support Vector Machine (SVM). *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi, Kendali, Komputer, Elektrik, dan Elektronika*. Vol 3 No 2.

- Tarmizi., Sofyan M. S. dan Muhammad I. 2018. Pengaruh Substitusdi Semen Portland dan Fly Ash Batubara pada Filler Abu Batu Terhadap AspHalt Concrete-Binder Course (AC-BC). *Jurnal Teknik Sipil*. Vol 1 No 3.
- Vricilia, Meylinda, Ahmad Ridwan, Agata Iwan Candra, 2020. Kuat Tekan Pelat Beton Menggunakan Pasir Wlingi Dan Wiremesh Diameter 4 Mm. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*. Vol. 3, No. 2
- Wahyudi, N., Wahyuningsih, S., & Amijaya, F. D. T. 2020. Optimasi Klasifikasi Batubara Berdasarkan Jenis Kalori dengan menggunakan Genetic Modified K-Nearest Neighbor (GMK-NN). *Jurnal Eksponensial*. Vol 10 No 2.
- Wahyuni, S. dan Anna D. 2019. Saponifikasi-Netralisasi Asam Oleat Minyak Sawit Menjadi Foaming Agent Ramah Lingkungan. *Journal of Agroindustrial Technology*. Vol 29 No 3.
- Wibowo, S.N., Bambang H. dan Johan A. 2017. Identifikasi Jenis Batuan Beku Melihat Tekstur Batuan Menggunakan Metode Discrete Wavelet Transform (dwt) Dan K-nearest Neighbor (knn). *eProceedings of Engineering* Vol 4 No 2.
- Widiarta, I. Wayan., I. Nyoman P.N., dan Kadek R.D. 2018. Pengaruh Orientasi Serat Terhadap Sifat Mekanik Komposit Berpenguat Serat Alam Batang Kulit Waru (*Hibiscus Tiliaceust*) Dengan Matrik Poliyester. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*. Vol 6 No 1.
- Widjojoko, L. dan Rajiman. 2011. Kinerja Mortar Abu Batu Basalt Skoria Dengan Menggunakan Semen Serbaguna Baturaja Dan Superplasticiser Structuro 335. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol 2 No 1.
- Wiloso, Danis A. dan Ratmy. 2018. Analisis Porositas BatuGamping Sebagai Akuifer Di Desa Ponjong, Kecamatan Ponjong Kabupaten GunungKidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Teknologi*. Vol 11 No 2.
- Yatsenko, E.A., Boris M.G., Victoria A.S., Andrey S.K., dan Roman V.B. 2015. Investigation of the Influence of Foaming Agents' Type and Ratio on the Foaming and Reactionary Abilities of Foamed Slag Glass. *Biosciences Biotechnology Research Asia*. Vol 12.